technikbildung.pdf DGTB
Texte zur Technischen Bildung

Horst Wolffgramm

Allgemeine Techniklehre

Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten

(Einführung in die Denk- und Arbeitsweisen der allgemeinen Techniklehre)

2012

Neu strukturierte, ergänzte, erweiterte und aktualisierte Fassung

Copyright by
Horst Wolffgramm
horst.wolffgramm@t-online.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort ... 13
Erstes Buch - TECHNIK UND GESELLSCHAFT ... 17
1. Allgemeine Techniklehre ... 17
1.1. Bedingungen und Grundlagen für die Herausbildung einer Allgemeinen Techniklehre ... 17
1.2. Aufgaben und Funktionen einer Allgemeinen Techniklehre ... 19
1.3. Gegenstand und Methoden einer Allgemeinen Techniklehre ... 20
1.4. Begriff und System der Allgemeinen Technikprinzipien ... 20
1.5. Inhaltsstruktur der Allgemeinen Techniklehre (Übersicht) ... 21
1.6. Zum Stand der Ausarbeitung einer allgemeinen Techniklehre ... 22
1.7. Zum Platz der Allgemeinen Techniklehre im System der Technikwissenschaften ... 23
Literatur ... 25
2. Technik als gesellschaftliche Erscheinung ... 27
2.1. Allgemeiner Technikbegriff - Standpunkte und Probleme ... 27
2.2. Funktionen der Technik in Produktion, Gesellschaft und Individualsphäre ... 30
2.3. Spezifische Merkmale der Technik ... 31
2.4. Technikgesetze ... 35
2.5. Platz und Rolle technischer Systeme in der Technik ... 37
2.6. Grundbegriffe und Arbeitsdefinitionen ... 38
Literatur ... 40
3. Technik in Geschichte und Gegenwart ... 41
3.1. Technikentwicklung (Spezifika, Strategien und Verlaufsformen) ... 41
3.2. Technikentwicklung, technologische Produktionsweise und Gesellschaftsfortschritt ... 44
3.3. Technikrevolutionen in der Menschheitsgeschichte ... 46
3.4. Entwicklungsstufen technischer Systeme im historischen Prozess ... 49
3.5. Allgemeine Prinzipien der Strukturierung und Organisation technischer Systeme in der Technikevolution ... 51
3.6. Haupttendenzen der Technikevolution in der Gegenwart ... 52
Literatur ... 54
Zweites Buch – TECHNOLOGIE ... 55
I. Teil ALLGEMEINE TECHNOLOGIE ... 55
4. Allgemeine Technologie als Disziplin der Technologiewissenschaften ... 55
4.1. Herausbildung und historische Entwicklung der Technologie als Wissenschaft ... 55
4.3. Schlüsseltechnologien ... 66
4.3.1. Informationsverarbeitungstechnologien ... 69
4.3.2. Revolutionierende Verfahren der Stoffbearbeitung ... 69
4.3.3. Hochveredlungstechnologien ... 70
4.3.4. Biotechnologien ... 70
4.3.5. Ökotechnologien ... 70
4.3.6. Nanotechnologien ... 71
4.3.7. Schlüsseltechnologien in einzelnen Volkswirtschaftszweigen ... 71

4.4. Technologie als Technikwissenschaft - (Gegenstand, Spezifik und Struktur der Wissenschaft Technologie) 71
4.5. Allgemeine Technologie als Zweig und Grundlagendisziplin der Technologiewissenschaften 76
4.6. Das technologische System des Produktionsprozesses 77
Literatur 78
II. Teil – TECHNOLOGISCHE GRUNDVORGÄNGE 79
5. Elemente des technologischen Prozesses 79
5.1. Naturvorgänge und technologische Vorgänge 79
5.2. Technologische Grundvorgänge als Elemente des technologischen Systems von Produktionsprozessen 80
5.3. Wirkfaktoren als Strukturelemente des technologischen Grundvorgangs 81
5.4. Das technologische Wirkprinzip 88
5.5. Strukturanalyse technologischer Grundvorgänge und Vorgangsdarstellung 89
Literatur 93
6. Systematik technologischer Grundvorgänge 95
6.1. Zur Funktion von Ordnungssystemen in der Technologie 95
6.2. Das System der Bearbeitungsvorgänge 95
6.3. Hierarchie der technologischen Vorgänge 99
6.4. Stoff-, Energie- und Informationsfluss in technischen Systemen 100
6.5. Symboldarstellung technologischer Grundvorgänge 102
Literatur 104
III. Teil - ALLGEMEINE CHARAKTERISTIK DER KLASSEN VON BEARBEITUNGSVORGÄNGEN 105
7. Stoffformungsverfahren 105
7.1. Allgemeine Charakteristik der Stoffformungsverfahren 105
7.2. Grundbegriffe 105
7.3. Spezifische Merkmale der Stoffformungsverfahren 106
7.4. Arbeitsgegenstände der Stoffformungsverfahren 107
7.5. Symboldarstellung von Stoffformungsverfahren 108
7.6. Struktur und Wirkprinzipien von Stoffformungsverfahren 109
7.7. Verfahrensdarstellung „Walzen“ 111
7.8. Systematik der Stoffformungsverfahren 113
7.9. Charakteristik der Verfahrenstypen 117
7.9.1. Der Verfahrenstyp Urformen 117
7.9.2. Der Verfahrenstyp Fügen 119
7.9.3. Der Verfahrenstyp Umformen 121
7.9.4. Der Verfahrenstyp Trennen 123
7.9.5. Der Verfahrenstyp Zerkleinern 125
7.9.6. Die stoffeigenschaftsändernden Verfahrenstypen der Stoffformung 126
Literatur 129

8. Stoffwandlungsprozesse 130
8.1. Allgemeine Charakteristik der Stoffwandlungsprozesse 130
8.2. Chemisierung der Produktion 130
8.3. Grundbegriffe 131
8.4. Spezifische Merkmale der Stoffwandlungsprozesse 132
8.5. Arbeitsgegenstände der Stoffwandlungsprozesse 136
8.6. Symboldarstellung von Stoffwandlungsprozessen 137
8.7. Struktur und Wirkprinzipien von Stoffwandlungsprozessen 138
8.8. Prozessdarstellung CHLORWASSERSTOFFSYNTHESE 139
8.9. Systematik der Stoffwandlungsprozesse 140
8.10. Charakteristik der Prozessgruppen 144
8.10.1 . Der Prozesstyp Thermochemische Prozesse 144
8.10.2. Der Prozesstyp Elektrochemische Prozesse 150
8.10.3. Der Prozesstyp Biochemische Prozesse 152
8.10.4. Der Prozesstyp Strahlungschemische Prozesse 156
8.10.5. Der Prozesstyp Mechanochemische Prozesse 158
Literatur 159
9. Energieändernde Bearbeitungsvorgänge 160
9.1. Energie als Arbeitsgegenstand 160
9.2. Energetisierung der Produktion 160
9.3. Charakteristik energieändernder technologischer Vorgänge 163
9.4. Grundbegriffe und Grundgesetze 164
9.5. Arbeitsgegenstände der Energietechnologie 165
9.6. Symboldarstellung energieändernder Vorgänge 166
9.7. Struktur und Wirkprinzipien energieändernder Grundvorgänge 167
9.8. Vorgangsdarstellung Mechano-elektrische Energiewandlung 169
9.9. Systematik energieändernder Vorgänge 171
9.10. Verfahren der Energieumformung 174
9.11. Prozesse der Energiewandlung 176
9.12. Energieketten 177
Literatur 178
10. Informationsändernde Vorgänge 179
10.1. Informationstechnologie als neuer Gegenstandsbereich der allgemeinen Technologie 179
10.2. Information als Arbeitsgegenstand 180
10.3. Hardware und Software als Arbeitsmittelsystem der *Informationstechnologie* 184
10.4. Grundbegriffe und Grundgesetze 185
10.5. Allgemeine Charakteristik der informationsändernden Vorgänge 186
10.6. Symboldarstellung der informationsändernden Vorgänge 187
10.7. System der informationsändernden Vorgänge 188

10.8. Struktur und Wirkprinzipien informationsändernder Vorgänge 190
10.9. Vorgangsdarstellung „Durchflussmessung mittels Schwebekörpereinrichtung“ 192
Literatur 193
11. Ortsändernde technologische Vorgänge (Transport-, Umschlag- und Lagervorgänge) 194
11.1. Charakteristik der Transportoperationen 194
11.2. Arbeitsgegenstände der Transportoperationen 196
11.3. Grundbegriffe 197
11.4. Transportketten 197
11.5. Die Teilklassen der Ortsänderungsvorgänge 199
11.6. Symboldarstellung von Transportoperationen 199
11.7. Stofftransport 200
11.8. Energietransport 204
11.9. Informationstransport 205
11.10. Stoffspeichern 206
11.11. Energiespeichern 207
11.12. Informationsspeichern 207
Literatur 208
12. Technologische Vorgänge in der Agrarproduktion 209
12.1. Allgemeintechnologische Charakteristik der Agrarproduktion 209
12.1.1. Biologische Systeme als wesensbestimmende Arbeitsmittel 209
12.1.2. Der Boden als Hauptproduktionsmittel 211
12.1.3. Doppelfunktion der grundlegenden Arbeitsmittel 212
12.1.4. Produktbildende Naturprozesse und technologische Vorgänge 212
12.1.5. Gebundenheit der Produktionsprozesse an biologische Rhythmen und Zyklen . 213
12.1.6. Stoffansatz- und Stoffumsatzsysteme 214
12.1.7. Die Züchtung als Weg zur Weiterentwicklung biologischer Produktionssysteme 214
12.2. Zur Symboldarstellung biologischer und ökologischer Produktionssysteme 215
12.3. Technologische Struktur der Agrarproduktion 218
12.3.1 Allgemeine Struktur 218
12.3.2. Die technologische Struktur der Pflanzenproduktion 220
12.3.3. Die technologische Struktur der Tierproduktion 221
12.3.4. Die technologische Struktur der Forstwirtschaft 221
12.4. Technologische Vorgänge in der Pflanzenproduktion 222
12.5. Technologische Vorgänge in der Tierproduktion 223
12.6. Struktur und Wirkprinzipien technologischer Grundverfahren der Agrartechnologie ... 225
12.6.1. Vorgangsdarstellung PFLÜGEN 225
12.6.2. Vorgangsdarstellung MELKEN 227
Literatur 229

IV. Teil – DAS TECHNOLOGISCHE SYSTEM VON PRODUKTIONS- PROZESSEN UND SEINE STRUKTUR 230
13. Technologische Struktur von Produktionsprozessen 230
13.1. Die Phasenstruktur von Produktionsprozessen 230
13.2. Technologische Charakteristik der Hauptphase 231
13.3. Die vorbereitende Phase 232
13.4. Die Schlussphase 232
13.5. Strukturdarstellung technologischer Prozessabläufe 233
13.6. Beispiele für die technologische Struktur von Produktionsprozessen 234
13.6.1.Mechanische Produktion 235
13.6.2. Chemische Produktion 236
13.6.3. Energiewirtschaft 237
13.6.4. Agrarproduktion 237
13.6.5. Informationsverarbeitung 239
13.6.6. Transportwesen 240
13.6.7. Bergbau 241
13.7. Kombinierte Produktionsprozesse 242
13.8. Strukturelle Entwicklungstendenzen der Produktionsprozesse 243
Literatur 245
14. Graphische Darstellung von Produktionsprozessen 246
14.1. Fließdarstellung von Produktionsprozessen 246
14.2. Schematisches Fließbild und Prinzipschema 246
14.3. Konstruktives Fließbild 250
14.4. Stoff- und Energieflussbilder 251
Literatur 254
V. Teil - ALLGEMEINE VERFAHRENSPRINZIPIEN 255
15. Allgemeine Verfahrensprinzipien 255
15.1. Allgemeine Verfahrensprinzipien als Invarianzklasse der Technologie 255
15.2. Zur Systematisierung der allgemeinen Verfahrensprinzipien 256
15.3. Technologische Prinzipien der Prozessorganisation 257
15.3.1. Das Fließprinzip 258
15.3.2. Das Kontinuitätsprinzip 260
15.3.3. Das Prinzip der Verkettung der Arbeitsmittel 261
15.4. Technologische Prinzipien der Prozessstabilisierung 262
15.4.1. Das Speicherprinzip 262
15.4.2. Das Prinzip der Vorgangsstabilisierung 265
15.4.3. Das Zuverlässigkeitsprinzip 265
15.5. Technologische Prinzipien der Prozessflexibilisierung 266
15.5.1. Das Substitutionsprinzip 266
15.5.2. Das Anpassungsprinzip 267

15.5.3. Das Baueinheitenprinzip 268
Literatur 269
VI. Teil – TENDENZEN DER TECHNOLOGIEENTWICKLUNG – STRATEGIEN UND PRINZIPIEN IHRER REALISIERUNG 270
16. Tendenzen, Strategien und Prinzipien der Technologieentwicklung 270
16.1. Triebkräfte und Fortschrittskriterien der Technologieentwicklung 270
16.2. Entwicklungstendenzen der Technologie 272
16.3. Strategien und Realisierungsprinzipien 272
Literatur 273
17.1. Prinzipien der Verfahrensintensivierung 274
17.2. Aktivierungsprinzip 274
17.3. Erhöhung der Energiedichte an der Wirkstelle 275
17.4. Nutzung neuartiger Wirkprinzipien 277
17.5. Vergrößerung der aktiven Flächen 279
17.6. Verkürzung der technologischen Kette 282
Literatur 283
18. Strategien und technologische Prinzipien der rationellen Materialnutzung 284
18.1. Notwendigkeit und Hauptrichtungen rationeller Materialnutzung 284
18.2. Das Prinzip der vollständigen Werkstoff- und komplexen Rohstoffausnutzung 285
18.3. Hochveredlung von Werkstoffen und Rohstoffen 289
18.4. Sekundärrohstoffeinsatz 294
18.5. Materialsubstitution 299
Literatur 301
19. Strategien und Prinzipien der rationellen Energienutzung 302
19.1. Notwendigkeit und Hauptrichtungen der rationellen Energienutzung 302
19.2. Sekundärenergienutzung 305
19.3. Energiedeterminierte Prozessoptimierung 307
19.4. Energiedeterminierte Technikgestaltung 311
Literatur 316
20. Strategien und technologische Prinzipien der Ökologisierung von Produktionsprozessen 317
20.1. Grundmodell der Ökologisierung von Produktionsprozessen 317
20.2. Gestaltung abfall- und abproduktarmer Technologien 319
20.3. Gestaltung umweltfreundlicher Finalprodukte 320
20.4. Schaffung technologisch geschlossener Stoffkreisläufe 321
20.5. Technologien zur Aufarbeitung und schadlosen Beseitigung umweltbelastender Abprodukte und Abfälle 325
Literatur 329
Drittes Buch – TECHNISCHE SYSTEME 330
I. Teil – FUNKTIONEN UND STRUKTURELEMENTE TECHNISCHER SYSTEME 330
21. Systematik technischer Systeme 330
21.1. Hierarchische Ordnung technischer Systeme 330

21.2. Technologisch-funktionale Ordnungskriterien zur Systematisierung technischer Systeme 332
21.3. Verknüpfungsmatrix technischer Systeme 336
Literatur 337
22. Funktionen und Strukturen technischer Systeme 338
22.1. Technologische und technische Funktionen 338
22.2. Funktionsanalyse technischer Systeme 340
22.2.1. Konstruktiver Aufbau 340
22.2.2. Funktioneller Aufbau 341
22.3. Funktionsbereiche technischer Systeme zur Realisierung von Stoff- , Energie- und Informationsfluss 341
22.3.1. Der Bearbeitungsteil 342
22.3.2. Der Energieteil 342
22.3.3. Der Informationsteil 342
22.3.4. Der Stützteil 343
22.4. Funktionsorgane technischer Systeme 344
22.5. Organstrukturmodell technischer Systeme 345
Literatur 348
23. Arbeitsorgane als funktionsbestimmende Teilsysteme technischer Systeme 349
23.1. Bearbeitungsfunktion und Arbeitsorgan 349
23.2. Klassen der Arbeitsorgane 351
23.2.1. Arbeitsorgane in Stoffformungssystemen 351
23.2.2. Arbeitsorgane in Stoffwandlungssystemen 352
23.2.3. Arbeitsorgane in Transportsystemen 353
23.2.4. Arbeitsorgane in energieändernden Systemen 354
23.2.5. Arbeitsorgane in informationsändernden Systemen 355
Literatur 358
24. Funktionsorgane in technischen Systemen 359
24.1. Funktionsorgane des Bearbeitungsteils technischer Systeme 359
24.2. Funktionsorgane des Energieteils technischer Systeme 360
24.3. Funktionsorgane des Informationsteils technischer Systeme 363
24.4. Funktionsorgane des Stützteils technischer Systeme 365
24.5. Kopplungsbeziehungen und Mehrfachfunktionen von Funktionsorganen 366
Literatur 367
25. Allgemeintechnische Darstellungsformen technischer Systeme 368
25.1. Übersicht über allgemeintechnische Darstellungsformen technischer Systeme 368
25.2. Symboldarstellung 368
25.3. Strukturdarstellung 370
Literatur 371
II. Teil – ALLGEMEINE CHARAKTERISTIK DER HAUPTKLASSEN TECHNISCHER SYSTEME 372
26. Bearbeitungs- und Verarbeitungssysteme (Stoffformungssysteme) 372

26.1. Allgemeine Charakteristik der Stoffformungssysteme 372
26.2. Übersicht über die Hauptgruppen und ihre Merkmale 372
26.2.1. Technische Systeme zum Urformen 372
26.2.2. Technische Systeme zum Fügen 378
26.2.3. Technische Systeme zum Umformen 381
26.2.4.Technische Systeme zum Trennen 386
26.2.5. Technische Systeme zum Zerkleinern 394
26.2.6. Technische Systeme zum Stoffeigenschaftsändern 396
26.3. Organstruktur von Stoffformungssystemen 405
26.4. Ausgewählte Beispiele 407
26.4.1. Bohrmaschine 407
26.4.2. Rohrmühle 408
26.4.3. Extruder (Schneckenpresse) 409
Literatur 411
27. Reaktoren - profilbestimmende technische Systeme von Stoffwandlungsprozessen 412
27.1. Reaktoren als Klasse technischer Systeme 412
27.2. Systematik der Reaktoren 414
27.2.1. Einteilungskriterien und Reaktortypen 414
27.2.2. Multifunktionalität von Reaktoren 415
27.3. Thermochemische Reaktoren 415
27.4. Elektrolysezellen 421
27.5. Fermenter 422
27.6. Strahlungsreaktoren 423
27.7. Mechanochemische Reaktoren 424
27.8. Organstruktur der Reaktoren 424
27.8.1. Bearbeitungsteil von Reaktoren 424
27.8.2. Energieteil von Reaktoren 426
27.8.3. Informationsteil von Reaktoren 427
27.8.4. Stützorgan von Reaktoren 428
27.9. Ausgewählte Reaktoren 428
27.9.1. Etagenofen 428
27.9.2. Salzsäureofen 430
27.9.3. Quecksilberelektrolysezelle 431
Literatur 433
28. Energiewandler und Energieumformer (Energieändernde Systeme) 434
28.1. Allgemeine Charakteristik der Klasse 434
28.2. Übersicht über die technisch bedeutsamen energieändernden Systeme 439
28.3. Systeme zur Energieumformung 442
28.3.1.Umformsysteme für mechanische Energie 443

28.3.2. Wärmeumformsysteme 448
28.3.3. Umformsysteme für Elektroenergie 449
28.3.4. Umformsysteme für Strahlungsenergie 450
28.4. Übersicht über die Energiewandlungssysteme 450
28.4.1. Mechano-energetische Wandler 450
28.4.2. Chemo-energetische Wandler 451
28.4.3 Thermo-energetische Wandler 456
28.4.4. Elektro-energetische Wandler 456
28.4.5. Strahlungs-energetische Wandler 459
28.4.6. Kern-energetische Wandler 461
28.5. Organstruktur 462
28.5.1. Prinzipieller Aufbau von Energieumformern und Energiewandlern 462
28.5.2. Arbeitsorgane 462
28.5.3. Führungs- und Positionierungsorgane 463
28.5.4. Steuerungs- und Optimierungsorgane 463
28.5.5. Stützorgane 464
28.6. Beispiele für die Anwendung des Organstrukturmodells 464
28.6.1. Organstruktur eines Dampferzeugers 464
28.6.2. Organstruktur einer Dampfturbine 467
28.6.3. Organstruktur eines Drehstromsynchrongenerators 469
Literatur 471
29. Informationsverarbeitungssysteme 472
29.1. Allgemeine Charakteristik 472
29.2. Übersicht über die Hauptgruppen und deren Merkmale 473
29.3. Funktionseinheiten der Informationsgewinnung, -verarbeitung und - nutzung in automatischen Systemen 475
29.3.1. Messeinrichtungen 476
29.3.2. Messwandler 478
29.3.3. Verstärker 479
29.3.4. Eingabeeinheiten 480
29.3.5. Recheneinheiten 481
29.3.6. Stellantriebe 482
29.3.7. Stellglieder 483
29.4. Funktionssysteme der Informationsverarbeitung 484
29.4.1. Automatisierungssysteme 484
29.4.2. Informationsverarbeitungssysteme 484
29.5. Organstruktur 487
29.5.1. Arbeitsorgan 487
29.5.2.. Charakteristik der anderen Funktionsorgane 488

29.6. Ausgewählte Beispiele 489
29.6.1. Hydraulische Steuerung mit Doppelkolbenverstärker 489
29.6.2. Personalcomputer 489
Literatur 495
30. Transport-, Umschlag- und Lagersysteme 496
30.1. Allgemeine Charakteristik und Übersicht über die Hauptgruppen 496
30.2. Stofftransportsysteme (TUL-Systeme) 496
30.2.1. Transportsysteme 497
30.2.2. Umschlagsysteme 502
30.2.3. Lagersysteme 510
30.3. Energietransportsysteme 513
30.3.1. Transportsysteme für kinetische Energie 514
30.3.2. Energiespeichersysteme 516
30.4. Informationstransportsysteme 518
30.4.1. Systeme für den Transport von Informationen 518
30.4.2. Informationsspeichersysteme 518
30.5. Ausgewählte Beispiele 520
30.5.1. Mobildrehkran 520
30.5.2. Fernwärmeleitung 521
Literatur 522
31. Agrartechnische Systeme 523
31.1. Allgemeine Charakteristik 523
31.2. Spezielle Agrartransportsysteme 523
31.2.1. Schlepper 523
31.2.2. Anhängefahrzeuge 526
31.3. Maschinen und Geräte für die Pflanzenproduktion 529
31.3.1. Bodenbearbeitungsgeräte 529
31.3.2. Maschinen und Geräte zum Ausbringen von Produktionsmaterialien 533
31.3.3. Erntemaschinen und -aggregate 536
31.4. Anlagen und Ausrüstungen für die Tierproduktion 540
31..4.1. Anlagen zur Stallklimatisierung 540
31.4.2. Futterlagerungs- und -konservierungsanlagen 540
31.4.3. Milchgewinnungsanlagen 541
31.4.4. Anlagen für die Stallreinigung 543
31.4.5. Anlagen für die Güllebehandlung 544
31.5. Forsttechnik 544
31.6. Ausgewählte Beispiele 545
31.6.1. Schar- Universal- Beet- Aufsattelpflug 545
Literatur 547

32. Bautechnik 548
32.1. Allgemeine Charakteristik der Bautechnik 548
32.2. Übersicht über die Hauptgruppen und deren Merkmale 550
32.2.1. Erdbau- und Schüttgutbearbeitungsmaschinen 550
32.2.2. Verdichtungsmaschinen 552
32.2.3. Aufbereitungsmaschinen 554
32.2.4. Spezialtransporter und Fördertechnik 555
32.3. Organstruktur 557
32.4. Ausgewählte Beispiele 559
32.4.1. Kipptrommelmischer 559
32.4.2. Walzen 560
Literatur 562
33. Robotertechnik 563
33.1. Robotertechnik als neue Klasse technischer Systeme 563
33.2. Übersicht über die Hauptgruppen der Industrieroboter und ihre Merkmale 564
33.3. Organstruktur (Charakteristik der roboterspezifischen Funktionsorgane) 568
33.3.1. Prinzipieller Aufbau der Industrieroboter 568
33.3.2. Arbeitsorgane 568
33.3.3. Führungs- und Positionierungsorgane 570
33.3.4. Antriebs- und Übertragungsorgane 574
33.3.5. Steuerungs- und Optimierungsorgane 574
33.3.6. Stützorgan 576
33.3.7. Allgemeines Organstrukturmodell 577
33.4. Ausgewählte Beispiele 577
33.4.1. Montageroboter 577
33.4.2. Schweißroboter 578
Literatur 579
34. Haushaltstechnik 580
34.1. Allgemeine Charakteristik der Klasse 580
34.2. Übersicht über die Hauptgruppen und ihre Merkmale 582
34.2.1. Mechanische Küchengeräte 582
34.2.2. Wärmegeräte 586
34.2.3. Kühl- und Gefriergeräte 592
34.2.4. Wasch- und Geschirrspülmaschinen 595
34.2.5. Reinigungsgeräte 600
34.2.6. Lüfter 601
34.2.7. Elektrokleinheizer 603
34.3. Organstruktur 604
34.4. Ausgewählte Beispiele 605

34.4.1. Haushaltsmixer.....605
34.4.2. Gasdurchlauferhitzer.....606
Literatur.....607
IV. Teil - ANHANG.....608
35. Abbildungsverzeichnis.....608
36. Tabellenverzeichnis.....617
37. Index.....620

Vorwort

Die hier vorgelegte „Allgemeine Techniklehre“ wurzelt in zwei Ausgangssituationen. Zum einen in dem Bemühen, den sich im statu nascendi befindenden Prozess der Herausbildung der Technikwissenschaften als anerkennt eigenständigen Wissenschaftsdisziplinen zu verifizieren und die sich abzeichnenden Grundlagen einer allgemeine Techniktheorie zu erfassen und für die wissenschaftliche und praktische Arbeit nutzbar zu machen.

Zum zweiten verfolgt sie die Absicht, die für ein grundlegendes Technikverständnis notwendigen Grundlagen zu formulieren und übersichtlich darzustellen.

Die Allgemeine Techniktheorie und die auf ihr basierenden Wissenschaftsdisziplinen, wie Allgemeine Techniklehre, Allgemeine Technologie, Theorie technischer Systeme, Allgemeine Theorie des Arbeitsgegenstandes u. ä., sind Wissenschaften, die sich erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts in einem lang dauernden Diskussionsprozess aus ihrem Dasein als angewandte Naturwissenschaften herausgelöst und als eigenständige Wissenschaften etabliert haben.

Dieser Prozess steht in unmittelbarem Zusammenhang mit sich gegenseitig beeinflussenden und bedingenden fundamentalen Veränderungs- und Umwälzungsprozessen in der Gesellschaft, der materiell-technischen Basis und den Wissenschaften selbst, die sich im Laufe des 20. Jahrhunderts vollzogen haben. In der Technik hat sich in diesem Umwälzungsprozess eine neue Generation von technischen Systemen herausgebildet, die sich qualitativ von allen vorhergehenden Produktionsmittelsystemen unterscheidet: die programmgesteuerten Maschinensysteme. Sie sind das Charakteristikum einer großen Umwälzung in der Art und Weise zur Hervorbringung der zur Befriedigung der gesellschaftlichen Bedürfnisse an materiellen und kulturellen Gütern notwendigen Produktionsweise. Wir bezeichnen diese revolutionäre Umwälzung der Produktivkräfte als wissenschaftlich-technische Revolution.

In engem Zusammenhang mit den Veränderungen in der materiell-technischen Basis der Gesellschaft haben sich auch im Bereich der Wissenschaften weitreichende Umwälzungen vollzogen. Zum einen haben sie in Zusammenhang mit einem schnellen Zuwachs an Erkenntnissen auf allen Wissenschaftsgebieten zu einer weitgehenden Spezialisierungstendenz geführt, die mit der Herausbildung neuer Spezialdisziplinen verbunden ist. Zum anderen beobachten wir den breiten Übergang von der funktional-morphologischen Beschreibung der Objekte zum System- und Entwicklungsdenken und der Tendenz zu übergreifenden theoretischen Verallgemeinerungen aus allen Abstraktionsstufen des Wissenschaftssystems. Sie findet ihren Ausdruck in der Herausbildung von Querschnittsdisziplinen, wie der Systemtheorie und der allgemeinen Evolutionstheorie. Für die Technikwissenschaften spiegelt sich dieser Prozess in der Entstehung einer Allgemeinen Technologie bzw. einer Allgemeinen Techniklehre wieder.

Die hier vorgelegte „Allgemeine Techniklehre“ stellt die Weiterschreibung der gleichnamigen, 1978 im Fachbuch-Verlag Leipzig erschienenen „Allgemeine Technologie“ und die konzeptionelle Neugestaltung und Aktualisierung der vierbändigen „Allgemeinen Techniklehre“ (Franzbecker-Verlag Hildesheim 1996-98) dar. In den seither vergangenen Jahren hat sich im Erkenntnisfortschritt dieser Wissenschaft eine spürbare Entwicklung vollzogen, gekennzeichnet vor allem durch die vertiefte Erfassung der Spezifika und der verschiedenen Dimensionen ihres komplexen Gegenstandes, die Festigung ihres grundlegenden Begriffsgebäudes und die Untersuchung bisher wenig erfasster Bereiche.

Das nach wie vor ungeteilte Interesse sowie die intensiven Forschungen verdanken die Technikwissenschaften der anhaltenden und ungebrochenen Entwicklungsdynamik der Technik und den revolutionären Veränderungen der technologischen Produktionsweise in allen entwickelten Industrieländern. Zwei Jahrhunderte nach ihrer Begründung durch J.BECKMANN ist die Technologie zu einem anerkannten, wissenschaftlich gut fundierten und durch eine Reihe von Einzeldisziplinen repräsentierten Wissenschaftsgebiet gewachsen.

Den Schritt von einer angewandten und im Grunde nicht durch einen eigenen Gegenstand charakterisierten Disziplin zu einer selbständigen Wissenschaft verdanken die Technikwissenschaften vor allem den Bedürfnissen der sich im Zusammenhang mit der wissenschaftlich-technischen Revolution seit der Mitte des 20. Jahrhunderts vollziehenden Herausbildung einer qualitativ neuen technologischen Produktionsweise. Die auf der Basis komplexer Maschinensysteme gestalteten und durch leistungsfähige mikroelektronische Steuerungssysteme beherrschten technologischen Prozesse bedürfen einer theoretischen Fundierung. So wie die Dampfmaschine die Thermodynamik hervorbrachte und diese wiederum auf jene zurückwirkte, wie die chemischen Großsynthesen die Verfahrenstechnologie, die Theorie katalytischer Prozesse und die Reaktionskinetik förderten, so verlangt und ermöglicht die Umwälzung der materiellen Produktionsprozesse auf der Basis automatischer Maschinensysteme eine entsprechende theoretische Fundierung. Charakterisiert wird diese Entwicklung auf theoretischem Gebiet vor allem durch die Bemühungen um die explizite Formulierung des allgemeinen Technikbegriffs und um die theoretische Verallgemeinerung der Erkenntnisse in den zahlreichen Einzeldisziplinen der Technikwissenschaften.

Der schnelle Wissenszuwachs im Bereich der Technik führte einerseits zu einer immer stärkeren Differenzierung der technikwissenschaftlichen Einzeldisziplinen, andererseits aber zu dem Bedürfnis nach einer Zusammenfassung der gemeinsamen Grundlagen aller Disziplinen. Dieser dialektische Prozess von Differenzierung und Vereinheitlichung hat seine objektive Grundlage in der technischen Praxis. Die zunehmend komplexe Verflechtung von Stoff-. Energie- und Informationsflüssen in den modernen Produktionsprozessen und im Zusammenhang damit der Prozess der Herausbildung relativ einheitlicher Grundstrukturen technischer und technologischer Systeme erfordert eine allgemeintechnische, von den einzelnen Produktionszweigen abstrahierende theoretische Grundlegung, d. h. die Formierung einer allgemeinen Technikтheorie.

Weit vorausschauend hat der Begründer der Technologie als Wissenschaft, J.BECKMANN, bereits 1806 einen „Entwurf der allgemeinen Technologie“ vorgelegt und damit den Ansatz zu einer die allgemeinen Prinzipien von Technik und Technologie betonenden Denkweise gelegt. Er wurzelte in den damals noch ganzheitlich orientierten Produktionsprozessen von Handwerkern, Manufakturen und Fabriken. Mit der zunehmenden Spezialisierung der sich entwickelnden Industrie und der damit verbundenen Entstehung technischer und technologischer Einzeldisziplinen im 19. Jahrhundert ging dieser Gedanke jedoch wieder verloren. Mit den gegenwärtig entstehenden und sich schnell weiterentwickelnden objektiven Grundlagen für die Herausbildung einer allgemeinen Technikтheorie sind die Voraussetzungen für eine moderne Konzeption einer allgemeinen Techniklehre gegeben und hochaktuell geworden.

Der Autor hat den Versuch unternommen, basierend auf langjährigen eigenen Forschungen und den Ergebnissen einer von ihm geleiteten Forschungsgemeinschaft, den Grundriss des Gebäudes einer Allgemeinen Techniklehre, wie er ihm vorschwebt und soweit es das vorliegende Material ermöglicht, zusammenfassend darzustellen. Es ging darum, die wesentlichen Aussagenbereiche sowie die Gesamtstruktur des Wissenschaftsgebietes zu bestimmen, die grundlegenden Begriffe seines Kategoriensystems darzustellen, die bekannten allgemeinen Strukturen und Prinzipien zu erläutern und damit auch Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen aufzudecken.

Die Grundkonzeption des Buches ist gegenüber seinen Vorgängern insofern wesentlich verändert als sie das Gesamtgebiet in drei Büchern vorstellt: 1. Technik und Gesellschaft, 2. Allgemeine Technologie, 3. Technische Systeme.

Im ersten Buch werden die allgemeinen theoretischen Grundlagen dargestellt. Das betrifft zum einen die Bedingungen und Grundlagen für die Herausbildung einer „Allgemeinen Techniklehre“, ihre Aufgaben, Funktionen und ihren Gegenstand. Es wird eine Übersicht über ihre Inhaltsstruktur und ihrem Platz im System der Technikwissenschaften gegeben. Des Weiteren wird die Technik als gesellschaftliche Erscheinung analysiert, indem die Technik in ihrer Gegenstandsproblematik, ihren Merkmalen und ihrer Gesetzesspezifik dargestellt wird. Ein weiterer Aspekt dieses Buches untersucht die historische Komponente. Sie erfasst die Spezifik, Verlaufsformen und Strategien der Technikentwicklung, den Zusammenhang von Gesellschafts- und Technikentwicklung, die Entwicklungsstufen der Technik im historischen Prozess und den Platz technischer Revolutionen in der Menschheitsgeschichte.

Das zweite Buch befasst sich mit der „Allgemeine Technologie“ als Disziplin der Technikwissenschaften. Das umfasst die Herausbildung und historische Entwicklung der Technologie als Wissenschaft, ihre gesellschaftlich Funktion und ihre Gegenstandsbestimmung. Es werden die technologischen Grundvorgänge als Elemente des technologischen Systems untersucht und ihre Spezifik, ihre Struktur sowie die ihnen zugrunde liegenden Wirkprinzipien dargestellt. Die systematische Ordnung der Vielfalt technologischer Vorgänge im System der Bearbeitungsvorgänge und die Symboldarstellung der einzelnen Klassen von Bearbeitungsvorgängen schaffen eine übersichtliche Grundlage für die weiteren Darlegungen.

Der umfangreichste Teil des zweiten Buches ist der allgemeintechnischen Charakteristik der einzelnen Klassen von Bearbeitungsvorgängen gewidmet. Dabei werden jeweils die spezifischen Merkmale der Bearbeitungsvorgänge, die typischen Arbeitsgegenstände, die Struktur der technologischen Grundvorgänge und ihre Wirkprinzipien vorgestellt. Eine Übersicht über die wichtigsten zugehörigen technologischen Vorgänge und ihre Systematik runden die Darstellung ab.

Ein weiterer Teil befasst sich mit der Struktur technologischer Produktionssysteme und gibt Beispiele für die konkreten Erscheinungsformen dieser Grundstrukturen in den einzelnen Wirtschaftszweigen. Ein Kapitel über Formen der graphischen Darstellung technologischer Produktionssysteme ergänzt diesen Teil.

Schließlich werden die allgemeinen Verfahrensprinzipien als grundlegende Gestaltungsprinzipien für eine optimale Prozessorganisation, für die Prozessstabilisierung und die Prozessvariabilisierung technologischer Systeme in ihrer Systematik und in ihren Erscheinungsformen in unterschiedlichen Bereichen der Volkswirtschaft vorgestellt.

Abschließend befasst sich das zweite Buch mit den Entwicklungstendenzen der Technologie unter dem Einfluss der sich gegenwärtig herausbildenden neuen technologischen Produktionsweise. Es wird die Frage nach den Triebkräften und Fortschrittskriterien der Technologieentwicklung gestellt und Strategien und Prinzipien ihrer Realisierung aus technologischer Sicht formuliert. Dabei werden die Strategien und Prinzipien der Verfahrensintensivierung, der rationellen Material- und Energienutzung und der Ökologisierung von Produktionsprozessen besonders berücksichtigt.

Das dritte Buch ist der allgemeintechnischen Darstellung der technischen Systeme gewidmet. Es werden die Systematik, Funktionen und Strukturen technischer Systeme untersucht, wobei den Funktionsorganen besondere Aufmerksamkeit geschenkt und das Arbeitsorgan als wesensbestimmendes Teilsystem charakterisiert wird. Umfangreich und anschaulich werden sodann die Hauptklassen technischer Systeme in ihrer Charakteristik und ihren Erscheinungsformen vorgestellt

Die vorgelegte Schrift ist letztlich das Ergebnis einer umfassenden kollektiven, über Jahrzehnte andauernden Arbeit einer Vielzahl von Wissenschaftlern, insbesondere der Mitglieder der Forschungsgemeinschaft „Fachwissenschaftliche Grundlagen der Polytechnik“ der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Ihnen sei an dieser Stelle noch einmal herzlich gedankt. Mit der Zusammenfassung der vorliegenden Ergebnisse möchte der Autor zugleich anregen, die Studien fortzusetzen mit dem Ziel, die „Allgemeine Techniklehre“ ständig zu vervollkommnen und weiterzuentwickeln.

Frankfurt (Oder), im Oktober 2006 Horst Wolffgramm

Erstes Buch - TECHNIK UND GESELLSCHAFT

1. Allgemeine Techniklehre

1.1. Bedingungen und Grundlagen für die Herausbildung einer Allgemeinen Techniklehre

Die Entstehung neuer Wissenschaftsdisziplinen und die Formulierung neuer grundlegender Theorien widerspiegeln letztlich immer neu herangereifte objektive Bedürfnisse der Gesellschaft und der Wissenschaft selbst. Auf dem Hintergrund bedeutender gesellschaftlicher Entwicklungsprozesse und der schnell voranschreitenden wissenschaftlich-technischen Revolution vollziehen sich seit der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts gravierende Veränderungen im Wissenschaftssystem insgesamt und in den einzelnen Wissenschaftsdisziplinen.

Für die Aufdeckung objektiver Grundlagen für die Herausbildung von Grundlagendisziplinen mit Querschnittscharakter spielen dabei als charakteristische Züge und Tendenzen dieser Wissenschaftsentwicklung eine große Rolle:

- der breite Übergang von der funktional-morphologischen Beschreibung der Objekte zu ihrer Erfassung als hierarchisch strukturierte Systeme, d.h. Übergang zum Systemdenken
- der in vielen Wissenschaften zu beobachtende Übergang vom Struktur- und Prozessdenken zum Entwicklungsdenken
- das mit der schnell wachsenden Komplexität aller gesellschaftlichen Erscheinungen verbundene neue Verhältnis von Disziplinarität und Interdisziplinarität im Wissenschaftsbetrieb

In diesen Tendenzen drückt sich die gegenwärtig in fast allen Wissenschaftsdisziplinen und Wissenschaftsgebieten beobachtbare ausgeprägte Dialektik von zunehmender Differenzierung und Spezialisierung (verbunden mit der Entstehung zahlreicher neuer Spezialdisziplinen) auf der Basis schnell wachsender einzelwissenschaftlicher Erkenntnisse einerseits und unübersehbaren integrativen Tendenzen zwischen den Disziplinen, die sowohl in der Entstehung von “Grenz"-wissenschaften (Biotechnologie, Ingenieurökologie, Bionik) aber vor allem auch in übergreifenden theoretischen Verallgemeinerungen auf allen Abstraktionsstufen des Wissenschaftssystems und der Herausbildung von Grundlagen- und Querschnittsdisziplinen ihren Ausdruck findet (z.B. einer einheitlichen Theorie der Struktur der Materie und der elementaren Wechselwirkungsprozesse, einer allgemeinen Evolutionstheorie, der Systemtheorie sowie der Informatik).

Auch in den Technikwissenschaften zeigt sich diese Dialektik. Schneller Erkenntniszuwachs in den Teildisziplinen (z.B. in der Schweißtechnik, in der Automatisierungstechnik, in der Fördertechnologie, in der Informationselektrik) und die Entstehung neuer Teildisziplinen (z.B. Lasertechnologie, Ultraschalltechnologie, Informationstechnik, Tribotechnologie, Biotechnologie, Nanotechnologie) entspricht der Spezialisierungstendenz. Die integrative Entwicklung zeigt sich demgegenüber in solch neuen Disziplinen wie Allgemeine Technologie, Theorie technischer Systeme, Allgemeine Theorie der Produktionsprozesse, Systemtechnik und Allgemeine Konstruktionswissenschaft. Verbunden ist diese Tendenz zugleich mit einer zunehmenden theoretischen Verallgemeinerung des technischen Wissens insgesamt und seiner vertieften wissenschaftlichen Begründung und mathematischen Fundierung.

Die Integrationstendenz in der Wissenschaftsentwicklung ist offensichtlich mit dem Eintritt vieler Wissenschaftsdisziplinen in eine neue Entwicklungsphase verbunden und scheint Ausdruck einer allgemeinen Gesetzmäßigkeit der Wissenschaftsentwicklung zu sein. Danach durchläuft jede Wissenschaft in ihrer Geschichte drei qualitativ voneinander unterschiedene Phasen: die qualitative, die quantitative und die strukturelle Phase.

In der *qualitativen Phase* herrscht die beschreibende, rein empirische Arbeitsweise vor. Die unterschiedlichen Erscheinungen und Prozesse des Objektbereiches werden erfasst, detailliert beschrieben und geordnet. Auf dieser Stufe dringt man noch nicht zum Wesen der Erscheinungen vor und kommt bestenfalls zu gewissen Prinzipien und Regeln.

In der *quantitativen Phase* werden die Erscheinungen und Prozesse messend untersucht, ihre Wesensmerkmale und die zentralen Begriffe formuliert sowie quantitative Beziehungen in Form von Gesetzen formuliert.

Die *strukturelle Phase* schließlich wird charakterisiert durch übergreifende System-, Struktur- und Entwicklungsbetrachtungen sowie durch die Formulierung allgemeiner, den gesamten oder größere Teile des Objektbereiches erfassende Theorien sowie durch die Schaffung eines einheitlichen Begriffsgebäudes.

Die Technikwissenschaften befinden sich gegenwärtig offensichtlich am Beginn der strukturellen Phase. Ausgelöst wurde dieser Schritt durch die wissenschaftlich-technische Revolution. Sie findet u.a. ihren Ausdruck in den Bemühungen zur Herausbildung einer allgemeinen Techniklehre als Grundlagenwissenschaft der Technik. Stimuliert und determiniert wird dieser Prozess durch die objektive Tendenz der zunehmenden Vereinheitlichung der Produktionssysteme, denn bei aller schnell zunehmenden Differenzierung der Maschinenwelt und der Spezialisierung der Bearbeitungsvorgänge ist gleichzeitig der Prozess der Herausbildung relativ einheitlicher Grundstrukturen technischer und technologischer Systeme unübersehbar. Er zeigt sich insbesondere in

- der *Herausbildung und universellen Anwendung eines neuartigen Maschinentyps*, der automatischen Maschinensysteme, bei dem neben dem spezifischen Bearbeitungsteil der Systeme ein bei aller Verschiedenartigkeit ein weitgehend gleichartiger Energieteil und ein relativ einheitlich strukturierter Informationsteil nachweisbar ist. Diese durch die unterschiedlichsten Bearbeitungsvorgänge charakterisierten automatischen Maschinensysteme weisen gleichzeitig prinzipiell gleichartige energetische und informationelle Prozesse sowie Transportoperationen auf. Der Vereinheitlichungseffekt ergibt sich daraus, dass die arbeitsgegenstandsspezifische Veränderung (die in den unterschiedlichen technischen Systemen sehr verschiedenartig sein kann) durch gleichartige energetische und informatorische Prozesse bewirkt und gesteuert wird;
- der *Entstehung weitgehend einheitlicher Strukturen in den technologischen Produktionsabläufen*, hervorgerufen durch die zunehmende Anwendung industrieller Formen der Prozessgestaltung auch in Volkswirtschaftsbereichen außerhalb der Industrie (Bauwesen, Verkehrs- und Transportwesen, Landwirtschaft);
- der *zunehmenden Vereinheitlichung der Produktionsabläufe* durch die immer stärkere *wissenschaftliche Durchdringung der Produktionsprozesse* infolge der systematischen Anwendung allgemeiner Verfahrens- und Organisationsprinzipien zu ihrer rationelleren Gestaltung.
- dem objektiven *Zwang zur Standardisierung und Normung* von Bauelementen, Baugruppen, Antrieben, Steuerungen und ganzen Maschinen. Die mit der Industrialisierung schnell wachsende Zahl und kaum noch überschaubare Vielfalt unterschiedlichster Arbeitsmittel führte sowohl aus technischen wie auch aus ökonomischen Gründen sehr bald zur Notwendigkeit der Vereinheitlichung. Solche Festlegungen wurden zunächst auf Betriebs-, später dann auch auf nationaler und internationaler Ebene getroffen.

Als wesentliche Kriterien gelten dabei:

- die Austauschbarkeit und Wiederholbarkeit von Maschinenelementen, Baugruppen und ganzen Aggregaten, um eine rationelle Fertigung, Wartung und Reparatur des Maschinenparks und der Bereitstellung von Ersatzteilen sicherzustellen,
- die Anwendung des Baukastensystems für die Schaffung und den Einsatz standardisierter Bausteine (Bauelemente, Baugruppen, Bauteile) zur rationellen Gestaltung der Konstruktion , der vielfältigen Kombinierbarkeit und verbesserten Ersatzteilversorgung,
- die Verständigung auf Vorzugszahlen hinsichtlich der Abmessungen (z.B. bei Schrauben, Gleitlagern), der Materialkenngrößen (z.B. für Einsatzgebiete bestimmter Stähle), der Baugrößen und Anschlusswerte (z.B. für Elektromotoren) zur Sicherung der Kompatibilität mit anderen Arbeitsmitteln.

Diese objektive Tendenz der zunehmenden Herausbildung einheitlicher Grundstrukturen der Technik (sowohl der technischen als auch der technologischen Systeme) ermöglicht und fördert das Entstehen allgemeintechnischer Wissenschaftsdisziplinen von Querschnittscharakter. Sie ist die objektive Basis für die Formulierung einer allgemeinen Techniklehre als Grundlagenwissenschaft der Technik.

Zu den objektiven Grundlagen und Voraussetzungen für die Möglichkeit der Herausbildung einer die gemeinsamen theoretischen Grundlagen der Technikwissenschaften erfassenden und darstellenden Wissenschaftsdisziplin in Form einer „Allgemeinen Techniklehre" müssen auch Faktoren gerechnet werden, die sich aus der Wissenschaft selbst ergeben. Es sei hier vor allem auf die Entwicklung der Systemtheorie, der

Kybernetik und der Informatik hingewiesen, die ganz wesentlich dazu beigetragen haben, die Objekte der Technikwissenschaften als Systeme aufzufassen, deren Elemente in ihrem funktionalen Zusammenwirken die geforderten Systemeigenschaften gewährleisten.

Ein wesentliches Erfordernis für die Herausbildung einer „Allgemeinen Techniklehre“ ergibt sich weiterhin aus den Technikwissenschaften selbst. Der riesig angewachsene Erkenntnisfundus in den Einzeldisziplinen der Technikwissenschaften und die wachsende Zahl technischer, technologischer und werkstoffkundlicher Wissenschaftsdisziplinen verlangt dringend nach einer überschaubaren Ordnung, nach Herausarbeitung von Gemeinsamkeiten, grundlegenden Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten. Sie schafft ein einheitliches theoretisches Fundament für alle Zweige der Technikwissenschaften und ist damit auch ein wichtiges Verständigungsmittel zwischen Spezialisten unterschiedlicher Bereiche aus Technik und Wirtschaft.

In der Gesellschaft besteht für diese Entwicklung zugleich ein tiefes Bedürfnis. Es ergibt sich einmal aus der schnellen Technisierung aller Bereiche des gesellschaftlichen und individuellen Lebens und der damit verbundenen Notwendigkeit einen allgemeinen Überblick über Rolle und Funktion der Technik insgesamt zu gewinnen. Dieses Bedürfnis wird dadurch verstärkt, dass die Technikentwicklung gegenwärtig Dimensionen erreicht hat, die zu einer neuen Qualität und zu essentiellen Widersprüchen in der Mensch-Technik-Natur-Relation (Naturbeherrschung - Naturzerstörung - Raubbau an der Natur) geführt hat.

Schließlich soll ein weiterer sehr wesentlicher Grund für die wachsende Bedeutung der Erarbeitung einer allgemeinen Technikтheorie genannt werden. Das ist ihre Funktion bei der Ausprägung eines wissenschaftlichen Technikbildes. So wie alle umwälzenden Entdeckungen auf dem Gebiet der Naturwissenschaften immer von nachhaltigem Einfluss auf das jeweilige naturwissenschaftliche Weltbild waren, sind die revolutionären Veränderungen, die sich in der Technik durch die wissenschaftlich-technische Revolution vollzogen haben und weiter vollziehen, von nachhaltiger Wirkung auf das Weltbild unserer Zeit. Das betrifft insbesondere den Platz und die Funktion der Technik im gesellschaftlichen Leben und für den gesellschaftlichen Fortschritt, für die Mensch-Technik-Relation und für die Gestaltung der Natur-Technik-Beziehungen. Die z.T. äußerst heftig geführten weltanschaulichen Auseinandersetzungen um die Art der Techniknutzung in der gegenwärtigen Gesellschaft sind ein nicht zu übersehender Ausdruck dafür.

Zusammenfassend lassen sich aus diesen Überlegungen zu dem gesellschaftlichen Bedürfnis nach einer allgemeinen Technikтheorie sowie zu ihren Voraussetzungen und objektiven Grundlagen die *Aufgaben und Funktionen einer allgemeinen Techniklehre* ableiten.

1.2. Aufgaben und Funktionen einer Allgemeinen Techniklehre

Als wesentliche Aufgaben und Funktionen der Allgemeinen Techniklehre können zusammenfassend genannt werden:

- Wissenschaftlich fundiertes Verständnis schaffen für die Rolle und Funktion der Technik im Leben der Gesellschaft und für den gesellschaftlichen Fortschritt
- Darstellung der Spezifik der Technik im Kategoriensystem Natur-Gesellschaft-Technik und ihrer sozioökonomischen und soziokulturellen Aspekte
- Explizite Ausarbeitung und Darstellung des Technikbegriffs als grundlegender philosophischer Kategorie
- Zusammenfassung und Ordnung der Vielfalt technischer Erscheinungen unter einheitlichen Gesichtspunkten (Erarbeitung einer systematischen Ordnung des Gesamtbereiches und seiner einzelnen Teilsysteme).
- Aufbau eines grundlegenden Kategoriengebäudes der Technikwissenschaften , Formulierung der zentralen Begriffe (Technik, Technologie, Technikgesetze, allgemeine Technikprinzipien, Fortschrittskriterien der Technikentwicklung usw.).
- Schaffung einheitlicher theoretischer Grundlagen für die Teildisziplinen der Technikwissenschaften durch Aufdecken und Formulierung allgemeiner Begriffe, Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten der Struktur, Funktion, Organisation und Entwicklung technischer und technologischer Systeme
- Formulierung allgemeiner Theorien der Technikwissenschaften
- Entwurf allgemeiner Modelle, die technische Erscheinungen allgemeingültig abbilden.
- Ausarbeitung spezifischer Arbeits- und Forschungsmethoden der Technikwissenschaften

1.3. Gegenstand und Methoden einer Allgemeinen Techniklehre

Anstelle des bisher in der Literatur gebräuchlichen Terminus „Allgemeine Technologie“ setze ich die Bezeichnung „Allgemeine Techniklehre“, vor allem deshalb, weil der Begriff „Technik“ die zentrale Kategorie für diese Wissenschaftsdisziplin ist (wir benennen den Gesamtbereich als „Technikwissenschaften“ in Gegenüberstellung zu den Naturwissenschaften). Zum anderen stellt die „Allgemeine Technologie“ in dem von mir entworfenen System nur einen Teilbereich des gesamten Gegenstandsbereiches der Technikwissenschaften dar (die prozessuale Seite). Als weitere Bereiche sind die Theorie technischer Systeme (die sich mit den Artefakten der Technik befasst, mit denen die technologischen Vorgänge realisiert werden) und die Theorie der Arbeitsgegenstände (das ist der Bereich der materiellen Objekte, die durch die technologische Einwirkung in Gebrauchsgegenstände umgewandelt werden) zu nennen.

Die Allgemeine Techniklehre ist der metatheoretische Bereich der Technikwissenschaften. Sie befasst sich mit der vergleichenden und generalisierenden Analyse und Synthese technischer Systeme und technologischer Prozesse auf den verschiedenen Hierarchieebenen ihrer Erscheinungsformen mit dem Ziel der Bestimmung des Allgemeinen und Wesentlichen, sowie ihrer grundlegenden Kategorien, Gesetze und Methoden.

Der *Gegenstandsbereich der Allgemeinen Techniklehre* wird durch den zugrunde liegenden Technikbegriff bestimmt (siehe dazu Kap. 2., insbesondere 2.1.). Die dazugehörigen Teilbereiche sind: theoretische Grundlagen, Allgemeine Technologie, Theorie technischer Systeme, Theorie des Arbeitsgegenstandes.

Das Wissenssystem jeder Wissenschaft umfasst im Wesentlichen 4 grundlegende Aussagengebiete: die Bestimmung des Gegenstands und der Spezifik des Objektbereichs, die Gliederung (Systematik) des Gesamtgebietes, das fundamentale Begriffssystem, die spezifischen Gesetze und Theorien und die dem Gebiet adäquaten Arbeitsmethoden.

Für die allgemein7e Techniklehre lassen sich daraus folgende wesentlichen Aussagenbereiche ableiten:

- Begriff, Wesensmerkmale, Spezifik und Funktionen der Technik
- die Inhaltsstruktur der Disziplin
- das fundamentale Begriffssystem
- allgemeine Prinzipien, Gesetze und Theorien
- Begriff der allgemeinen Technikprinzipien als zentraler Kategorie der allgemeinen Techniklehre
- spezifische Arbeitsmethoden, Modellbildung, systemtheoretische Vorgehensweise.

1.4. Begriff und System der Allgemeinen Technikprinzipien

Die Kategorie „Allgemeine Technikprinzipien" gehört zu den zentralen Begriffen der allgemeinen Techniklehre. Sie umfasst ihrem Wesen nach jene grundlegenden Kategorien und Gesetzmäßigkeiten, wie sie in der Phase der Herausbildung einer allgemeinen Theorie in jedem Wissenschaftsgebiet herausgearbeitet und formuliert werden. So wie die Atomphysik die Vielfalt der chemischen Elemente und ihrer Eigenschaften im Prinzip auf wenige Grundbausteine, Strukturgesetzmäßigkeiten und Funktionsweisen zurückführen konnte, geht es in den Technikwissenschaften darum, die Mannigfaltigkeit der technischen Systeme und technologischen Vorgänge auf wenige grundlegende Elemente, Strukturen und Funktionen, Prinzipe und Tendenzen und deren hierarchische Ordnung zurückzuführen und sie damit überschaubar zu machen.

> *Allgemeine Technikprinzipien* sind die von den konkreten Erscheinungsformen und spezifischen Besonderheiten abstrahierenden Gemeinsamkeiten (Invarianten) bestimmter Klassen technischer Gebilde und Prozesse. Der Begriff der allgemeinen Technikprinzipien ist der Schlüsselbegriff für das Verständnis der allgemeinen Techniklehre.

Allgemeinen Technikprinzipien können dargestellt werden in Form

- verbaler Formulierungen von Wirkprinzipien, Funktionsprinzipien oder Entwicklungsprinzipien,
- von Strukturdarstellungen technologischer und technischer Systeme,
- von Ordnungssystemen von Teilklassen technischer Gebilde und Vorgänge,
- der graphischen Darstellung von Entwicklungstrends

Es gehört zu den grundlegenden Aufgaben jeder Wissenschaft, ihre Ergebnisse entsprechend dem jeweiligen Erkenntnisstand systematisch zu ordnen und zusammenzufassen. Solche Ordnungssysteme machen das bekannte Wissen nicht nur überschaubar, sie decken auch (entsprechend den gewählten Ordnungskriterien) innere Zusammenhänge zwischen den einzelnen Bereichen der erfassten Gegenstände auf und sind nicht zuletzt immer wieder Ausgangspunkt neuer wissenschaftlicher Fragestellungen, wenn sich innerhalb des Systems Widersprüche zeigen. In bedeutendem Maße stehen die Bemühungen um die Aufstellung von Ordnungssystemen auch im Zusammenhang mit der Formulierung neuer umfassender Hypothesen und Theorien. Die Geschichte des Periodensystems der Elemente in der Chemie, des natürlichen Systems der Pflanzen und Tiere in der Biologie sowie des Systems der Elementarteilchen in der Kernphysik weist auf die Bedeutung solcher Systematiken nachdrücklich hin.

Das System der allgemeinen Technikprinzipien muss alle wesentlichen Inhaltsbereiche einer allgemeinen Techniklehre erfassen und zugleich eine Übersicht über ihre Gesamtstruktur geben. Als Klassifikationskriterien für eine solche Ordnungsmatrix bieten sich an:

- die die Sachsysteme der Technik in ihrer Gesamtheit erfassenden Bereiche. Die Elemente dieser Datenmenge sind die technischen Mittel, die technologischen Vorgänge und die zu verändernden Objekte (Arbeitsgegenstände)
- die Aspekte, unter denen die einzelnen Bereiche im Sinne der Zielsetzung der allgemeinen Techniklehre in ihren Wesensmerkmalen erfasst werden können. Dieses Kriterium umfasst die Elemente (in ihrer hierarchischen Ordnung einschließlich ihrer Funktionen und Systematik), die Strukturen der Erscheinungen, die Organisationsformen der typischen Systeme des jeweiligen Bereichs und die Entwicklung unter dem Aspekt der Evolutionsprinzipien, Entwicklungstendenzen und Entwicklungsgesetzmäßigkeiten

Auf dieser Basis ergibt sich das System der allgemeinen Technikprinzipien als zweistellige Verknüpfungsmatrix (Tabelle 1.1.)

BEREICHE	ASPEKTE Elemente	Strukturen	Organisation	Entwicklung
TECHNISCHE MITTEL	Elemente und Funktionen technischer Systeme	Organstruktur technischer Systeme	Verkettungsprinzipien technischer Systeme	Evolutionsprinzipien technischer Systeme
TECHNOLOGISCHE VORGÄNGE	Technologische Grundverfahren und ihr System	Phasenstruktur technologischer Systeme	Allgemeine Verfahrensprinzipien	Entwicklungstendenzen technologischer Systeme
ZU VERÄNDERNDE OBJEKTE	System der Arbeitsgegenstände	Strukturprinzipien der Arbeitsgegenstände		Entwicklungstendenzen der Arbeitsgegenstände

Tabelle 1.1 System der allgemeinen Technikprinzipien

Dieses System der Allgemeinen Technikprinzipien erfasst zugleich die fundamentalen theoretischen Grundaussagen der Allgemeinen Techniklehre.

1.5. Inhaltsstruktur der Allgemeinen Techniklehre (Übersicht)

Der Inhalt der Allgemeinen Techniklehre wird von folgenden Aussagenbereichen bestimmt:

- Aussagen zum Begriff und Gegenstandsbereich der Technik, zur Spezifik und den Funktionen technischer Erscheinungen und Gesetze, zu den Triebkräften und Determinanten der Technikentwicklung .
- Aussagen zu den Dimensionen der Technik)technisch, technologisch, ökonomisch, kulturell, soziologisch, philosophisch).
- Aussagen zur Weltbildfunktion der Technikwissenschaften.
- Aussagen zum fundamentalen Begriffssystem und zum Begriff der allgemeinen Technikprinzipien als zentraler Kategorie der allgemeinen Techniklehre.
- Aussagen zum technologischen Prozess und seinen Elementen, zum Begriff und zur Struktur technologischer Grundvorgänge, zu den Wirkfaktoren als konstituierenden Elementen des technologischen Grundvorgangs, zum technologischen Wirkprinzip, zum System der technologischen Grundvorgänge und zur Charakteristik der einzelnen Klassen von Bearbeitungsvorgängen.
- Aussagen zu allgemeinen Prinzipien der rationellen Gestaltung technologischer Systeme unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Bewertungskriterien, d.h. zu Prinzipien der Organisation technologischer Systeme, zu technologischen Prinzipien der rationellen Nutzung von Material und Energie, sowie zu Prinzipien der Ökologisierung von Produktionsprozessen.
- Aussagen zu Strategien und Verlaufsformen der Technikentwicklung, Haupttrends der Technik- und Technologieentwicklung in der Gegenwart.

Charakteristische *Methoden der allgemeinen Techniklehre* sind:

- *Strukturbeschreibung und Strukturanalyse* technischer Systeme. Durch sie werden die konstituierenden Elemente des analysierten Systems bestimmt und in ihren allgemeinen Parametern und Merkmalen beschrieben mit dem Ziel, allgemeine Strukturen ganzer Klassen technischer und technologischer Gebilde aufzudecken. Die Strukturanalyse impliziert auch die Erfassung und Darstellung der wesentlichen funktionsbestimmenden Relationen (Kopplungen) zwischen den Strukturelementen.
- *Vergleichende System- und Prozessanalyse, z.B.* durch analytische Verfahrens- und Objektbeschreibung als Netz von Teilfunktionen zur Bestimmung relevanter Einflussfaktoren und Zustandsgrößen, ihrer Erfassung in Ordnungsmatrizen und die Auffindung von Typen technischer Erscheinungen
- *Modellbildung* als unverzichtbares Mittel zur tieferen Erkenntnis des Wesens der untersuchten technischen Gebilde und Vorgänge und im Theoriebildungsprozess, insbesondere bei der Herausfindung allgemeiner Technikprinzipien.

1.6. Zum Stand der Ausarbeitung einer allgemeinen Techniklehre

Obwohl erste Ansätze zu einer allgemeinen Betrachtungsweise technischer Erscheinungen bereits seit dem ausgehenden 18. Jahrhundert (ganz offensichtlich im Konnex mit der sich entwickelnden Maschinentechnik und der industriellen Revolution) in der Literatur anzutreffen sind, ist die konkrete Bearbeitung solcher Fragen mit dem Ziel des Entwurfs einer allgemeinen Techniklehre erst jüngsten Datums. Im Grunde beginnt diese Phase der Technikwissenschaften in der Mitte des 20. Jahrhunderts und fällt zusammen mit dem Beginn der wissenschaftlich-technischen Revolution.

Um die Mitte des 19. Jahrhunderts. bildete sich in Deutschland die „Technikphilosophie“ heraus als Reflexion auf die Entwicklung der Maschinenindustrie, die Entstehung des Ingenieurwesens und eines technischen Bildungswesens an den Hochschulen. In ihr wurde versucht, eine historische, kulturelle, soziale und ökonomische Aspekte berücksichtigende allgemeine “Theorie der Technik” zu formulieren und grundlegende Fragen nach dem Sinn der Technik und ihren sozialen Wirkungen, der Technikbewertung, dem technischen Fortschritt und der Verantwortung bei der Techniknutzung zu beantworten.

Andererseits entwickelten sich in den Disziplinen der mechanischen Technologie und der chemischen Technologie im Gefolge des Ende des 19. Jahrhunderts erfolgenden Übergangs zur industriellen Fließbandproduktion und zu chemischen Großsynthesen vergleichende Betrachtungsweisen der Technik, die in der Fertigungstechnologien und in der Verfahrenstechnologie ihren Niederschlag fanden. Sie bilden die Vorstufe zum nächsten Schritt, dem Übergang vom Prozessdenken zur Systembetrachtung. Das steht im Zusammenhang mit der steigenden Komplexität technischer Anlagen und der zunehmenden Vernetzung von Stoff-,

Energie- und Informationsflüssen, die zwingend erforderten, die technischen Objekte als Systeme zu erfassen, d.h. das Systemdenken und die Strukturbetrachtung zu tragenden Methoden in der Technik zu machen.

Die breitere Hinwendung zur allgemeintechnischen Untersuchung und Darstellung technischer Sachsysteme beginnt in den sechziger Jahren unseres Jahrhunderts. Dabei lassen sich drei Ansatzpunkte unterscheiden:

- Die Probleme der Prozessgestaltung und der Automatisierung komplexer Produktionsprozesse der beginnenden wissenschaftlich-technischen Revolution führten zur Notwendigkeit systemtheoretischer Betrachtungsweisen insbesondere der Transport, Speicher- und Steuerungsaufgaben, die unabhängig von den konkreten Bearbeitungsvorgängen in allen Prozessen relativ gleichartig waren. Sie finden ihre Widerspiegelung in allgemeintechnisch orientierten theoretischen Arbeiten (Lit. O.01. bis 0.03.).
- Das wachsende gesellschaftliche Bedürfnis zur Gestaltung einer allgemeintechnischen (polytechnischen) Bildung im Rahmen der Allgemeinbildung zur Bewältigung der Herausforderungen der wissenschaftlich-technischen Revolution und die durch die immer stärkere Spezialisierung der Ingenieurausbildung an den Hochschulen notwendige Formierung eines breiten , die fachliche Disponibilität sichernden technischen Grundlagenstudiums erforderten zwingend die Ausarbeitung einer allgemeinen Techniktheorie als fachwissenschaftlicher Grundlage für die Bestimmung von Bildungsinhalten und Ausbildungsstruktur. Sie lösten zahlreiche Forschungen zur Aufdeckung von Invarianten in der Technik (Allgemeinen Technikprinzipien) aus, die vielfältiges Material für eine allgemeine Techniklehre erbrachten (Lit. 1.04. bis 1.30.).
- Die durchgängige Technisierung aller Bereiche des gesellschaftlichen Lebens, die Umwälzungen in der technologischen Produktionsweise mit gravierenden Veränderungen im gesellschaftlichen Leben erforderten grundsätzliche Auseinandersetzungen mit der Technik als gesellschaftlicher Erscheinung, ihrem Wesen, ihren Wirkungen. Die allgemeintechnischen Fragestellungen in diesen stark philosophisch-weltanschaulich bestimmten, aber darüber hinausgehenden Forschungen betreffen den allgemeinen Technikbegriff, die Bestimmung der Spezifik von Technikgesetzen, die Suche nach Entwicklungsgesetzen und -strategien der Technik, nach allgemeinen Funktions- und Strukturmodellen und nach den Perspektiven der Mensch-Technik-Relation. Auch unter diesem Aspekt ist in den letzten Jahren eine umfangreiche Literatur erschienen (Lit. 1.31. bis 1.35.).

Bis heute fehlt eine zusammenfassende Publikation der zahlreichen Teilergebnisse zur allgemeintechnischen Darstellung technischer Sachsysteme in einer „Allgemeinen Techniklehre”. Wenn wir im Folgenden versuchen, eine erste Zusammenfassung vorzunehmen, so gehen wir davon aus, dass es sich um einen ersten Schritt handelt, der deshalb mit vielen Unzulänglichkeiten behaftet ist. Es werden sich dabei aber die schon tragfähigen Grundlagen zeigen und zugleich die Bereiche aufgedeckt werden, die einer intensiven weiteren Bearbeitung bedürfen.

1.7. Zum Platz der Allgemeinen Techniklehre im System der Technikwissenschaften

Die Anerkennung eines eigenständigen Objektbereiches der Technik ist zugleich die Voraussetzung und Bedingung für das Entstehen und die Existenz von Wissenschaftsdisziplinen, die diesen Objektbereich zum Gegenstand haben. Von besonderer Bedeutung dabei ist, daß nur so eine eigenständige Theoriebildung erfolgen kann. In diesem Zusammenhang soll noch einmal daran erinnert werden, daß die Existenz von Technikwissenschaften lange Zeit bestritten und ihnen bestenfalls der Status von "angewandten Naturwissenschaften" zugebilligt wurde. Mit den Fortschritten in der Ausarbeitung des allgemeinen Technikbegriffs und einer Techniktheorie konnte diese Position mehr und mehr überwunden werden. In der Tat zeigen sich bei näherer Betrachtung gravierenden Unterschiede nicht nur im Gegenstandsbereich beider Wissenschaftsgebiete. Während sich die Naturwissenschaften vornehmlich auf die Abbildung der Wirklichkeit (auf Entdeckungen) orientieren und die dabei wirkenden Gesetzmäßigkeiten aufdecken, steht bei den Technikwissenschaften die Aneignung und Beherrschung dieser Wirklichkeit im Zentrum. Sie schafft die dazu erforderlichen Mittel und Strategien durch Erfindungen. Der Gegenstand der Technikwissenschaft ist im Unterschied zur Naturwissenschaft ein "geschaffener Gegenstand".

Zwischen Technikwissenschaften, Naturwissenschaften und Gesellschaftswissenschaften bestehen enge Beziehungen, die sich aus den Spezifika der Technik selbst ergeben. Die Naturwissenschaften bilden eine Grundlage für die Technikwissenschaften, weil sich technisch nur realisieren lässt, was naturgesetzlich mög-

lich ist. Andererseits ergibt sich die Beziehung zu den Gesellschaftswissenschaften aus der Zweckorientierung der Technikwissenschaften, denn der Zweck ist immer gesellschaftlich determiniert.

Der *Gegenstand der Technikwissenschaften* ist die Technik in Form von technischen Systemen, Bearbeitungsvorgängen und Arbeitsgegenständen. Die Technikwissenschaften verallgemeinern praktische Erfahrungen bei der Gestaltung und Anwendung der technischen Mittel. Sie betrachten die Technik nie als Zustand, sondern immer als Entwicklungsaufgabe.

Die *Funktion der Technikwissenschaften* besteht darin, technische Systeme und technologische Vorgänge hinsichtlich ihrer Charakteristiken zu analysieren, die Ergebnisse wissenschaftlich zu begründen, sie theoretisch zu verallgemeinern und anwendungsgerecht aufzuarbeiten und darzustellen.

Ziel der Technikwissenschaften ist es, Grundlagen für die sichere Beherrschung und weitere Verbesserung der technischen Mittel und Prozesse zu schaffen, sowie neue technische Systeme entsprechend den gesellschaftlichen Bedürfnissen durch theoretische Forschung und praktische Entwicklungsarbeit zu schaffen.

Für den *Inhalt der Technikwissenschaften* ergibt sich nach BANSE/WENDT (Lit. 1.7., S.15):

- die systematisierte und geordnete Darstellung der in technischen Systemen bisher realisierten Prinziplösungen (Wirkpaarungen, Strukturen, Funktionen, Werkstoffkombinationen);
- die systematisierte und geordnete Darstellung der auf der Grundlage von Experiment, Messung und Erfahrung gewonnenen Erkenntnisse über technische Charakteristiken;
- die systematisierte und geordnete Erklärung der beschriebenen Sachverhalte auf der Grundlage der natur- und technikwissenschaftlichen Erkenntnisse einschließlich deren mathematisierter Darstellung;
- die systematisierte und geordnete Darstellung der Vorgehensweisen, mittels derer technische Aufgaben sinnvoll und planmäßig gelöst werden (können).

Zur *Gliederung der Technikwissenschaften* gehen die Vorstellungen noch weit auseinander. In ihnen spiegeln sich die historisch gewachsenen Positionen aus einzelwissenschaftlicher Sicht. Eine auch nur annähernd abgesicherte und anerkannte Aussage zur Klassifizierung der Technikwissenschaften kann deshalb nicht gegeben werden. Eine ausführliche Darstellung der damit verbundenen Aspekte findet sich in Lit.1.5, Kap.5.

Wir gehen davon aus, dass sich im Interesse einer das Gesamtgebiet der Technik erfassenden, auf einheitlichen Kriterien basierenden Ordnung nur durch die Anwendung systemwissenschaftlicher Vorgehensweisen und Kriterien überwinden lassen. Darauf basiert der folgende Vorschlag, der weiterer Bearbeitung bedarf.

Für die Bedürfnisse einer allgemeinen Techniklehre läßt sich unseres Erachtens eine entsprechende Gliederung der Technikwissenschaften als Wissenschaftsbereich aus der Struktur des Objektbereiches der Technik ableiten. Zunächst ergibt sich eine erste klassifikatorische Gliederung der Technikwissenschaften aus den drei großen Objektbereichen der Technik:

- Theorie technischer Systeme als Wissenschaft von den technischen Gebilden
- Technologie als Wissenschaft von den Bearbeitungsvorgängen
- Theorie des Arbeitsgegenstandes als Wissenschaft von den Roh- und Werkstoffen, sowie den Arbeitsgegenständen der Energie-, Informations-, Transport- und Agrartechnik

Für die weitere Untergliederung wollen wir Vorschlägen folgen, die die unterschiedlichen Allgemeinheitsgrade der Disziplinen als Einteilungskriterium zugrunde legen: Allgemein-theoretische Disziplinen, Querschnittsdisziplinen und spezielle Disziplinen. Die Untergliederung der weiteren Hierarchieebenen kann sich auf Kriterien wie Bearbeitungsfunktionen, Erzeugniszuordnung oder Systemfunktionen stützen.

Die Allgemeine Techniklehre umfasst den metatheoretischen Bereich der Technikwissenschaften. Er führt die allgemeintechnischen Disziplinen (Allgemeine Technologie, Allgemeine Theorie technischer Systeme und Allgemeine Theorie des Arbeitsgegenstandes) unter übergeordneten Aspekten zusammen und verallgemeinert übergreifende Fragestellungen wie Begriff, Wesensmerkmale, Spezifik und Funktionen der Technik, den Begriff der allgemeinen Technikprinzipien, das fundamentale Begriffssystem der Technik und die spezifischen Arbeitsmethoden allgemeintechnischen Untersuchungen.

Abb.1.1. stellt einen Vorschlag für die Gliederung der Technikwissenschaften vor.

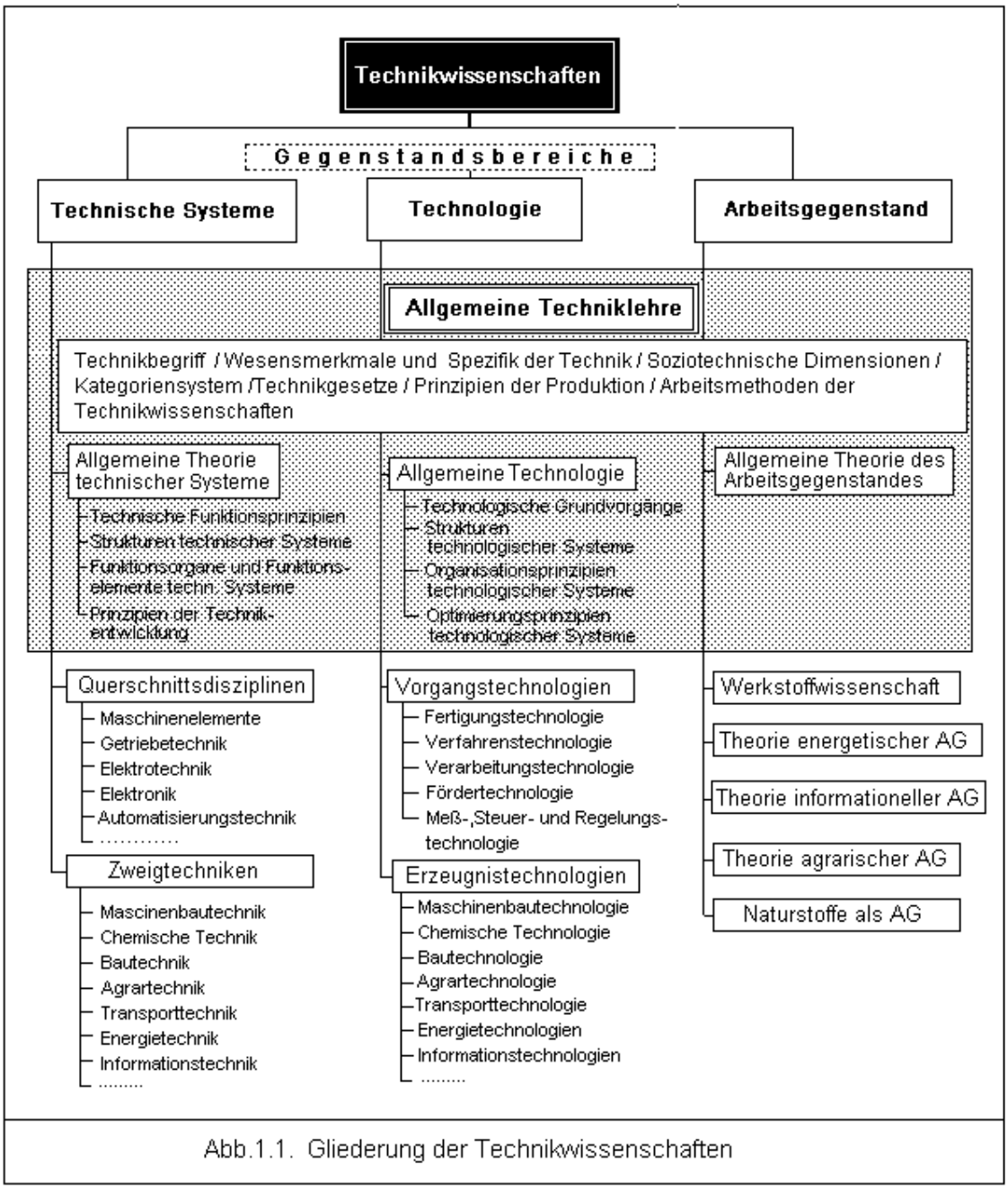


Abb.1.1. Gliederung der Technikwissenschaften

Literatur

1.1 H. Kortum: Über eine allgemeine Theorie des Transports als elementare Grundlage der Automatisierungstechnik; Die Technik, Heft 2/1965, Berlin

1.2 H. Kortum: Über eine allgemeine Theorie des Speicherns als elementare Grundlage der Automatisierungstechnik; Die Technik, Heft 4/1965, Berlin

1.3 R. Geist: Zur Theorie der Produktionsprozesse auf der Grundlage der Systemtechnik, Berlin 1965

1.4 H. Wolffgramm: Allgemeine Technologie; Leipzig 1978

1.5 J. Hölzl: Allgemeine Technologie; Wirtschaftsuniversität Wien 1984

1.6 H. Franke: Zur Theorie des Wirkprinzips als Typ technologischer Gesetze der Stoffbearbeitung; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1979

1.7 Autorenkollektiv: Funktionen, Strukturen, Elemente und Gesetzmäßigkeiten technischer Systeme; Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1987

1.8 H. Hörnecke: Untersuchungen zum System und zur Struktur der Pflanzenproduktion; Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1968

1.9 M. Kleinau: Untersuchungen zum System und zur Struktur der Tierproduktion; Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1968
1.10 D. Pauli: Grundstrukturen agrotechnischer Systeme; Diss. Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1970
1.11 D. Hammerschmidt: Zur Struktur technischer Systeme in Produktionsprozessen des Maschinenbaus; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1982
1.12 W. Hirschmann: Untersuchungen zur Struktur technischer Systeme der Stoffwandlung: Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1981
1.13 Chr. Hein, Zur Theorie energieändernder technologischer Vorgänge; Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1986
1.14 Chr. Hein: Untersuchungen zur Organstruktur energieumformender Systeme; Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1982
1.15 P. Schneider: Untersuchungen zur Organstruktur technischer Systeme des Energietransports; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1983
1.16 L. Abicht: Untersuchungen zur Organstruktur energiewandelnder technischer Funktionssysteme; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1983
1.17 J. Kramer: Die Entwicklungstendenzen der stofflicher Arbeitsgegenstände ihm Rahmen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1983
1.18 E. Hartmann: Untersuchungen zu allgemeinen Verfahrensprinzipien in der stoffwandelnden Produktion; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1979
1.19 E. Hartmann: Technologische Entwicklungstendenzen zur Ökologisierung der Produktion im wissenschaftlich-technischen Fortschritt; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1986
1.20 L. Abicht: Entwicklungstendenzen der rationellen Energienutzung im wissenschaftlich-technischen Fortschritt; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1987
1.21 W. Preiß: Untersuchungen zur Organstruktur technischer Informationsverarbeitungssysteme; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1980
1.22 G. Früchtel: Zur Technologie der Informationsverarbeitung - Vorganssystematisierung, Wirkprinzipien und Vorgangsmodellierung aus allgemeintechnischer Sicht; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1988
1.23 R. Worch: Informationsändernde technische Vorgänge aus allgemeintechnischer Sicht; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1992
1.24 R. Scholze / G. Schulze: Information - eine Klasse von Arbeitsgegenständen, Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1984
1.25 H. Mackeprang: Zum Informationsbegriff in der Allgemeinen Technologie; Dissertation; TU Berlin 1987
1.26 D. Blandow / G.Schneider: Zur Analyse und Synthese technischer Gebilde für die Ingenieurausbildung im Maschinenbau, Dissertation TU Dresden 1971
1.27 G. Möbius: Entwicklungstendenzen des Arbeitsorgans im wissenschaftlich-technischen Fortschritt; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1985
1.28 M. Perwitzschky: Grundriß einer Theorie technischer Systeme; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1975
1.29 D. Hammerschmidt: Zur Theorie technologischer Vorgänge der Stoffformung; Dissertation Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1989
1.30 G. Ropohl: Eine Systemtheorie der Technik; München 1979
1.31 G. Buchheim / R.Sonnemann: Geschichte der Technikwissenschaften; Basel / Boston / Berlin 1990
1.32 B.I. Iwanow / W.W. Tscheschew: Entstehung und Entwicklung der technischen Wissenschaften; Moskau / Leipzig 1982
1.33 G. Banse / H. Wendt: Erkenntnismethoden in den Technikwissenschaften; Berlin 1986
1.34 H. Hörz: Wissenschaft als Prozess (Grundlagen einer dialektischen Theorie der Wissenschaftsentwicklung; Berlin 1988
1.35 Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie, Fortschrittsberichte der Leibniz-Sozietät Berlin, Band 75, Jahrgang 2004

2. Technik als gesellschaftliche Erscheinung

2.1. Allgemeiner Technikbegriff - Standpunkte und Probleme

Es gibt keinen Bereich des menschlichen individuellen und gesellschaftlichen Lebens, in dem Technik nicht eine bedeutende Rolle spielt: in der Arbeitswelt, im Haushalt, im kulturellen Leben, beim Lernen, bei Spiel und Sport, bei der Touristik, im Gesundheitswesen, in der wissenschaftlichen Forschung ebenso wie in der Landesverteidigung. Der Technikbegriff gehört deshalb zu den umgangssprachlich verbreitet gebrauchten Wortbezeichnungen. Man identifiziert ihn mit Werkzeugen, Maschinen, Geräten, Apparaten, Anlagen und allgemein mit technischen Mitteln und Einrichtungen der menschlichen Tätigkeit. Andererseits wird der Technikbegriff in der Alltagssprache durchaus in sehr unterschiedlicher Bedeutung gebraucht, z.B. als Technik des Klavierspiels, als Technik handwerklichen Tätigkeit, als Gesamtheit zweckmäßiger Handlungen, als Form der Verwirklichung menschlicher Ideen und weitere. Bei S.W.SCHUCHARDIN finden wir den Versuch einer systematischen Zusammenstellung der vielfältigen Wortbedeutungen des Technikbegriffs (Lit. 2.3., S.24), ebenso bei H.LENK die Zusammenstellung unterschiedlicher Interpretationen des Technikbegriffs (Lit. 2.8.). Wir verweisen darauf, wollen ihnen aber hier nicht weiter nachgehen. Ganz offensichtlich hat sich der Wortsinn des Technikbegriffs historisch mehrmals gewandelt. Zum einen verlagerte sich der anfangs vorwiegend auf die Bearbeitungsverfahren orientierte Inhalt später auf die technischen Mittel (insbesondere die Produktionsinstrumente), um ihn schließlich in der Gegenwart auf alle künstlich geschaffenen Mittel menschlicher Tätigkeit auszuweiten. Zum anderen ist der Sinngehalt des Technikbegriffs in der Gegenwart äußerst komplex geworden und hat die Bedeutung und inhaltliche Breite einer philosophischen Kategorie gewonnen, die neben Mitteln und Verfahren menschlicher Tätigkeit auch soziale, kulturelle und humane Attribute integriert. Allgemein müssen wir feststellen, dass der Technikbegriff bis heute nicht als wohldefiniert angesehen werden kann, wobei allerdings eine zunehmende Vereinheitlichung der Positionen beobachtet werden kann.

Diese Vieldeutigkeit des Technikbegriffs scheint offensichtlich mit dem aus dem Griechischen stammenden Wort "techne" in Zusammenhang stehen, mit dem im Altertum sowohl die auf Erfahrung basierende individuelle Befähigung zur qualifizierten Ausführung der Verfahrensweisen von Handwerkern, Wissenschaftlern wie auch von Künstlern belegt wurde. Mit „Kunst“ wurde alles vom Menschen künstlich Erschaffene erfasst. Diese weitgefasste Wortbedeutung von handwerklicher und künstlerischer Kunstfertigkeit findet sich auch in den mittelalterlichen Bezeichnungen der Wasserkunst für die Wasserhebewerke in den Bergwerken, in der Windkunst für die Mühlentechnik, in der Fahrkunst für die Transporteinrichtungen in den Bergwerksschächten, der Schiffsbaukunst als Fähigkeit, den Bau von Schiffen nach theoretischen und praktischen Regeln auszuführen, in der Bezeichnung Ingenieurkunst, sowie ganz allgemein in den handwerklichen Künsten wieder. Diese Sinngebung des Technikbegriffs findet sich auch heute noch in Bezeichnungen wie Technik des Lötens, Technik des Glasblasens, Technik der Pinselführung eines Malers oder Technik des Klavierspiels wieder.

Erst mit J. BECKMANN, dem Begründer der Technologie als Wissenschaft ("Anleitung zur Technologie", Göttingen 1777)), beginnt die Hinwendung zu einem modernen Technikbegriff. Das heraufkommende Maschinenzeitalter, das die Formen menschlicher Arbeitstätigkeit grundlegend veränderte, gab auch dem Technikbegriff einen neuen Inhalt. Er verkörperte nunmehr die materiellen Mittel und die Verfahren ihrer Nutzung zur Aneignung der umgebenden Natur und der Nutzbarmachung und Beherrschung der Naturkräfte. Diesen Ansatz und diese Sinngebung werden wir im Folgenden auch unseren Überlegungen zugrunde legen.

Obwohl die wissenschaftliche Beschäftigung mit der Technik bereits vor über 200 Jahren begann und schon 1877 die erste von E. KAPP verfasste philosophische Monographie "Grundlinien einer Philosophie der Technik", 1913 E. ZSCHIMMERS "Philosophie der Technik" und 1926 F.DESSAUERS "Philosophie der Technik" erschienen, ist die Diskussion um den Technikbegriff auch heute noch nicht abgeschlossen. Sie wurde in der abgelaufenen Zeit mit unterschiedlicher Intensität geführt, wobei sich die Auseinandersetzung in Zeiten bedeutender, breit auf das gesellschaftliche Leben rückwirkender technischer Fortschritte jeweils deutlich belebte und verschärfte. So ist es kein Zufall, dass mit dem Beginn der wissenschaftlich-technischen Revolution in der Mitte des 20. Jahrhunderts diese Bemühungen einen besonderen Stellenwert erhielten. Die Klärung des Wesens der Technik und ihre begriffliche Widerspiegelung sind deshalb unzweifelhaft von grundlegender Bedeutung für das Verständnis technischer Revolutionen im Allgemeinen und der gegenwärtigen wissenschaftlich-technischen Revolution im Besonderen.

Wir sehen in dem Technikbegriff heute eine der grundlegenden philosophischen Kategorien, der mit den Begriffen Natur und Gesellschaft in enger Beziehung steht und gemäß seinem Wirkungsumfang auf eine Ebene mit ihnen gehört. Dieser Platz des Technikbegriffs im Zentrum eines modernen Gesellschaftsverständnisses macht auch die weltanschaulichen Auseinandersetzungen verständlich, die um ihn geführt werden und die bis heute nicht in eine einheitliche Position eingemündet sind.

In der *Kategorientriade Natur - Gesellschaft - Technik* nimmt der Technikbegriff in gewissem Sinne eine Brückenstellung zwischen den beiden anderen ein (Abb. 2.1.). Die *Natur* umfasst die Gesamtheit der ohne das Zutun des Menschen entstandenen und sich entwickelnden objektiven Realität (d.h. die Gesamtheit der unbelebten und belebten Existenzformen der Materie). Ihr gegenüber steht, obwohl entwicklungsgeschichtlich aus ihr hervorgegangen und durch unlösbare Beziehungen mit ihr verbunden, die *menschliche Gesellschaft* als sozialer Organismus der Gesamtheit der sozialen Beziehungen der Menschen. Der *Technikbegriff* bezeichnet im Vergleich dazu alle durch menschliche Arbeit in der menschlichen Gesellschaft aus Natursubstraten geschaffene materielle Mittel zu ihrer Existenzsicherung und Bedürfnisbefriedigung. Die menschliche Arbeit ist in diesem Sinne direkt oder indirekt technische Auseinandersetzung mit der Natur. Diese Relation macht zugleich den unlösbaren Zusammenhang von Natur, Technik und Gesellschaft deutlich.

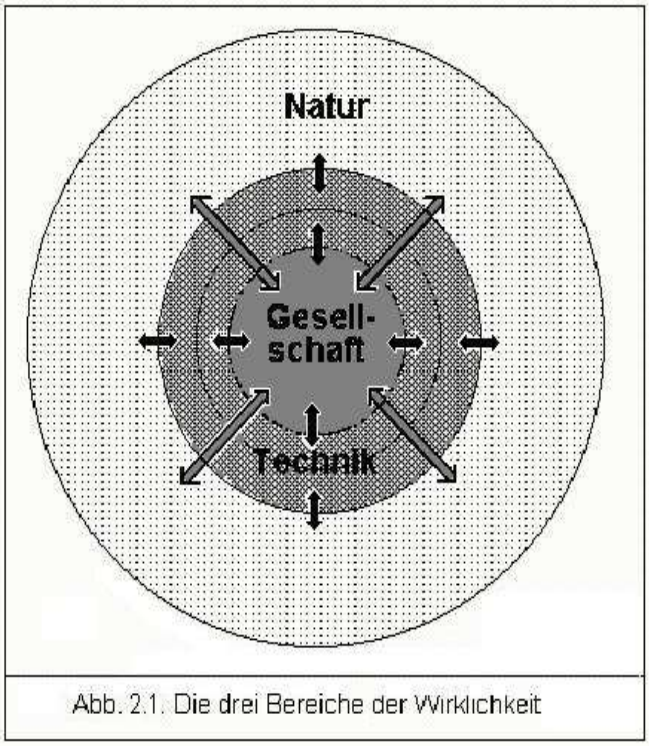


Abb. 2.1. Die drei Bereiche der Wirklichkeit

Die Technikentwicklung ist integraler Bestandteil der Menschheits- und Gesellschaftsentwicklung. Sie repräsentiert letztlich die Entwicklung der produktiven Kräfte des Menschen und ist Teil der menschlichen Kulturentwicklung. Der Mensch lebt in einer spezifisch strukturierten technischen Umwelt, die neben der zwischenmenschlichen Welt und der natürlichen Umwelt eine "dritte Welt" relativ selbständigen Charakters bildet. Die Relativität ihrer Selbständigkeit besteht darin, dass sie nur in Wechselwirkung mit beiden (der Natur und der Gesellschaft) existent ist, denn erst in ihrer spezifischen Verwendung als Mittel menschlicher Auseinandersetzung mit der Natur erfüllt sich der Sinn technischer Systeme.

Da das Anliegen unseres Buches eine allgemeintechnische Darstellung der *Sachsysteme der Technik* ist, wollen wir hier keine breitangelegte philosophische Diskussion um die verschiedenen Standpunkte zum Technikbegriff, zum Platz der Technik im gesellschaftlichen Leben und zu ihrer Rolle für den Fortschritt der menschlichen Gesellschaft führen. Wir verweisen dazu auf die vorliegende philosophische und historische Literatur. Vielmehr werden wir im Folgenden unsere im Laufe langjähriger Studien gewonnenen Auffassungen darstellen, soweit sie uns als theoretische Grundlegung für das Verständnis der Sachdarlegungen zu technischen und technologischen Systemen notwendig und wesentlich erscheinen. Dabei geht es weniger um eine Begriffsdefinition der Technik, als vielmehr um die Darstellung von Wesensmerkmalen und Spezifika, die das Technische charakterisieren.

Ein *wissenschaftlich fundiertes Technikverständnis* muss von der Funktion und der Bedeutung der Technik für die Existenz und die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft ausgehen. Sie besteht darin, dass die Technik ihrem Wesen nach ein unveräußerliches Merkmal gesellschaftlicher Existenz ist. Der Mensch ist der Schöpfer der Technik, mit der er neben seiner natürlichen Umwelt eine Welt der künstlichen Dinge schafft. Die Anfertigung und Nutzung von künstlichen Mitteln (eben der Technik) dient der Sicherung seiner Existenz und Bedürfnisbefriedigung. Ihr verdankt er seine Herauslösung aus dem Tierreich. Technik gehört deshalb zu den nichtverzichtbaren Existenzgrundlagen des gesellschaftlichen Lebens. Der Mensch ist ein technikschaffendes und technikgebrauchendes Lebewesen. Die Technik ist produktives Organ des Menschen. Der Umfang und Entwicklungsgrad der jeweils in einer Gesellschaft verfügbaren Technik ist von bestimmenden Einfluss auf die Art der gesellschaftlichen Organisation, auf den Charakter der Arbeitstätigkeit der Menschen und die Möglichkeiten zur Befriedigung gesellschaftlicher und individueller Bedürfnisse. Die Technik ist somit wesentliche Entstehungs-, unveräußerliche Existenz- und ständige Entwicklungsbedingung der menschlichen Gesellschaft.

Die Technik ist in diesem Sinne eine gesellschaftliche Erscheinung. Sie ist immer Mittel zur Realisierung gesellschaftlicher Ziele und Zwecke. Von anderen gesellschaftlichen Erscheinungen, wie der Kultur, der Sprache, der Wissenschaft, der Kunst oder der Gesellschaftsordnung unterscheidet sie sich vor allem durch ihren materiell- gegenständlichen Charakter. Dieses materielle Substrat der Technik entstammt der Natur und unterliegt in ihren Wirkungsmöglichkeiten in vollem Umfang den Naturgesetzen. Technik erfüllt aber stets soziale Funktionen. Und so wirken in ihr nicht nur Naturfaktoren, sondern auch gesellschaftliche Determinanten. Technik ist niemals Selbstzweck, sondern dient immer der Befriedigung gesellschaftlicher und individueller Bedürfnisse. Diese Doppelnatur von Natur- und Gesellschaftsbezogenheit der Technik macht die eigentliche Spezifik der Technik aus. Wir werden sie im Zusammenhang mit den spezifischen Merkmalen der Technik näher analysieren (Kap. 2.3.).

Der Technik kommt das Merkmal der relativen Eigenständigkeit gegenüber anderen Bereichen der Wirklichkeit zu. Eigenständig ist sie, weil sie als gesellschaftliche Erscheinung Spezifik besitzt, die sie von anderen gesellschaftlichen Erscheinungen unterscheidet. Andererseits muss ihr aber auch das Attribut der Nichteigenständigkeit zugeschriebenen werden, weil sie außerhalb der menschlichen Gesellschaft aufhört, Technik zu sein. Wir sprechen deshalb davon, dass die *Technik ein relativ eigenständiger Bereich der Wirklichkeit* ist

Allgemeinster *Inhalt des Technikbegriffs* ist demnach die Welt der vom Menschen geschaffenen künstlichen Dinge (die „Nichtnatur“) als Mittel der Naturaneignung. Es zeigt sich in der Gegenwart aber immer deutlicher, dass die Technik darüber hinaus immer mehr auch zum Mittel der Gesellschaftsaneignung (im Sinne der Steuerung und Beherrschung gesellschaftlicher Prozesse) wird.

Der *Objektbereich der Technik* umfasst nach dem gegenwärtigen Stand wissenschaftlicher Erkenntnis im Wesentlichen drei Teilbereiche:

- technische Systeme, d.s. vom Menschen geschaffene künstliche Objekte (Artefakte) zur Befriedigung materieller und sozialer Bedürfnisse
- Prozesse der Nutzung technischer Systeme (Technologien)
- Arbeitsgegenstände als Objekte der Veränderung durch technische Mittel (Werkstoffe, Rohstoffe, Halbzeuge, Energieträger, Primärinformationen, Transportgüter, Saat- und Pflanzgut).

Damit wird hervorgehoben, dass im Zentrum des Objektbereichs der Technik die technischen Artefakte stehen, dass aber zugleich Technik nicht auf ihre gegenständlichen Elemente (die technischen Gebilde) reduziert werden darf. Sie umfasst ebenso die Vorgänge, Verfahren und Prozesse, die mittels technischer Systeme zur Erzeugung von materiellen Gütern und zur Erbringung von Dienstleistungen durchgeführt werden. Zunehmend werden des Weiteren auch die Herstellung und die Verwendung von Arbeitsgegenständen (in Form von Werkstoffen, Rohstoffen, Halbzeugen, Grundchemikalien, Energieträgern usw.) zum Objektbereich der Technik gezählt. Als wesentliche Argumentation für einen solchen Standpunkt wird angeführt, dass die Materialien immer eine wesentliche Rolle in der Entwicklung von Technik und Technologie gespielt haben. Die Verwendung von Stein, Bronze oder Eisen haben nicht nur eigene Technologien hervorgebracht, sondern auch neue technische Mittel, die sich in spezifischer Weise auf die technologische Produktionsweise auswirkten. MELESTSCHENKO sieht in dem Wandel der Verwendung bestimmter Materialien eine der wichtigsten inneren Gesetzmäßigkeiten der Technik. Schließlich zeigt sich ihre Bedeutung auch darin, dass sich die Materialkunde als eigenständige technikwissenschaftliche Disziplin konstituiert hat.

Versuch einer Arbeitsdefinition des Technikbegriffs:

> ***Technik*** ist eine gesellschaftliche Erscheinung. Sie umfasst das durch technisches Schöpfertum (Erfindungen) historisch entstandene, sich ständig verändernde und entwickelnde System materieller Mittel und Verfahren, das sich der Mensch zur Erreichung von ihm gesetzter Zwecke und Ziele sowie zur Befriedigung gesellschaftlicher und individueller Bedürfnisse in allen Lebensbereichen schafft und einsetzt.
>
> *Kurzfassung:* Technik ist die Gesamtheit der vom Menschen geschaffenen künstlichen Mittel und Verfahren menschlicher Tätigkeit.

2.2. Funktionen der Technik in Produktion, Gesellschaft und Individualsphäre

Der Technikbegriff besitzt auf Grund der Multipotenz der Technik als gesellschaftliche Erscheinung und universelles Mittel menschlicher Betätigung zahlreiche Dimensionen, in denen zugleich seine Universalität und Komplexität zum Ausdruck kommt.

Technik ist zuallererst *Produktivkraft.* Sie ist in dieser Funktion Mittel materieller Bedürfnisbefriedigung in der Auseinandersetzung, Aneignung und zunehmenden Beherrschung der Natur. Sie ist Produkt des Arbeitsprozesses der Menschen und ihre wesentliche Funktion war von Anfang an, Produktionsmittel zu sein. Technik ersetzt immer mehr oder weniger umfangreiche Funktionen menschlicher Organe und menschlicher Arbeit. Sie verstärkt und vergrößert so die Wirkungsmöglichkeiten der physischen und geistigen Kräfte des Menschen. Die Technik bildet die künstlichen Organe des Menschen zur Erzeugung der Güter des täglichen Bedarfs und zur Sicherung der gesellschaftlichen und individuellen Lebensbedingungen. Technische Systeme erhöhen die Effektivität der zielgerichteten menschlichen Tätigkeit und sind so Mittel der ständigen Verbesserung der Lebensgrundlagen. Technologien sind in diesem Sinne Herrschaftsmittel über die natürliche und gesellschaftliche Umwelt, human eingesetzt bedeuten sie Freiheitsgewinn.

Eine weitere Dimension der Technik ist ihr Wirken als *Sozialkraft*. Wir verstehen darunter den Einsatz der Technik als Mittel zur rationellen Gestaltung humaner gesellschaftlicher Beziehungen, insbesondere ihren Einsatz zur Entfaltung demokratischer und sozialer Strukturen. Die moderne Datenverarbeitungs- und Kommunikationstechnik eröffnet bedeutende Möglichkeiten zur humanen Gestaltung von Kommunikationsprozessen, Leitungsprozessen, Planungsprozessen und Organisationsprozessen.

In ihrer Dimension als *Humankraft* ist Technik vor allem Mittel menschlicher Selbstverwirklichung und Ausdruck menschlicher Schöpferkraft. Im technischen Schöpfertum, in der Ausgestaltung der „künstlichen Umwelt“ des Menschen, äußern sich am unmittelbarsten die kreativen Potenzen des Menschseins. Die in der produktiv-schöpferischen Auseinandersetzung des Menschen mit der Natur und der von ihm gestalteten Lebensumwelt entwickelte Technik entfaltet ihr humanes Potential im Sinne eines Freiheitsgewinns. So wie die Technikgestaltung und -nutzung wichtiger Faktor des Menschwerdungsprozesses war, so bleibt sie auch Determinante weiteren Fortschritts der Menschheitsentwicklung. Da jeder Technikgestaltung ein Abbild im menschlichen Gehirn vorausgeht, ist sie im besten Sinne „vergegenständlichte Wissenskraft“. Zunehmendes Wissen und Wissenschaftsfortschritt sind eine wesentlich Quelle zur Weiterentwicklung der Technik und damit zur Verbesserung des menschlichen Lebens. Technikentwicklung und Wissenschaftsentwicklung sind deshalb korrespondierende Größen. Technik dient in diesem Sinne auch der Humanisierung der Bildungsmöglichkeiten und der effektiveren medizinischen Versorgung.

Schließlich ist Technik *Kulturkraft*, wenn wir ihre Nutzung als Mittel zur Befriedigung geistiger Bedürfnisse und einer sinnvollen und kreativen Freizeitgestaltung sehen. Gerade auf diesem Feld erleben wir in der Gegenwart einen Zuwachs der Wirkungsmöglichkeiten der Technik. Die Potenzen der Satellitenkommunikation schaffen allen Menschen Zugang zu den bedeutendsten wissenschaftlichen, künstlerischen und sportlichen Ereignissen zu dem Zeitpunkt, an dem sie stattfinden. Sie verbreiten Wissen und Eindrücke über Kulturen anderer Völker, ihrer Lebensumstände und die geographischen Gegebenheiten ihres Lebensraumes. Die moderne Computertechnik und die Datenfernübertragung vervielfältigen die Möglichkeiten des Zugangs zu den Wissensquellen der Menschheit und zu kulturellen Erlebnissen für immer breitere Kreise. Mit der wachsenden Freizeit nehmen Spielzeuge, Sportgeräte, Unterhaltungselektronik, Personalcomputer, Kraftfahrzeuge, Fahrräder und Wander- und Touristikausrüstungen wichtige Funktionen in der Gestaltung dieser Lebenssphäre ein.

Bei der Darstellung der Dimensionen des Technikbegriffs darf nicht unerwähnt bleiben, dass Technik auch in erheblichem Maß zur *Destruktivkraft* werden kan*n.* Technik ist nicht nur Mittel zur Schaffung und Sicherung menschlicher Existenzgrundlagen. Sie schafft auch die Mittel für Massenvernichtungswaffen (in Gestalt von Atomwaffen, chemischer und biologischer Kampfstoffe). Sie stört durch den Raubbau an den Naturressourcen und durch die Exkremente des Produktionsprozesses das ökologische Gleichgewicht und schafft damit weitreichende Umweltprobleme. Schließlich muss erwähnt werden, dass mit der Technik Strahlungs- und Lärmbelastung sowie Möglichkeiten zur Erzeugung von Suchtmitteln (Rauschgift, Alkohol, Tabak) verbunden sind. In allen diesen Bereichen wirkt Technik als Destruktivkraft, die nicht dem menschlichen und gesellschaftlichen Fortschritt dient. Diese destruktiven Wirkungen gehören allerdings nicht zum Wesen der Technik. Sie sind eine Folge der Art ihrer gesellschaftlichen Nutzung und deshalb durch gesellschaftliche Maßnahmen vermeidbar bzw. einschränkbar.

Die jeweilige Ziel- und Zwecksetzung des Technikeinsatzes werden immer durch den Menschen vorgegeben. Der Mensch ist das Subjekt in diesem Prozess, der "Auftraggeber" der Technik, die Technik bleibt in jedem Fall Objekt in der Hand des Menschen. Diese Subjekt-Objekt-Relation im Mensch-Technik-Verhältnis wird auch in vollautomatischen Systemen und durch Computer- und Industrierobotereinsatz nicht verändert. Auch hier legt der Mensch durch die Gestaltung der Software die Ziele der Produktion bzw. Aktion der Technik fest.

2.3. Spezifische Merkmale der Technik

Wenn wir tiefer in das Wesen der Technik eindringen wollen, so ist es wichtig, ihre artbildenden Besonderheiten gegenüber den Objekten und Erscheinungen der anderen Bereiche der objektiven Realität hervorzuheben, also ihre spezifischen Merkmale näher zu bestimmen.

Ein erstes grundlegendes Spezifikum der Technik besteht in der in ihr realisierten *Einheit von natürlichen und gesellschaftlichen Momenten*. Jeder technische Vorgang und jedes technische System beruhen auf der (bewussten oder unbewussten) zweckgerichteten Ausnutzung von Naturvorgängen. Sie waren und sind in ständig wachsendem Maße bewusste Anwendung wissenschaftlicher Naturerkenntnis. Zugleich wirkt Technik immer in gesellschaftlichen Zusammenhängen, weil sie der Befriedigung gesellschaftlicher und individueller Bedürfnisse dient und nur in eben diesem Zusammenhang Technik ist. Außerhalb der gesellschaftlichen Wirkungssphäre ist sie nur gestaltetes Material, keine Technik. Ihr Wesen zeigt sich erst in ihrer Verwendung als Mittel menschlicher Bedürfnisbefriedigung.

Technik integriert deshalb sowohl naturwissenschaftliche wie auch gesellschaftliche Komponenten, die in dieser Einheit eine neue Qualität darstellen. Die einzelnen Komponenten stecken den Rahmen des jeweilig technisch Realisierbaren ab. Sie bestimmen seine Möglichkeiten und Grenzen.

Die *naturwissenschaftliche Komponente* äußert sich darin, dass alle technischen Gebilde und Prozesse auf Naturvorgängen beruhen. Sie bestimmt den Rahmen des technisch Möglichen. Nur was im Einklang mit den Naturgesetzen steht, ist technisch machbar. Das bedeutet nicht, dass alle Vorgänge so ablaufen müssen, wie in der vom Menschen unbeeinflussten Natur. Mittels der technischen Systeme schafft der Mensch für das Wirken der Naturgesetze künstliche Zwangsbedingungen, um sie in seinem Sinne wirken zu lassen. Damit wird eine neue Qualität des Wirkens der Naturgesetze geschaffen, die weit über die klassische Auffassung ihrer „Anwendung“ hinausgeht. Damit wird (im philosophischen Sinne) die eigene Qualität der Technikgesetze geschaffen.

So kann man durch den Einsatz technischer Mittel durchaus erreichen, dass Wasser den Berg hinauf fließt, dass Flugzeuge schwerer als Luft fliegen, dass mittels kleiner Kräfte große Lasten bewegt werden können oder dass die Temperatur in einem Raum entgegen dem natürlichen Potentialgefälle verändert wird (z.B. Erreichen und Aufrechterhalten einer niedrigeren Temperatur gegenüber einer höheren Umgebungstemperatur im Kühlschrank). In allen diesen Fällen werden die Naturgesetze nicht außer Kraft gesetzt, sondern es wird durch eine mittels technischer Systeme erzwungene sinnvolle Kombination von natürlichen Effekten ein vom Menschen angestrebter Prozessverlauf erreicht. Durch die technischen Systeme werden die Naturgesetze in ihrem Wirkungsraum streng begrenzt, kombiniert und ihrem Verlauf in eine bestimmte Abfolge gezwungen. Die Natur wird gewissermaßen überlistet. Zu solcher Erkenntnis fand bereits ARISTOTELES, wie eine Textstelle in seinem Werk "Mechanische Probleme" belegt: „Als wunderbar erscheint uns von dem, was naturgemäß vor sich geht, dasjenige, dessen Ursache uns verborgen ist, von dem aber, was wider die Natur ist, all das, was für menschliche Bedürfnisse durch Kunst geschieht. In vielen Dingen nämlich wirkt

die Natur dem Bedarf des Menschen entgegen; denn immer hat sie ihre eigene Weise.... Soll daher etwas gegen die Natur bewerkstelligt werden, so bietet das wegen der Schwierigkeit eine Verlegenheit (Aporie), und eine künstliche Behandlung ist erforderlich. Wir bezeichnen deshalb den Teil der Kunst, der aus solcher Verlegenheit heraushilft, als Mechanik. Der Dichter Antiphon sagte deshalb: <Gewähre, Kunst, den Sieg, den die Natur verwehrt.> " (Zitiert nach Lit. 3., S.25)

Dass aber letzten Endes allgemeine Naturgesetze auch mit ausgeklügeltsten technischen Apparaturen nicht außer Kraft gesetzt werden können, zeigt sehr anschaulich die Geschichte der Versuche, ein perpetuum mobile zu konstruieren. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik steht allen diesen Bemühungen prinzipiell entgegen. Technische Erfindungen sind nur im Rahmen des Naturgesetzlichen möglich.

Was von dem naturwissenschaftlich Möglichen zu einer gegebenen Zeit auch technisch realisierbar ist, wird vom Entwicklungsstand der (natur- und technik-) wissenschaftlichen Erkenntnis, von den verfügbaren materiellen Ressourcen und dem erreichten technischen Entwicklungsniveau bestimmt. So erlauben der gegenwärtige Entwicklungsstand der Wissenschaft (z.B. der Mikrobiologie, der Genetik, der Informatik), das erreichte Niveau der Maschinentechnik (der Reaktortechnik, der Automatisierungstechnik) und der chemischen Technologie (der Immuntechnologie, der Enzymtechnologie, der Trenntechnologien) biochemische Prozesse in industriellem Maßstab zu Erzeugung von Nahrungsmitteln, Medikamenten, Futtermitteln usw. zu nutzen und eine biotechnologische Industrie zu betreiben. Andererseits sind zwar die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die bei der Kernfusion ablaufenden Prozesse und die dabei notwendigen Bedingungen weitgehend wissenschaftlich erforscht. Es fehlen gegenwärtig aber ausreichende technische Möglichkeiten zur künstlichen Realisierung und zur gesteuerten Reproduktion dieser in der Natur im Sterneninneren spontan ablaufenden Vorgänge.

Das technisch Realisierbare unterliegt aber hinsichtlich seiner praktischen Umsetzung einer Reihe gesellschaftlicher Kriterien. Die *gesellschaftlichen Komponenten der Technik* sind sehr komplexer Natur und wirken in vielfältiger Weise zusammen, wobei sie z.T. miteinander konkurrieren, sich wechselseitig begünstigen, aber auch einschränken und im Extremfall sogar aufheben können. Zu den gesellschaftlichen Komponenten gehören in erster Linie wirtschaftliche, ökologische, soziale, ethische und politische Aspekte.

Allgemein lässt sich feststellen, dass technische Ideen und Lösungen nur dann breite praktische Verwirklichung finden, wenn dafür ein entsprechendes gesellschaftliches (ökonomisches. ökologisches, politisches) Bedürfnis vorliegt. Die Geschichte der Technik kennt zahllose Beispiele dafür. So war bereits seit HERONs (um 100 v.u.Z.) einfacher Dampfturbine bekannt, dass man durch Dampf Bewegung erzeugen kann. Unter den damaligen Bedingungen einer handwerklichen Produktionsweise bestand jedoch keinerlei Notwendigkeit ihrer produktiven Nutzung. Diese Bedingungen reiften erst mit dem Entstehen der industriellen Produktionsweise im 18. Jahrhundert heran, und sie führten folgerichtig zur Erfindung und zum Einsatz der Dampfmaschine.

Der *wirtschaftliche Aspekt* bestimmt das ökonomisch Vertretbare. Unter den Bedingungen der Marktwirtschaft können sich nur solche technischen Potenzen entfalten und breite Anwendung erfahren, die ein günstiges Aufwands-Nutzen-Verhältnis aufweisen. Die Konkurrenzsituation unter den jeweils praktizierten technischen Lösungen ist zugleich ein wichtiger Antrieb für die ständige Suche nach rationelleren technischen Lösungen und eine wesentliche Determinante der Technikentwicklung. So existieren gegenwärtig sowohl die wissenschaftlichen Voraussetzungen wie auch die maschinentechnischen Lösungen für die Erzeugung von Elektroenergie aus der Windkraft, und Windkraftanlagen sind auch bereits in beachtlichem Umfang praktisch realisiert. Einer schnellen weiteren Ausbreitung stehen aber die gegenwärtig noch sehr hohen Kosten für die erzeugte Elektroenergie entgegen, die ein Mehrfaches der in Kohle- oder Kernkraftwerken erzeugten Energie betragen. Ähnliches gilt z.B. auch für Photovoltaikanlagen, mit denen Sonnenenergie direkt in elektrischen Strom umgewandelt wird. Die ökonomischen Faktoren begrenzen in diesen Fällen den Nutzungsumfang der bereits erschlossenen technischen Potenzen.

Eine weitere gesellschaftliche Komponente ist der *ökologische Aspekt*. Zunehmend wird Technik auch danach beurteilt und in ihrer Nutzung gefördert oder gehemmt, ob sie in ihrer Anwendung umweltverträglich ist. So finden bei gleichartigen Leistungsparametern Kühlschränke mit FCKW-freiem Kühlsystem eine höhere gesellschaftliche Akzeptanz als andere. Gleiches gilt für Verbrennungsmotoren mit niedrigem Kraftstoffverbrauch und weitgehend schadstofffreien Abgasen. Ein weiteres Beispiel ist die Recyclungsfähigkeit von Produkten nach ihrer Nutzungsphase, ein Kriterium, das zunehmend in den Konstruktionskonzeptionen für Industriegüter eine wichtige Rolle spielt.

Ein ebenfalls wesentlicher Faktor der gesellschaftlichen Komponente ist der *soziale Aspekt*. In ihm werden z.B. die Verträglichkeit der Nutzungsbedingungen der Technik für den Produzenten (z.B. ergonomische Fragen der Technikgestaltung), die physischen und psychischen Anforderungen an die menschliche Leistungsfähigkeit (z.B. Reaktionsvermögen, Ermüdungsbelastung, Komplexität der Überwachungsfunktionen) erfasst.

Politische Aspekte ergeben sich aus der Entwicklungspolitik nationaler, regionaler und zunehmend globaler Wirtschaftsgebiete, die durch Förderungsmittel aus dem Staatshaushalt, durch zeitweilige Subventionen oder Steuervergünstigungen oder durch Forschungsförderung realisiert werden. Das betrifft z.B. die Nutzung heimischer Rohstoffe und Energieträger, die Erzeugung bestimmter Agrarprodukte bzw. ihre Begrenzung auf ein bestimmtes Limit, die Reduzierung bzw. Vermeidung von umweltschädigenden Abfällen, den Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen, die Orientierung auf bestimmte Gebrauchsenergien und die Förderung bestimmter Verkehrsträger. Andererseits erfordern technische Entwicklungsprojekte in immer größerem Ausmaß staatlich getragene Infrastrukturmaßnahmen, insbesondere auf den Gebieten der Bergbau-, Energie-, Verkehrs- und Telekommunikationstechnik. Schließlich haben zahlreiche Technikprojekte Größenordnungen erreicht, die von privaten Trägern ohne wirtschaftspolitische Unterstützung durch staatliche Organe nicht mehr getragen werden können.

Für das Verständnis des eigenständigen Wesens der Technik ist von entscheidender Bedeutung, zu erfassen, dass die beiden Komponenten der Technik, die natürliche und die gesellschaftliche, nicht additiv, sondern integrativ zusammenwirken. Das bedeutet, dass die technischen Erscheinungen nicht allein auf der Basis einer naturwissenschaftlichen Interpretation voll erfasst werden können. Das Wirken von Naturvorgängen und Naturgesetzen kann in technischen Systemen und technologischen Vorgängen ohne Schwierigkeiten nachgewiesen werden. Bei der industriellen Erzeugung von Natronlauge und Chlor in Elektrolysezellen kann die elektrolytische Dissoziation, die elektrolytische Stromleitung, die Ionenentladung und das Wirken der Faraday'schen Gesetze leicht erfasst werden. Ebenso liegt auf der Hand, dass in Elektromotoren Induktionsgesetze eine wichtige Rolle spielen Diese naturwissenschaftlichen Komponenten allein erklären aber die Konstruktion, den Prozessverlauf und die Einsatzbedingungen einer Elektrolysezelle oder eines Elektromotors nicht ausreichend.

Die gleichzeitig wirkenden gesellschaftlichen Komponenten treten im Allgemeinen nicht so offensichtlich in Erscheinung wie das Wirken von Naturvorgängen und Naturgesetzen. Sie offenbaren sich vor allem in der Zwecksetzung zur Erreichung bestimmter gesellschaftlicher Ziele und der Bedürfnisbefriedigung. Es geht um das gerichtete, finale Wirken der Naturvorgänge So geht es bei der technischen Erzeugung von Elektroenergie nicht schlechthin um die Hervorbringung eines elektrischen Stromflusses. Es wird jeweils ein Strom bestimmter Spannung, Stärke und Frequenz benötigt, der zudem an einem bestimmten Ort verfügbar sein soll, damit durch ihn ein technisches System betrieben (mit Operationsenergie versorgt werden) kann. Für den Elektromotor wird ein bestimmtes Anlauf- und Betriebsverhalten für die jeweilige Aufgabe gefordert, die spezifische Konstruktionen erfordern und die sich mit den Induktionsgesetzen allein nicht erklären lassen.

Die Spezifik der Technik ergibt sich aus dem integrativen, eine neue Qualität (im philosophischen Sinn) bildenden Zusammenwirken von natürlichen und gesellschaftlichen Komponenten. So wie die Lebewesen und die Lebensvorgänge zwar sowohl chemische wie physikalische Prozesse in sich aufweisen, so erklären diese jeweils für sich genommen nicht das Biologische als eigenständige, von spezifischen Gesetzen (eben den biologischen Gesetzen) bestimmte Existenzform der Materie. Erst das Verständnis ihres integrativen Wirkens öffnet den Zugang zur Qualität des Biologischen. Technik muss ebenso in dieser integrativen Einheit von natürlichen und gesellschaftlichen Komponenten erfasst werden.

Es ist auch offensichtlich, dass naturwissenschaftliche Erkenntnisse niemals in "reiner" Form zur Anwendung kommen, sondern immer technisch "aufbereitet". Im technikschöpferischen Prozess - der ideellen Vorwegnahme des beabsichtigten Ergebnisses - werden entsprechende Naturprozesse ausgewählt, kombiniert und in ihrem Zusammenwirken unter dem Aspekt der Zweckgerichtetheit bei der Konstruktion technischer Mittel und Entwicklung technologischer Verfahren genutzt, um ein Produkt hervorzubringen, das eine gesellschaftliche Funktion erfüllt. Die in technischen Systemen vergegenständlichten Kombinationen von Naturvorgängen kommen außerhalb ihrer gesellschaftlichen Nutzung so gut wie nicht vor. Die technischen Systeme erzeugen einen neuen Wirkungsmechanismus der Naturvorgänge und einen zweckgerichteten Verlauf. Insofern kann man die Technik auch nicht auf angewandte Naturwissenschaft reduzieren.

Die hier betonte integrative Einheit von natürlichen und gesellschaftlichen Komponenten lässt sich auch als Einheit von objektiv Möglichem, technisch Realisierbarem, ökonomisch und ökologisch Vertretbarem und sozial Gewolltem formulieren. Diese Formulierung macht deutlich, dass zwischen den einzelnen die Technik determinierenden Komponenten eine Reihe gesetzmäßiger Beziehungen bestehen, die letztlich dazu führen, dass sich im Rahmen des Technischen die Naturgesetze und die Gesellschaftsgesetze in ihrer Wirksamkeit wechselseitig fördern, verstärken, hemmen, einschränken oder sogar aufheben können.

Aus diesem ersten Spezifikum der Technik leitet sich unmittelbar ein zweites Spezifikum der Technik ab, die *Finaldeterminiertheit* ihrer Erscheinungen. Technik ist stets durch eine Zielstellung (die sich in jedem Falle an der Befriedigung eines Bedürfnisses orientiert) geprägt, die der Mensch durch den zweckdienlichen Einsatz technischer Mittel und technologischer Verfahren zu erreichen trachtet. Die Grundfrage der Technik ist deshalb - im Gegensatz zur Naturwissenschaft, für die es vor allem um das Warum geht - die Frage nach dem Wofür und Womit, d.h. die Frage nach dem Zweck und die dafür einzusetzenden Mittel. Die Grundrelation der Technik ist die Zweck-Mittel-Relation.

Die Finalorientiertheit der Technik hebt selbstverständlich das kausale Wirken der zugrunde liegenden Naturgesetze nicht auf. Es ist aber der Finalität untergeordnet und wird von ihr überlagert. Es besteht eine Dialektik von Finalem und Kausalem. Diese Persistenz der Naturgesetze auf der Ebene des Technischen lässt sich am Beispiel eines biologischen Prozesses verdeutlichen. In den eindeutig biologischen Gesetzen unterworfenen Stoffwechselvorgängen werden die chemischen und physikalischen Abläufe nicht aufgehoben, erlangen aber durch ihr spezifisches (genetisch gesteuertes und integratives) Zusammenwirken auf der Ebene biologischer Prozesse eine eigene Qualität. Technologische Vorgänge sind in diesem Sinne durch technische Mittel erzwungenes gerichtetes (finales) Wirken von Naturvorgängen zur Befriedigung gesellschaftlicher Bedürfnisse.

Ein drittes Spezifikum der Technik ist ihr *komplexer Charakter*. In jedem technischen System und in jedem technologischen Vorgang wirkt immer eine Vielzahl von Elementarvorgängen komplex zusammen. Mittels der technischen Einrichtungen werden die einzelnen Vorgänge in gezielter Weise zu einem solchen Zusammenwirken integriert, dass der gewünschte Prozessverlauf (d.h. die gewollte Veränderung am Arbeitsgegenstand) erfolgt. So wirken bei einem einfachen Heizlüfter, der Raumluft ansaugt, sie aufwärmt und in gerichteter Strömung wieder abgibt, sowohl die Strömungsdynamik von Gasen, Zentrifugalkräfte, Wärmeübergangsprozesse, Ohmscher Widerstand und weitere Naturvorgänge und -gesetzmäßigkeiten. Hinzu kommen die aus den gesellschaftlichen Faktoren resultierenden Nutzungsbedingungen und wirtschaftlichen Forderungen.

Ein viertes Spezifikum der Technik ist ihre *Multipotenz*. Wir bezeichnen damit das Charakteristikum der Technik, für jedes technische Problem und jede technologische Aufgabe eine Vielfalt von Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung zu haben. Die Verbindung von Werkstücken kann beispielsweise durch Kleben, Nieten, Schweißen, Löten, Verschrauben, Verstiften, Nageln und zahlreiche weitere technologische Verfahren erfolgen. Die jeweils zu wählende Variante hängt dabei sowohl von den technischen Anforderungen an den Werkstückverbund, der Entscheidung, ob eine lösbare oder eine unlösbare Verbindung erforderlich ist, den verfügbaren technischen Mitteln, dem jeweils entstehenden Aufwand und weiteren Überlegungen ab. Ebenso ist es zum Beispiel in der chemischen Industrie möglich, für die Erzeugung eines bestimmten Chemieprodukts von verschiedenartigen Ausgangsstoffen auszugehen, sehr unterschiedliche technologische Verfahrenswege zu realisieren und auch die Verfahrensbedingungen in den einzelnen Bearbeitungsschritten in weiten Grenzen zu variieren. Die Erzeugung von Elektroenergie ist ebenso aus Kohle, Erdöl oder Erdgas wie aus Sonnenstrahlung, strömendem Wasser oder Windenergie möglich. Als technische Systeme kommen Kohlekraftwerke, Kernkraftwerke, Windkraftanlagen, Photovoltaikanlagen oder Wasserkraftwerke in Betracht. In Wasserkraftanlagen sind wiederum in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen und den geforderten Leistungsparametern verschiedenartigste Turbinen (Peltonturbinen, Francisturbinen, Kaplanturbinen) im Einsatz.

Das Merkmal der Multipotenz bestimmt in charakteristischer Weise die Denkweise und die Methodologie der Technik. Aus der Vielzahl der Lösungsmöglichkeiten für eine technische Aufgabe wird jeweils das Optimum für den konkreten Fall angestrebt. Das ermöglicht, die vorliegenden technischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Bedingungen und Erfordernisse in weiten Grenzen zu berücksichtigen. Zugleich ist es ein tragender Faktor der hohen Entwicklungsdynamik, die die Technik zu allen Zeiten ausgezeichnet hat. In der Technik gibt es keine absolute Problemlösung, sondern eine auf die jeweils konkrete Situation zugeschnittene Optimallösung.

2.4. Technikgesetze

Das Aufdecken und die Formulierung objektiver Gesetze ist Ziel und Charakteristikum jeder Wissenschaft. Gesetze und Theorien gehören zum Kernbestand des Wissenssystems einer jeden Wissenschaft. Der Umfang und Ausprägungsgrad der formulierten Gesetze, Prinzipien und Theorien ist ein Ausdruck ihres jeweiligen Reifegrades.

Mit der Anerkennung der Technik als einem relativ eigenständigen Bereich des gesellschaftlichen Seins und der Bestimmung ihrer Spezifik wird zugleich die Frage nach einer besonderen Klasse von Technikgesetzen aufgeworfen. So wie in jedem Bereich der objektiven Realität jeweils charakteristische Formen der Wechselwirkung und allgemeine Formen des objektiven Zusammenhangs zwischen den Elementen dieses Objektbereiches bestehen und sich in Form spezifischer Gesetze dieses Bereiches darstellen, so existieren auch in der Technik, dem Objektbereich der Technikwissenschaften, spezifische Gesetze.

In der Literatur werden dazu allerdings noch sehr gegensätzliche Positionen vertreten. Sie reichen von der Leugnung der Existenz spezifischer Technikgesetze bis zu ihrer uneingeschränkten Anerkennung. Dabei wird von allen anerkannt, dass den technischen Systemen und technologischen Vorgängen objektive Gesetze zugrunde liegen. Unterschiedliche Auffassungen bestehen aber über den Charakter dieser Gesetze, über ihren Zusammenhang mit den Naturgesetzen und den Gesellschaftsgesetzen. Einerseits wird die Meinung vertreten, dass es keine spezifischen Technikgesetze gibt, bestimmte Bereiche der Technik vielmehr durch angewandte Naturgesetze charakterisiert wären, während andere Technikbereiche (wie z.B. Technikentwicklung) Gesellschaftsgesetzen unterlägen. Eine andere Position wird durch die Anerkennung einer spezifischen Klasse von Technikgesetzen, in denen die integrative Einheit von Natur und Gesellschaft zum Ausdruck kommt und die sich qualitativ von Natur- und Gesellschaftsgesetzen unterscheiden, charakterisiert.

Wir vertreten den letzteren Standpunkt und gehen dabei von einem Gesetzesbegriff aus, nach dem sich in Gesetzen die in dem erfassten Wirklichkeitsbereich objektiv existierenden und relativ stabilen (d.h. unter gleichen Bedingungen jeweils identisch reproduzierten) Beziehungen und Strukturen zwischen den Elementen des Gesamtsystems widerspiegeln.

Für den Objektbereich der Technik ist dabei die integrative Einheit von natürlichen und gesellschaftlichen Momente des Technischen von grundlegender Bedeutung. Sie bestimmt entscheidend den Charakter der Technikgesetze und ihre Aussagenstruktur. In diesem Zusammenhang sind insbesondere zwei Charakteristika der Technikgesetze hervorzuheben: ihre finale Orientierung und ihr Systemcharakter.

Die *finale Orientierung* ergibt sich daraus, dass sie in ihrem Wirkungsmechanismus immer Zielfunktionen enthalten, die das zu jedem Technikgesetz gehörende Möglichkeitsfeld durch gesetzte Zwecke einschränken. Dieser Sachverhalt spiegelt sich in der Aussagenstruktur von Technikgesetzen durch eine finale Aussage wider.

Der Systemcharakter der Technikgesetze ergibt sich aus der Komplexität der in ihnen zusammenwirkenden natürlichen und gesellschaftlichen Komponenten.

Die Einheit von natürlichen und gesellschaftlichen Komponenten in Technikgesetzen ist auch unter einem weiteren Gesichtspunkt von wesentlichem Interesse. So zeigt sich, dass auf verschiedenen Hierarchieebenen technischer Systeme sich die Dominanz der einzelnen Aspekte gravierend verändert. Für die sechsstufige Hierarchie der technischen Systeme (s. Kap. 3.1.) gilt z.B., dass auf der ersten und zweiten Ebene (Funktionselemente und Funktionsgruppen) die naturwissenschaftliche Determination betont ist, auf den höheren Ebenen (Funktionsorgane und Funktionssysteme) wird die technische Determiniertheit bestimmend, bis schließlich auf der fünften und sechsten Ebene (verkettete und vernetzte Funktionssysteme) die gesellschaftliche (insbesondere ökonomische) Determiniertheit deutlicher hervortritt. Das bedeutet für das Gesetzesverständnis in den Technikwissenschaften, dass die einzelnen Hierarchieebenen durch spezifische Systemgesetze charakterisiert werden, die alle technisch charakterisiert sind, in denen aber die natürlichen und gesellschaftlichen Komponenten unterschiedlich dominant sind. Die angeführten Veränderungen im Gewicht der natürlichen und gesellschaftlichen Komponenten beim Übergang von einer zur anderen Stufe sind fließend, es existieren keine scharfen Grenzen. Technische Systeme einer bestimmten Hierarchieebene werden demnach durch spezifische Gesetze charakterisiert. Der Zusammenhang der einzelnen Ebenen kommt aber dadurch zum Ausdruck, dass die Gesetze der niederen Ordnung auf den höheren Ebenen weiterwirken.

In den Technikwissenschaften gilt, wie auch in allen anderen Wissenschaften, dass die Gesetze einen unterschiedlichen Allgemeinheitsgrad haben, d.h. einen bestimmten Wirkungsbereich besitzen, der klar abzugrenzen ist. Es existieren Gesetze mit einem sehr großen Wirkungsradius, die die Technik als Ganzes oder

aber umfangreiche Klassen technischer Erscheinungen umfassen, andererseits gibt es solche mit sehr eng begrenztem Wirkungsfeld. Die allgemeine Techniklehre orientiert sich vorwiegend auf die ersteren.

Die Technikgesetze lassen sich in drei Klassen untergliedern. Wir unterscheiden Strukturgesetze, Funktionsgesetze und Entwicklungsgesetze.

Technische Systeme werden geschaffen, um eine bestimmte Funktion zu erfüllen. Die Funktion verlangt eine dem Zweck entsprechende Struktur. Einer solchen Struktur liegt jeweils ein entsprechendes Technikgesetz zugrunde, das wir als Strukturgesetz bezeichnen wollen.

Strukturgesetze der Technik sind zustandsabbildende Aussagen über die Gestaltung bestimmter wesentlicher und notwendiger Zusammenhänge zwischen Elementen technischer Systeme zur Erfüllung einer bestimmten zweckgerichteten Funktion. Sie besitzen einer unterschiedlichen Allgemeinheitsgrad, d.h. wir unterscheiden Strukturgesetze, die für die technischen Systeme insgesamt Aussagen treffen und solche, deren Gültigkeitsbereich für bestimmte Hierarchieebenen oder Teilbereiche in ihnen gilt. Durch vergleichende Strukturuntersuchungen an technischen bzw. technologischen Systemen kommt man zu Klassen technischer bzw. technologischer Systeme gleichen Typs und klasseninvarianter Merkmale und Muster.

Typische Repräsentanten dieser Klasse technischer Gesetze sind die Organstruktur technischer Systeme, die Struktur technologischer Grundvorgänge und die Phasenstruktur von Produktionsprozessen. Das Organstrukturgesetz technischer Systeme (s. Kap.4.5.) deckt z.B. die Funktionen der einzelnen Strukturelemente (Funktionsorgane) innerhalb technischer Systeme und deren wesentliche Kopplungen auf. Es erschließt die wesensbestimmende Funktion des Arbeitsorgans und die notwendigen Funktionsbeziehungen zwischen den anderen Funktionsorganen zur Realisierung der Bearbeitungsfunktion.

Funktionsgesetze der Technik sind vorgangs- und prozessverlaufsabbildende Aussagen über die Wirkfaktoren und Wirkbedingungen sowie deren Kopplungen zur Erreichung eines gewollten Prozessverlaufs. Sie beschreiben Funktionsweise und Prozessverlauf und die dabei herrschenden Bedingungen.

Typische Repräsentanten dieser Klasse von Technikgesetzen sind die technologischen Wirkprinzipien, die technischen Funktionsprinzipien und die allgemeinen Verfahrensprinzipien.

Entwicklungsgesetze der Technik erfassen die historischen Veränderungen der Technik und die Trends des Technikfortschritts. Die Frage nach spezifischen Entwicklungsgesetzen der Technik wurde erst in jüngerer Zeit aufgeworfen. Der Anstoß dazu ging ganz offensichtlich von der sich seit den 80iger Jahren herausbildenden allgemeinen Entwicklungstheorie aus. Entwicklungsgesetze gehören zum unverzichtbaren Bestand jeder Wissenschaft. Sie geben Aufschluss über die Triebkräfte, Faktoren und Determinanten der Entwicklung eines bestimmten Bereiches der objektiven Realität. Ihre Kenntnis vertieft sowohl die Wesenserkenntnis der Technik als auch ihres Platzes im gesellschaftlichen Gesamtprozess und ist von wesentlicher Bedeutung für Strategien der bewussten Förderung, Gestaltung und Beherrschung grundlegender technischer Entwicklungsprozesse. Sie besitzen darüber hinaus eine nicht zu unterschätzende Bedeutung für die Weltbildfunktion der Technik.

Die Entwicklungsgesetze der Technik sind im Grunde gesellschaftliche Gesetze, die die Evolution nicht aus der Technik selbst erklären (erfassen) können, sondern nur in Wechselwirkung mit anderen gesellschaftlichen Erscheinungen. Technikentwicklung ist Teil der Geschichte der menschlichen Gesellschaft, denn Technik entwickelt sich nicht aus sich heraus, sondern wird durch den Menschen in seinem gesellschaftlichen Wirken entwickelt. Ihre Zuordnung zu den Technikgesetzen ist deshalb problematisch. Es ist aber auch offensichtlich, dass neben typisch gesellschaftlichen Entwicklungskriterien (ökonomische, handelspolitische, ideologische Faktoren) auch innertechnische Faktoren den Entwicklungsprozess determinieren, wie die Minimierung des Energieaufwandes, die Maximierung der Zuverlässigkeit, Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit und der Bearbeitungsqualität oder die optimale hierarchische Strukturierung. Solche Aspekte lassen sich insbesondere in der technischen Ontogenese verfolgen, d.h. in der Entwicklungsgeschichte bestimmter Typen technischer Systeme, wie der Drehmaschine, den Windkraftanlagen oder dem Fahrrad. Die Diskussion über den Charakter der Gesetze der Technikevolution ist noch in vollem Gange. Wir wollen dieser Frage nicht weiter folgen, wohl aber auf die Problematik aufmerksam machen.

Im Zusammenhang mit den Entwicklungsgesetzen der Technik möchten wir auch die Frage nach dem Charakter der *Entwicklungstendenzen der Technik* aufwerfen. Während Entwicklungsgesetze notwendige und wesentliche Entwicklungszusammenhänge formulieren, geben Entwicklungstendenzen (Entwicklungstrends) den "Grundverlauf einer zeitlich statistischen Reihe" wider (G. BANSE). Sie stellen im Wesentlichen phä-

nomenologische Beschreibungen dar, die durch Aufdeckung der inneren Zusammenhänge und ihres Beziehungsgefüges auf die Gesetzesebene gehoben werden können.

Die *Aussageform der Technikgesetze* weist insofern gegenüber anderen Wissenschaften eine gewisse Besonderheit auf, als sie nicht nur in verbaler Formulierung oder als Formel dargestellt werden, sondern in vielen Fällen auch in Form von graphischen Darstellungen (Diagramme, Nomogramme) oder von Modellen (z.B. technologische Prozessverlaufsmodelle oder das allgemeine Strukturmodell technischer Funktionssysteme). Hierin äußert sich eine spezifisch technikwissenschaftliche Ausdrucksweise.

Die *Aussagenstruktur der Technikgesetze* widerspiegelt notwendigerweise die Wesensmerkmale des Technischen, insbesondere ihren finalen Charakter. Das bedeutet, dass die Zweckangabe neben den Elementen der zu erfassenden technischen Erscheinung, ihren wesentlichen Zusammenhängen und Wirkungsbedingungen zu den charakteristischen Aussagebestandteilen gehört.

In der verbalen Aussage des Wirkprinzips werden beispielsweise folgende wesentliche Aussagenelemente angegeben:

- der Zweck der beabsichtigten Veränderung des Arbeitsgegenstandes (technologische Zielstellung)
- die Art der vorzunehmenden Veränderung
- die wesentlichen Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes
- wesentliche Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans
- Wirkbedingungen der Operationsenergie

Für Strukturgesetze lassen sich als Aussagenelemente allgemein nenn:

- der Zweck der Strukturaussage
- die Bestimmung der wesentlichen Strukturelemente
- die Angabe der notwendigen und funktionsbestimmenden Kopplungen zwischen den Elementen

2.5. Platz und Rolle technischer Systeme in der Technik

Im Gesamtsystem der Technik wirken (bewirkt und gesteuert durch menschliche Tätigkeit) zwei materielle Komponenten zusammen: technische Systeme und Arbeitsgegenstände. Der Wechselwirkungsprozess stellt sich als technologischer Prozess dar. Er bildet die dritte Komponente.

Die technischen Systeme nehmen in diesem Gesamtsystem der Technik zweifellos die zentrale Stelle ein, weil sie das aktive Element sind. Mit ihnen übt der Mensch Wirkungen auf die (im Allgemeinen) passiven Arbeitsgegenstände aus und gestaltet sie dabei seinen Zwecken gemäß um. Die Relativierung der passiven Rolle der Arbeitsgegenstände ist nötig, weil bei den Stoffwandlungsprozessen nicht die Reaktoren (als die für diese Art technologischer Vorgänge charakteristischen technischen Systeme) den Wandlungsprozess herbeiführen, sondern die wechselseitige Einwirkung der Reaktanden (eben der Arbeitsgegenstände) aufeinander. Aber auch in diesen Fällen geht es nicht ohne technische Systeme: erst sie schaffen die Wechselwirkungsbedingungen für den zweckgerichteten Prozessablauf. In der Agrarproduktion haben der Boden, die Pflanzen und Tiere immer eine Doppelfunktion (vgl. Kap. 12.1.), sie sind sowohl Arbeitsgegenstand als auch Arbeitsmittel. Aber auch hier kommt der technologische Prozess auch erst vermittels der agrartechnischen Systeme zustande.

Der technologische Prozess als dritte Komponente des Techniksystems als Gesamtheit ist das Ergebnis der Wirkung der technischen Systeme. Beide sind nicht voneinander zu trennen. Das Primat kommt aber zweifellos dem materiellen technischen System zu. Erst seine Existenz ermöglicht den technologischen Bearbeitungsvorgang.

Die zentrale Rolle der technischen Systeme im Gesamtgebäude der Technik wird auch durch die Tatsache gestützt, dass ganz offensichtlich alle großen technischen Umwälzungen und die Herausbildung neuer technologischer Produktionsweisen immer qualitativ neue Typen technischer System zu Ausgangspunkt hatten. Die industrielle Revolution des 18. Jhdts. ist mit der Erfindung von Werkzeugmaschine und Dampfmaschine verbunden, die wissenschaftlich-technische Revolution des 20. Jhdts. wird durch die automatischen Maschinensysteme ausgelöst.

2.6. Grundbegriffe und Arbeitsdefinitionen

Jede Wissenschaft, jede entwickelte Theorie, besitzt ein charakteristisches Kategoriensystem, in dem wenige Grundbegriffe einen zentralen Platz einnehmen und aus dem in hierarchischer Untergliederung spezifische, jeweils bestimmte Teilbereiche erfassende Begriffsebenen mit zugeordneten Elementen abgeleitet werden können. Grundlegende Begriffe können nur dann Wissenschaftsanspruch erheben, wenn sie das Wesen und die Spezifik der zu erfassenden Erscheinung objektiv wiedergeben und auch ihr Platz im betreffenden Kategoriensystem (mit den Beziehungen zu den anderen Begriffen) objektiv bestimmt wird. Die Formulierung grundlegender Begriffe einer Wissenschaft spiegelt immer den erreichten Erkenntnisstand über die zu definierenden Erscheinungen und Prozesse im Objektbereich wider. Andererseits waren mit ihrer präziseren Bestimmung immer qualitative Fortschritte in der Entwicklung der betreffenden Wissenschaft verbunden.

Für die allgemeine Techniktheorie ist ein solches geschlossenes Begriffssystem gegenwärtig noch nicht erarbeitet. Als eine erste grobe Vorstellung sollen im Folgenden eine Reihe solcher Kategorien wenigstens genannt werden. Im Zentrum stehen die beiden grundlegenden Begriffe Technik und Technologie. Auf einer weiteren Untergliederungsebene gehört die Begriffstriade technisches Systeme, technologischer Vorgang und Arbeitsgegenstand als konstituierende Elemente jedes Produktionsprozesses Eine weitere Triade bilden die Begriffe Stoff, Energie und Information als Klassen möglicher Arbeitsgegenstände und auch als wechselwirkendes System von Flüssen, die technische Systeme und technologische Prozesse charakterisieren.

Diese Kategorien müssen in untergeordneten Hierarchieebenen weiter aufgeschlüsselt werden, z.B. die Arbeitsgegenstände in Rohstoff, Werkstoff, Energieträger, Signal, Transportgut und agrarische Arbeitsgegenstände (Pflanzen, Tiere, Boden). Allgemeine Bedeutung haben des Weiteren die Begriffe Wirkprinzip, Funktionsprinzip und Verfahrensprinzip.

Wir wollen im folgenden Begriffe, die im weiteren Text eine zentrale Rolle spielen, in ihrem Begriffsinhalt kurz bestimmen und damit eine einheitliche Verständigungsbasis schaffen. Im Einzelnen werden sie in den zugehörigen Kapiteln des Textes abgeleitet und erläutert.

- **Technik**

Der Technikbegriff wird in weiteren und im engeren Sinne benutzt.

Der allgemeine Technikbegriff ist erst in den letzten Jahrzehnten in seinem heutigen Verständnis ausgearbeitet worden. Er besitzt die Dimension einer grundlegenden philosophischen Kategorie und konnte deshalb nicht aus der Sicht einzelner Technikwissenschaften in seiner Ganzheit bestimmt werden. Erst durch die philosophische Betrachtung der Gesamtzusammenhänge konnte er in seiner komplexen Ausprägung erfasst werden.

Die Technik ist eine gesellschaftliche Erscheinung. Sie umfasst das durch technisches Schöpfertum (Erfindungen) historisch entstandene, sich ständig verändernde und entwickelnde System materieller Mittel und Verfahren, das sich der Mensch zur Erreichung von ihm gesetzter Zwecke und Ziele sowie zur Befriedigung gesellschaftlicher und individueller Bedürfnisse in allen Lebensbereichen schafft und einsetzt.

Technik ist das Produkt physischer Arbeit und materialisierten Wissens. Ihr liegt die zweckorientierte Ausnutzung von Naturvorgängen, -materialien und -energien zugrunde. Die Spezifik der Technik gegenüber anderen gesellschaftlichen Erscheinungen besteht in der in ihr repräsentierten integrativen Einheit von natürlichen und gesellschaftlichen Momenten. Sie wird durch spezifische Gesetze charakterisiert.

Der Technikbegriff im engeren Sinne ist mit dem Begriff des technischen Systems gleichzusetzen.

- **Technologie**

Die Technologie ist die prozessuale Seite der Technik. Sie erfasst die mittels technischer Systeme durchgeführten Verfahren und Prozesse zur zielgerichteten Veränderung von Arbeitsgegenständen.

- **Allgemeine Technikprinzipien**

Allgemeine Technikprinzipien sind die von den konkreten Erscheinungsformen und spezifischen Besonderheiten abstrahierten Gemeinsamkeiten (Invarianten) bestimmter Klassen technischer Gebilde und Prozesse. Der Begriff der allgemeinen Technikprinzipien ist ein Schlüsselbegriff für das Verständnis der allgemeinen Techniklehre.

Allgemeinen Technikprinzipien können in Form verbaler Formulierungen, als Strukturdarstellungen oder Prozessmodelle und als Ordnungssysteme von Teilklassen technischer Gebilde und Vorgänge dargestellt werden.

- **Technisches System**:

Unter einem technischen System versteht man vom Menschen geschaffene und in seiner Tätigkeit zur Hervorbringung von Produkten genutzte künstliche Gebilde, sofern sie eine auf die Befriedigung menschlicher Bedürfnisse gerichtete Funktion haben. Mit diesem Begriff wird die Gesamtheit aller im Bereich der künstlichen Umwelt des Menschen existierenden Werkzeuge, Geräte, Anlagen, Aggregate, Maschinen, Vorrichtungen, Apparate, Instrumente und Einrichtungen erfasst. Dazu gehören vor allem die technischen Systeme, die im Produktionsprozess gebraucht werden, aber auch solche, die der Zirkulation (z.B. Verkehrseinrichtungen), der Distribution (z.B. technische Einrichtungen des Handels), der Kommunikation (z.B. Einrichtungen der Telekommunikation, des Rundfunks und Fernsehens) sowie dem individuellen Konsum (z.B. Möbel, Haushaltsgeräte, Heimelektronikgeräte, Sportgeräte) dienen.

Den Hauptbereich technischer Systeme nehmen die Produktionssysteme ein. Sie sind von ausschlaggebender Bedeutung für die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft, weil ihr Entwicklungsstand die Produktivität der Arbeit bestimmt und zugleich Gradmesser der Herrschaft des Menschen über die Natur ist.

Technische Systeme unterscheiden sich in ihrem Entwicklungsniveau durch ihre Struktur (Vorhandensein bestimmter Funktionsorgane). In aufsteigender Reihe werden unterschieden: Werkzeuge, Geräte, einfache Maschinen, klassische Maschinen, programmgesteuerte Maschinen und kybernetische Maschinen.

- **Werkzeuge**

Werkzeuge sind die einfachste Klasse technischer Funktionssysteme. Sie weisen als charakteristische Strukturelemente Arbeits- und Stützorgan auf. Werkzeuge sind handgeführte Arbeitsmittel zur Form- und Eigenschaftsänderung von Arbeitsgegenständen. Beim Einsatz von Werkzeugen als Arbeitsorgane in Maschinen spricht man von Maschinenwerkzeugen.

- **Geräte**

Geräte sind Funktionssysteme, die Arbeitsorgan, Übertragungsorgan und Stützorgan als Strukturelemente aufweisen. Umgangssprachlich ist es ein Sammelbegriff für eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Arbeitsmittel und Gebrauchsgegenstände, deren Komplexitätsgrad größer als der von Werkzeugen ist. Gegen Maschinen sind sie durch das Fehlen eines Antriebsorgans abgegrenzt. Eine einheitliche Gliederung existiert nicht. Man unterscheidet z.B. landwirtschaftliche Geräte, Fördergeräte, Messgeräte, Haushaltsgeräte, Laborgeräte, Sportgeräte.

- **Maschinen**

In aktuellen Nachschlagewerken werden Maschinen als "Verkettung von Mechanismen zur Umwandlung von Energieformen, Realisierung von Bewegungsabläufen und zum technischen Umsetzen von Kräften" (Lit. 1.12.) definiert. Das entspricht noch ganz der klassischen Begriffsbestimmung bei POPPE (1810): „Maschinen nennen wir alle die künstlichen Vorrichtungen, durch welche sich Bewegungen mit Vorteil hervorbringen, unterhalten und nach bestimmten Richtungen hin verpflanzen lassen“ oder der von REULEAUX (1885) „Die Maschine ist eine Verbindung von Teilen, die zwangsläufige Bewegungen ausführen und durch die nützliche mechanische Arbeit verrichtet oder Energie umgewandelt wird“. Maschinen werden nach dieser Maschinenauffassung durch folgende Merkmale gekennzeichnet: (1) aus miteinander verketteten Teilen zu bestehen, (2) zwangsläufige Bewegungen zu realisieren und (3) nützliche Arbeit durch Energieumwandlung oder Veränderung von Materialien zu leisten.

Dieser historisch gewachsene und gegenwärtig noch weitgehend übliche Maschinenbegriff erweist sich zunehmend als zu eng für die Vielfalt der heute in der technischen Praxis anzutreffenden Funktionssysteme. Ganz offensichtlich werden weite Bereiche moderner Maschinerie (wie Informationsverarbeitende Maschinen, Schweißanlagen, Laserbearbeitungssysteme, Heizungsanlagen, chemische Reaktoren, Filteranlagen, Rundfunk- und Fernsehtechnik usw.) von ihm nicht erfasst. Wir unterbreiten deshalb aus allgemeintechnischer Sicht einen durch funktionelle und strukturelle Kriterien bestimmten Maschinenbegriff, den wir im folgenden Text durchgehend zugrunde legen.

Maschinen sind technische Funktionssysteme zur Realisierung technologischer Vorgänge, deren Entwicklungsniveau durch das Vorhandensein eines ausgeprägten Bearbeitungsteils mit Arbeitsorgan und Führungs-

und Positionierungsorgan sowie durch einen Energieteil mit Übertragungsorgan und Antriebsorgan gekennzeichnet ist.

Nach ihrem Entwicklungsniveau werden einfache, klassische, programmgesteuerte und kybernetische Maschinen unterschieden (vgl. Tabelle 4.3.).

- **Apparat / Apparatur**

Mit Apparat bezeichnet man eine aus mehreren funktionell zusammenwirkenden Einzelsystemen oder Baugruppen bestehende technische Einrichtung, die meist keinen mechanischen Antrieb besitzt.

- **Anlagen**

Gesamtheit der zu einem Produktionsprozess gehörenden Einzelmaschinen und Ausrüstungen. Sie können sehr unterschiedlichen Umfang haben (z.B. Energieerzeugungsanlage, Transportanlage, Chemieanlage).

- **Aggregat**

Mit Aggregat wird eine Gruppe zusammengehörender technischer Systeme (Maschinen, Apparate, Geräte) bezeichnet, die eine komplexe Funktion zu erfüllen haben (z.B. ein Aggregat zur Stromerzeugung ist eine Kopplung von Dieselmotor und Generator; ein Pumpenaggregat stellt eine Systemkopplung aus Elektromotor und Pumpe dar).

- **Technisches Funktionsprinzip**

Das technische Funktionsprinzip gehört seinem Charakter nach zu den Funktionsgesetzen. Es trifft Aussagen zu technischen Vorgänge, die zwischen den Funktionsorganen eines technischen Systems ablaufen. Es bestimmt den Zweck des Vorgangs, beschreibt den Vorgangsverlauf, charakterisiert die wesentlichen Funktionsfaktoren in ihren vorgangsbestimmenden Eigenschaften und erfasst die Zustandsänderungen der die Funktionsorgane und Funktionselemente durchlaufenden Flüsse in ihrem zeitlichen Verlauf.

- **Technologisches Wirkprinzip**

Das technologische Wirkprinzip ist ein technisches Funktionsgesetz. Es macht Aussagen über den durch technische Mittel erzwungenen und vom Zusammenspiel der Wirkfaktoren bestimmten Vorgangsverlauf bei der zielgerichteten Veränderung von Arbeitsgegenständen.

- **Arbeitsgegenstand**

Gesamtheit der Naturstoffe, Rohstoffe, Werkstoffe, Energieträger und Primärinformationen, auf die der Mensch im Arbeitsprozess einwirkt mit dem Ziel neue Gebrauchswerte zu schaffen. Im Rahmen der allgemeinen Techniklehre werden drei Klassen von Arbeitsgegenständen unterschieden: Stoffe, Energien und Informationen.

Literatur

2.1 G. Ropohl: Eine Systemtheorie der Technik; München / Wien 1979
2.2 R. Becks / G .Ropohl: Produktion; Bad Salzdethfurt 1984
2.3 S.W. Schuchardin: Grundlagen einer Geschichte der Technik; Leipzig 1963
2.4 Autorenkollektiv: Technische Systeme; Leipzig 1976
2.5 Autorenkollektiv: Spezifik der technischen Wissenschaften; Moskau / Leipzig 1980
2.6 B.I. Iwanow / W.W. Tscheschew: Entstehung und Entwicklung der technischen Wissenschaften; Moskau / Leipzig 1982
2.7 G. Banse / H. Wendt: Erkenntnismethoden in den Technikwissenschaften; Berlin 1986
2.8 H. Lenk / G. Ropohl, Technische Intelligenz im systemtechnologischen Zeitalter; Düsseldorf 1976
2.9 G. Buchheim / R. Sonnemann: Geschichte der Technikwissenschaften; Basel / Boston/Berlin 1990
2.10 H. Hörz: Wissenschaft als Prozess – Grundlagen einer dialektischen Theorie der Wissenschaftsentwicklung; Berlin 1988
2.11 K. Henseler / R. Wollrad: Maschine; Bad Salzdethfurt 1984
2.12 BI-Universallexikon in 5 Bd. ; Leipzig 1989
2.13 F. Reuleaux: Theoretische Mechanik; Braunschweig 1885
2.14 Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie; Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 75, Jahrgang 2004, 252 S.

3. Technik in Geschichte und Gegenwart

3.1. Technikentwicklung (Spezifika, Strategien und Verlaufsformen)

Die Technik in ihrer heutigen Gestalt ist das Ergebnis einer langen Entwicklung. Dieser Prozess der Technikevolution hat mit der Herauslösung des Menschen aus dem Tierreich seinen Anfang. Er hat die menschliche Gesellschaft in ihrer gesamten Geschichte begleitet und dauert auch heute weiter fort. In ihm manifestiert sich das Ringen der Menschheit um die Sicherung ihrer Existenz, um die zunehmende Bedürfnisbefriedigung ihrer Mitglieder und um die wachsende Befreiung aus den Zwängen der Natur. Zugleich widerspiegelt dieser Entwicklungsprozess auch das wachsende menschliche Schöpfertum, denn die Technik in ihrer Gesamtheit ist die vom Menschen geschaffene künstliche Umwelt, die er der Natur gegenüberstellt und mit der er sich aus ihr heraushebt.

Der Gebrauch und die Schaffung von technischen Mitteln charakterisieren den spezifisch menschlichen Arbeitsprozess. Im Arbeitsprozess bringt der Mensch die Technik hervor, und in der Arbeit bedient er sich der Technik. Mit der systematischen Anwendung und Weiterentwicklung von Arbeitsmitteln wurde der Mensch immer mehr zum aktiven Gestalter seiner Umwelt und veränderte sich rückwirkend auch selbst. Jeder Technikfortschritt brachte eine Erhöhung der Produktivität der menschlichen Arbeit und entfaltete zugleich die Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen und seine ganze Persönlichkeit. So ist die Technik nicht nur Existenzbedingung menschlichen Lebens, sondern technischer Fortschritt war und ist zugleich wesentliches Element progressiver Persönlichkeitsentfaltung und damit auch der gesellschaftlichen Entwicklung.

Der Entwicklungsprozess in der Technik besitzt gegenüber der Entwicklung in der Natur eine Reihe von spezifischen Merkmalen, die nicht vernachlässigt werden dürfen. Als wesentlichster Unterschied zwischen Entwicklungsprozessen in Natur und Technik ist herauszuheben, dass die Evolution in der Natur aus der Wechselwirkung der natürlichen Objekte und den dabei hervorgerufenen Veränderungen entspringt, also aus sich heraus verläuft. Technik wird dagegen durch bewusstes menschliches kreatives Handeln verändert und zielgerichtet weiterentwickelt. Technischer Fortschritt ist Ausdruck menschlicher Schöpferkraft. Die Technik unterliegt keiner Selbstentwicklung, sie wird durch menschliche Schöpferkraft entwickelt.

Ein zweites Spezifikum der Technikentwicklung ist ihre Gerichtetheit. In der Natur verläuft der Entwicklungsprozess nicht auf einer vorbestimmten Bahn. Die Richtung des Gesamtprozesses ergibt sich aus den Wechselwirkungsbedingungen der Naturobjekte und den jeweils wirksamen Existenz- und Selektionsbedingungen. In der Technik ist die Richtung final durch das vom Menschen jeweils angestrebte Ziel bestimmt. Das macht den technischen Evolutionsprozess in hohem Maße ziel- und zweckorientiert.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied besteht darin, dass die Entwicklungsprozesse in der Technik ungleich schneller ablaufen als in der Natur. Das liegt vor allem daran, dass in der Natur Fortschritte auf dem Wege des "trial and error" erzielt werden, der Mensch aber die im Umgang mit der Technik gewonnenen Erfahrungen und deren theoretische Verallgemeinerung nutzt, um den Entwicklungsprozess zu beschleunigen und ihn zielstrebig zu steuern. Die Verbesserung und Weiterentwicklung der Technik verläuft unter dem Einfluss der angestrebten besseren Bedürfnisbefriedigung gerichteter und damit wesentlich effektiver. Wesentlich erscheint auch, dass sich die Geschwindigkeit der technischen Entwicklungsprozesse im Laufe der Geschichte ständig erhöht hat, was deutlich an den sich verkürzenden Perioden ablesen lässt, in denen technische Revolutionen aufeinander folgten. Ganz besonders wird das Entwicklungstempo durch die zunehmende systematische Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse beeinflusst. In diesem Sinne man spricht bei den gegenwärtigen Umwälzungen der technischen Basis der Gesellschaft von der wissenschaftlich-technischen Revolution.

Grundlegende Unterschiede zwischen biologischer und technischer Evolution zeigen sich auch in den Evolutionswegen. Während z.B. in der Natur der Gelenkmechanismus charakteristisches Glied tierischer Fortbewegungsorgane ist, wurde in der Technik das Rad der entscheidende Fortbewegungsmechanismus. Seinen Vorteilen (Einfachheit, Eignung für hohe Geschwindigkeiten, leichte Lenkbarkeit) steht allerdings der prinzipielle Nachteil gegenüber, dass es eingeebnete Flächen (Straßen, Schienenwege) voraussetzt. Das macht es für die tierische Fortbewegung ungeeignet, abgesehen von der Unmöglichkeit einer stofflichen und energetischen Versorgung des beweglichen Teils. Schließlich sei auch hervorgehoben, dass sich die technischen Organe des Menschen auch insofern grundsätzlich von denen der biologischen Organismen unterscheiden, als sie nicht aus körpereigener (d.h. aus einer anderen stofflichen) Substanz aufgebaut sind und auch andere Funktionsprinzipien realisieren (s. Lit. 3.8., S.9).

Neben diesen Unterschieden treten jedoch auch eine Reihe von Analogien zwischen beiden Typen von Entwicklungsprozessen in Natur und Technik auf. Sie betreffen vor allem die Selektionskriterien, Evolutionsstrategien, Evolutionsmethoden und Verlaufsformen der Entwicklung. Aus solchen Analogiebetrachtungen zwischen biotischen und technischen Entwicklungsprozessen ergeben sich sehr interessante Denkansätze für das Vordringen in ein tieferes Verständnis der Technikevolution und der dabei wirkenden Faktoren und Gesetzmäßigkeiten. Die wissenschaftlichen Forschungen auf diesem Gebiet stehen noch am Anfang, so dass wir uns auf einige beispielhafte Aspekte beschränken. Wir stützen uns dabei insbesondere auf Arbeiten von R.REICHEL (Lit. 3.8.).

Neue technische Systeme unterliegen ebenso Ausleseprozessen wie neue biologische Arten in der Natur. Die Grundlage dafür bilden allgemeingültige **Optimalitätsprinzipien**, die letztlich objektive Gesetzmäßigkeiten verkörpern. Als solche Optimalitätsprinzipien können u.a. angesehen werden (nach REICHEL):

- das Prinzip des optimalen Wirkungsgrades
- das Prinzip des minimalen Energieaufwandes
- das Prinzip des minimalen Materialeinsatzes
- das Prinzip der höchsten Zuverlässigkeit
- das Prinzip der optimalen hierarchischen Struktur

Auf der Basis dieser Optimalitätsprinzipien wirken grundlegende **Selektionskriterien**, die in jeweils spezifischer Gestalt sowohl in der (belebten) Natur wie auch in der Technikentwicklung eine Rolle spielen und die über das Überleben neuer Lebensformen in der Natur gegen die Konkurrenz der existierenden Lebewesen einerseits und die Durchsetzung neuer weiterentwickelter Technikformen gegenüber der existenten Technik andererseits entscheiden. Während aber in der Natur die Wirkung der Optimalitätskriterien an dem Kriterium der Überlebensfähigkeit sichtbar wird, sind im Ausleseprozess der technischen Neuerungen sowohl im Produktions- wie im Anwendungsbereich vor allem gesellschaftliche (sozialökonomisch determinierte) Effektivitätskriterien die entscheidenden Bezugsgrößen. In der Technikevolution spielen über die oben genannten Optimalitätskriterien hinaus eine Reihe weiterer eine wesentliche Rolle, z.B. das Prinzip der kleinsten Vielfalt (Standardisierungsprinzip), das Prinzip der Austauschbarkeit, das Prinzip der optimalen Flexibilität und das Prinzip der Kompatibilität zu anderen Systemen.

Eine weitere Gruppe von Analogien finden wir bei den **Evolutionsstrategien** in Technik und Biologie. So lässt sich sowohl in der Natur wie auch in der Technik als strategische Linie eine die *Aufeinanderfolge von Kombinations- und Differenzierungsprozessen* feststellen. Sie zeigt sich einerseits in der immer stärkeren Nutzung neuer Wirkprinzipien für technologische Verfahren, in der Erschließung weiterer Werkstoffe und in der Einbeziehung neuer Energiequellen. So wurde die Operationsenergie für den Werkzeugeinsatz und den Maschinenantrieb anfänglich aus der Muskelkraft von Mensch und Tier gewonnen, später durch Wind- und Wasserkraft ergänzt und im Maschinenzeitalter durch die Energie der Kohle, des Erdöls, des Erdgases, der Kernenergie und gegenwärtig durch alternative Energien abgelöst bzw. erweitert. Die Anzahl der verfügbaren Werkstoffe und Baustoffe hat seit der Industriellen Revolution geradezu sprunghaft zugenommen. In der gegenwärtigen wissenschaftlich-technischen Revolution beobachten wir eine stürmische Entwicklung hinsichtlich der Nutzung neuer (insbesondere nichtmechanischer und nichtthermischer) Wirkprinzipien, wie sie Laser-, Elektronenstrahl-, chemischen und biologischen Bearbeitungsverfahren zugrunde liegen. Andererseits erfolgt die Entwicklung durch Ausnutzung des multivalenten Charakters der technischen (bzw. biologischen) Neuerungen durch zunehmende Differenzierung und Spezialisierung. Dieser Prozess folgt im Allgemeinen auf die Entstehung qualitativ neuer und dadurch unspezialisierter Lösungen mit breitestem Anwendungsbereich. Die im Einsatz dieser Lösungen auftretenden immer spezifischeren Anforderungen führen dazu, dass aus den ursprünglich universellen Verfahren und technischen Mitteln eine Vielzahl differenzierter, an die konkreten Einsatzbedingungen besser angepasste Varianten entstehen. Die ursprüngliche Faustkeilform wird z.B. in Schaber, Messer, Säge, Speerspitze usw. differenziert. Die anfänglich geringe Zahl der Stahlsorten wuchs im Laufe der letzten hundert Jahre auf eine Vielzahl von Massen- und Spezialstählen für die verschiedensten Anforderungen an (z.B. Schnellarbeitsstähle, Automatenstähle, korrosionsgehemmten Stähle, warmfeste Baustähle, Edelstähle, Vergütungsstähle). Ein anschauliches Beispiel für den Spezialisierungsprozess liefert auch die Entwicklung der Elektro-Schweißverfahren vom Lichtbogenschweißen mit Kohleelektroden (1885) bis zum gegenwärtigen WIG-, MIG-, UP-, CO_2-, Elektro-Schlacke- und Elektro-Gas-Schweißen. Die Stahlerzeugungsverfahren differenzierten sich im Laufe der letzten 150 Jahre in Konverter-, Siemens-Martin-, Lichtbogenofen-, Induktionsofen- und Plasmaschmelz-Verfahren. Der Differenzierungs- und Spezialisierungsprozess führt allerdings zu einer Einengung der Anwendungsbreite und setzt ihr in der Technik Grenzen, die durch die Aufwands-Nutzen-Relation bestimmt wird.

Als weitere Strategielinie des Evolutionsprozesses erscheint ein Wechselspiel von Prozessen, die einerseits zur *Erhöhung des Komplexitäts- und Kompliziertheitsgrades* der Systeme, andererseits zur *Degradation dieser Merkmale* im Ergebnis von Lernprozessen und Prozessen der Informationsgewinnung führen. Komplexität ist ein Maß für die Zahl der funktionellen Relationen zwischen den Elementen eines technischen bzw. biologischen Systems und damit ein Strukturmerkmal des betreffenden Systems. Die Kompliziertheit trifft eine Aussage über die Anzahl und Verschiedenartigkeit der in einem System kombinierenden Elemente und Prozesse. In der Technik belegt die Geschichte der einzelnen Typen technischer Systeme ebenso wie die Ontogenese der Arbeitsmittelentwicklung als Ganzes die zunehmende Komplexität und Kompliziertheit der technischen Systeme. So werden an die ursprüngliche einfache Drehvorrichtung, wie sie bereits in der Steinzeit entwickelt wurde, sukzessive komplizierter werdende Antriebselemente, schließlich Positionierungs-, Führungs- und Steuerungselemente hinzufügt bis zum heutigen Drehautomaten. Hinsichtlich der ontogenetischen Komplexitätserhöhung verweisen wir auf das genetische Modell der Funktionssysteme (Abb. 3.3.). Die durch die zunehmende Komplexität notwendigerweise geringer werdende Zuverlässigkeit des Systems wird im Entwicklungsprozess dadurch kompensiert, dass bei Erreichen kritischer Größen ein Degradationsprozess, z.B. durch hierarchische Untergliederung des Gesamtsystems, erfolgt. In der Gegenwart liefern die Computertechnik und die Rundfunk- und Fernsehtechnik interessante Beispiele dafür.

Für die allgemeine Verlaufsform des Evolutionsgeschehens in allen Bereichen der Wirklichkeit ist eine Aufeinanderfolge von evolutionären und revolutionären Prozessen charakteristisch. Das gilt auch für die *Verlaufsformen des Technikfortschritts*. Die *Technikentwicklung ist ein einheitlicher Prozess quantitativer und qualitativer Entwicklungen*, der sich in zwei Formen vollzieht: als evolutionärer Fortschritt und als revolutionäre Umwälzung. Die *evolutionäre Form des technischen Fortschritts* umfasst dabei die ständige schrittweise Vervollkommnung der Arbeitsinstrumente, der Produktionsverfahren, der Werkstoffe und der Antriebsmechanismen. Sie betrifft die Erhöhung technisch-technologischer Parameter (wie Wirkungsgrad, Arbeitsgeschwindigkeit, Zuverlässigkeit) oder die Verbesserung ökonomisch-sozialer Faktoren (wie Reduzierung von Material- und Energieaufwand, Produktivität, Umweltverträglichkeit, Wartungsfreundlichkeit). Dabei kommt es nicht zu grundsätzlichen Veränderungen in der technologischen Produktionsweise als Ganzem. Die Art der Produktion wird effektiver und differenzierter, die bewährten technologischen Wirkprinzipien werden in diesem Prozess nicht verändert, aber die in ihnen enthaltenen Potenzen werden immer besser ausgenutzt. Diese Form des technischen Fortschritts verläuft im Allgemeinen über historisch längere Zeiträume. Ihr grundlegendes Merkmal ist die kontinuierliche und umfassende Vervollkommnung der Produktionstechnik und der Produktionsverfahren. Wenn die Möglichkeitspotenzen eines technischen Systems ausgeschöpft sind, ergibt sich die Notwendigkeit, nach qualitativ neuer Lösung zu suchen.

Die zweite Form des technischen Fortschritts ist mit qualitativen Umwälzungsprozessen verbunden, mit charakteristischen *Phasen revolutionärer Technikentwicklung*. Solche revolutionären Phasen bezeichnen wir als technische Revolutionen. Sie werden nicht einfach durch eine Vielzahl einzelner technischer Umwälzungen durch die Erfindung und Einführung bisher unbekannter technische Systeme, Bearbeitungsverfahren oder Wirkprinzipien gekennzeichnet, sondern durch grundlegende Veränderungen in der technologischen Produktionsweise der Gesellschaft. Sie umfassen meist relativ kurze Zeitabschnitte in der Menschheitsgeschichte und münden dann wieder in evolutionär verlaufenden Technikfortschritt. Technische Revolutionen bilden mit den evolutionären Abläufen eine dialektische Einheit, sie sind die „Durchbruchsphasen“ im technischen Entwicklungsprozess.

Beide Verlaufsformen der Technikentwicklung sind sowohl in der Phylogenese wie auch in der Ontogenese der Technik verfolgbar. In der Phylogenese zeigt sich der Prozessverlauf in dem Auftreten technischer Revolutionen nach Phasen allmählicher quantitativer Entwicklung (s. Kap. 3.4). In der Ontogenese (d.h. in der Entwicklungsgeschichte einzelner Typen technischer Systeme) finden wir sie in Abfolgen quantitativer Verbesserungen des technischen Systems und dem Auftreten qualitativer funktionaler Veränderungen unter Beibehaltung des Wirkprinzips, wobei sich besonders die Funktion des Menschen im Umgang mit dem technischen System ändert. So kann man in der Entwicklungsgeschichte der Drehmaschine zahlreiche schrittweise Verbesserungen der ursprünglichen Drehbänke nachweisen, wie die Einführung der Wippe zum Fußantrieb (sparte eine Arbeitskraft ein), des Handkurbelantriebs mit Schwungscheibe (ermöglichte fortlaufende Spanabnahme) oder die Vereinigung von Fußantrieb, Kurbeltrieb und Schwungscheibe durch LEONARDO DA VINCI, die die Vorteile von Wipp- und Handkurbeldrehbank zusammenführte und ihre Nachteile ausschloss. Eine umwälzende Weiterentwicklung war dagegen die Erfindung des Kreuzsupports durch MAUDSLAY. Sie ersetzte die menschliche Hand zur Führung des Werkzeugs, ermöglichte eine hohe Bearbeitungsgenauigkeit und machte das Arbeitsergebnis weitgehend vom Geschick des Arbeiters unabhängig. Damit wurde der

Übergang von der Drehbank zur Drehmaschine vollzogen. In der Flugzeugentwicklung stellt der Übergang vom Propellerantrieb zum Strahlantrieb einen solchen qualitativen Fortschritt dar.

3.2. Technikentwicklung, technologische Produktionsweise und Gesellschaftsfortschritt

Das Entwicklungsniveau der Technik bestimmte zu jeder Zeit die technologische Produktionsweise der Gesellschaft. Unter der technologischen Produktionsweise verstehen wir die durch die Gesamtheit der typischen technischen Mittel und Verfahren einer bestimmten Epoche gekennzeichnete prinzipielle Art und Weise, auf die der Hauptteil der materiellen Güter erzeugt wird. Die technologische Produktionsweise war immer eng mit der jeweiligen Gesellschaftsordnung verbunden. Während für die Produktion materieller Güter in der feudalen Gesellschaftsordnung die handwerkliche und in der frühbürgerlichen Ordnung die manufakturelle Produktionsweise charakteristisch war, bestimmt die maschinelle Produktion die technologische Produktionsweise im Kapitalismus. Umgekehrt wirken die Organisationsformen der Gesellschaft auf die Grundrichtungen der Technikentwicklung zurück, indem sie bestimmte Tendenzen fördern, hemmen oder auch begrenzen.

Der enge Zusammenhang zwischen Technikentwicklung und gesellschaftlicher Entwicklung spiegelt sich auch in der Bezeichnung bestimmter Kulturphasen der Menschheitsgeschichte durch die typischen für die Herstellung der Produktionsinstrumente genutzten Rohstoffe und Werkstoffe wider: Steinzeit, Bronzezeit, Eisenzeit.

Die Technikentwicklung wird durch eine Vielzahl von Determinanten (Einflussfaktoren), durch ein komplexes Determinationsgefüge von äußeren und inneren Faktoren bestimmt. Unter äußeren Faktoren erfassen wir die gesellschaftlichen Einflussgrößen. Die inneren Faktoren betreffen solche, die sich aus dem Zustand der Technik selbst ableiten.

Ausgangspunkt für technische Entwicklungen waren immer die vielfältigen, ständig wachsenden und sich ausweitenden *Interessen und Bedürfnisse der Gesellschaft* und des Einzelnen. Sie waren die in den jeweiligen Epochen wirkenden unmittelbaren Triebkräfte und damit gewissermaßen die Auftraggeber der Technikentwicklung. Erscheinungsformen solcher Bedürfnisse, die neue Entwicklungsschritte in der Technik auslösten, waren und sind oft Widersprüche, die in Form von Engpässen auftreten, wie Produktivitätsengpässe, fehlende Produktionskapazitäten, abnehmende Rohstoffressourcen, unzureichende Verfügbarkeit von Produkten oder mangelnde Produktqualität.

Die zwischen gesellschaftlichen Bedürfnissen und technischen Möglichkeiten auftretenden Widersprüche reichen allein jedoch nicht aus, um die Entwicklungswege und die spezifischen Merkmale einer neu entstehenden Technik zu erfassen. REICHEL führt als Beispiele dafür an, dass die anfänglich mittels Gleichstrom realisierte Energieübertragung später durch die Wechselstromübertragung abgelöst wurde, um neuerdings wiederum eingesetzt zu werden oder dass die in ihrer Konstruktion viel einfachere Dampfturbine erst nach der Ausbreitung der Dampfmaschine zum Einsatz kam. Als Erklärung dafür lassen sich nur innertechnische Faktoren als Entwicklungsdeterminanten angeben.

Die *inneren Determinanten des Technikentwicklungsprozesses* finden wir insbesondere im Entwicklungsniveau der Technik einerseits und dem der Wissenschaft andererseits. Die Realisierung technischer Neuerungen erfordert mit steigendem technischem Niveau immer mehr auch entsprechende Voraussetzungen auf technischem Gebiet und ebenso im wissenschaftlichen Erkenntnisstand der zugrunde liegenden natur- und technikwissenschaftlichen Zusammenhänge. So war die Einführung biotechnologischer Verfahren zur großtechnischen Erzeugung von Enzymen, Antibiotika, Vitaminen und organischen Säuren einerseits an die Entwicklung von Großfermentern und die Möglichkeit ihrer mikroprozessorgestützte Steuerung gebunden, andererseits erforderte sie die Ausarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen der Sterilfermentation und einen Entwicklungsstand der Gentechnik, der eine gezielte Einflussnahme auf die Leistungsfähigkeit der in den Prozessen eingesetzten Mikroorganismen ermöglichte.

Der Technikfortschritt vollzieht sich offensichtlich immer in einem Spannungsfeld von natürlichen, technischen und gesellschaftlichen Möglichkeiten einerseits und technischen und gesellschaftlichen Erfordernissen andererseits. Dabei verläuft die Entwicklung der Technik im Allgemeinen nicht geradlinig. So finden sich zahlreiche Beispiele, wo neue technische Systeme und umwälzende Technologien sich in außerordentlich kurzer Zeit ausbreiteten und die technologische Produktionsweise einer ganzen Epoche bestimmten. Dabei stimulierten ganz offensichtlich gesamtgesellschaftliche Bedürfnisse und Interessen, technische Gegebenheiten und ökonomische Möglichkeiten diesen Prozess positiv. Wir kennen aber auch Erfindungen, die ihrer

Zeit weit vorauseilten und keine gesellschaftliche Akzeptanz erreichten bzw. ein ungenügendes Niveau von Technik und Wissenschaft vorfanden. Die genialen ingenieurtechnischen Entwürfe eines LEONARDO DA VINCI sind ein überzeugendes Beispiel dafür. Ebenso wurden in der Geschichte neue technische Lösungen z.T. lange unterdrückt, weil sie bestimmten gesellschaftlichen Interessen entgegenstanden, ehe sie zu breiter Anwendung kamen.

Wie stark der Einfluss gesellschaftlicher Interessen (sowohl im positiven wie aber auch im negativen Sinne) auf die Technikentwicklung war und ist, zeigen z.B. das Verbot der Nutzung von Maschinen durch Zünfte in den mittelalterlichen Städten. So wurde beispielsweise 1561 die Supportdrehbank des Nürnberger Handwerksmeisters H. SPAICHEL auf Grund von Zunftbestimmungen zerstört und diese umwälzende Neuerung erst 1835 durch MAUDSLAY technisch wirksam (Abb. 3.1.). In diesem Zusammenhang sei auch auf entwicklungshemmende Erscheinungen im Bereich des Patentwesens hingewiesen (Sperrpatente mit dem Ziel der Nichtnutzung).

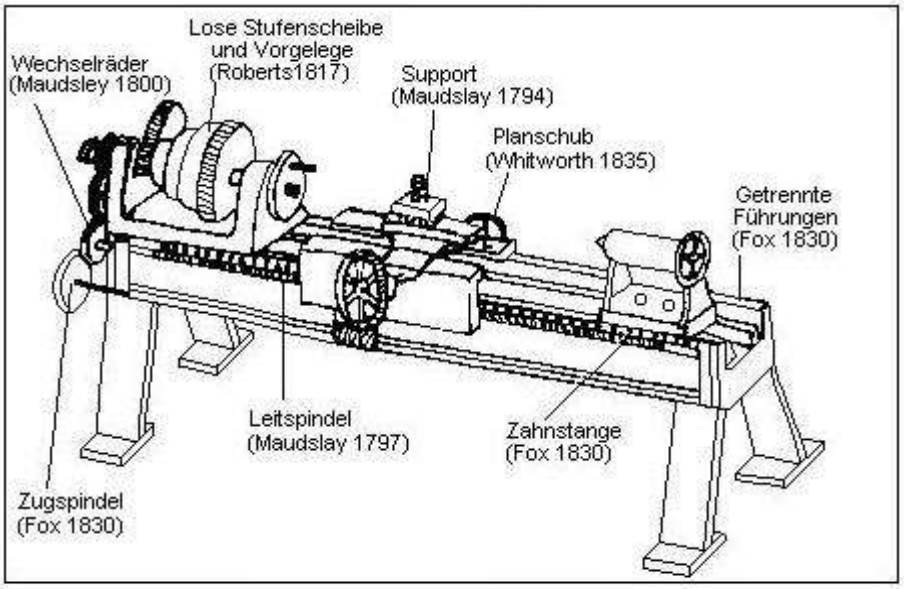


Abb. 3.1. Historische Entwicklung der Drehmaschine

Die unterschiedlichen Formen und Wege des technischen Fortschritts erklären sich jeweils aus den widerstreitenden Interessen innerhalb des Gesellschaftsgefüges sowie den technischen und ökonomischen Möglichkeiten. Insgesamt lässt sich aber bei allen abgebrochenen Entwicklungen, Sackgassen und Umwegen feststellen, dass die Technikentwicklung sich als Tendenz immer durchsetzt.

Ohne im Einzelnen auf die komplexen Zusammenhänge einzugehen, lassen sich insbesondere drei Faktorengruppen bestimmen, die das Möglichkeitsfeld technischer Entwicklung als grundlegende *Triebkräfte der Technikentwicklung* bestimmen:

- gesellschaftliche Bedürfnisse,
- Konkurrenz gleichartiger Erzeugnisse und
- günstige Ausbreitungsbedingungen.

Die *gesellschaftlichen Bedürfnisse* als entscheidende Triebkraft der Technikentwicklung entsprechen dem Wesen der Technik, denn die Hauptfunktion der Technik ist die Befriedigung dieser Bedürfnisse. Zu diesem Zweck wird sie geschaffen und genutzt. Die gesellschaftlichen Bedürfnisse ergeben sich vor allem aus dem Widerspruchsfeld zwischen Anspruch und Bedarf. Dabei handelt es sich sowohl um die Überwindung von Engpässen in der Verfügbarkeit von Rohstoffressourcen, in der Bereitstellung ausreichender Produktmengen, in der Sicherung zu fordernder Produktqualität als auch um die Erhöhung der Produktivität von Produktionsprozessen. Über diese vorwiegend materiell orientierten Bedürfnisse hinaus kommt seit dem letzten Jahrhundert in zunehmendem Maße aber auch die gezielte Nutzung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse als Entwicklungsfaktor hinzu, wie das die Geschichte der Elektrotechnik, der Lasertechnik, der Rundfunktechnik oder der Biotechnologie anschaulich illustrieren.

Die *Konkurrenz von Produkten* ist ein weiterer Ausgangspunkt für technische Innovationen. Sie zielt auf bessere Marktchancen von Erzeugnissen mit gleichartiger Funktion, die sich durch höhere Effektivität, bes-

sere Aufwands-Nutzen-Relation, größere ökologische Akzeptanz, geringeren Wartungsaufwand usw. auszeichnen. Sie verdrängen traditionelle Erzeugnisse und führen so zum Technikfortschritt.

Neue Technik muss sich bewähren und sich aktiv gegenüber der alten Technik durchsetzen. Zu günstigen *Ausbreitungsbedingungen* als Faktor des Technikfortschritts gehört zum einen die Kompatibilität neuer technischer Entwicklungen mit vorhandener Technik, ohne die eine Integration in das System der vorhandenen Technik nicht möglich ist. Zum anderem bedarf es entsprechender Verwertungsmöglichkeiten.

Für die Bewertung technischer Neuerungen gegenüber der traditionell genutzten Technik lassen sich allgemein folgende **Fortschrittskriterien** angeben:

Technische Bewertungsgrößen

- vollkommenere Funktionserfüllung
- höhere energetische Wirkungsgrade
- höhere Leistungsparameter
- besseres Aufwand-Nutzen-Verhältnis

Wirtschaftliche Bewertungsgrößen

- bessere Marktchancen
- Erschließung von Marktlücken
- höhere wirtschaftliche Erträge

Politische Bewertungsgrößen

- ökologische Verträglichkeit
- ressourcensparende Produktions- bzw. Nutzungsbedingungen

3.3. Technikrevolutionen in der Menschheitsgeschichte

Technische Revolutionen sind grundlegende Umwälzungen der technisch-technologischen Basis der Gesellschaft. In der Menschheitsgeschichte hat es bisher mehrfach technische Revolutionen gegeben, die zu umfassenden Umwälzungen der Technik, zu qualitativ neuartigen technischen Systemen und technologischen Verfahren, zu neuartigen Werkstoffen oder zur Erschließung neuer Energiequellen und neuen Formen der Energienutzung führten. Sie erfolgen über einen historisch relativ kurzen Zeitraum.

Nicht alle diese technischen Umwälzungsprozesse hatten allerdings die gleiche Dimension. Sie erfassten zum einen das Gesamtsystem der Technik (die Gesamtstruktur der Produktivkräfte) oder aber lediglich mehr oder weniger große Teilbereiche. Beispiel für die revolutionäre Umgestaltung des Gesamtsystems der Technik (für die Herausbildung einer neuen technologischen Produktionsweise) ist die Industrielle Revolution in der zweiten Hälfte des 18. und der ersten Hälfte des 19. Jhdts., die zur Ablösung der Manufaktur durch die industrielle Produktionsweise führte. Eine bedeutende, in ihrer Dimension aber doch begrenztere Umwälzung ist mit dem Übergang vom Dampfmaschinenantrieb zum elektrischen Antrieb (Wende vom 19. zum 20. Jhdt.) verbunden, der u.a. den Einzelantrieb der Werkzeugmaschinen, die Fließfertigung, den Übergang zur industriellen Großproduktion und neue Lösungen im Verkehrswesen und im Haushalt möglich machte. Andere qualitative Fortschritte bezogen sich auf einzelne Maschinentypen, aber mit weitreichenden Auswirkungen auf die Produktionspotenzen und das Produktionsniveau. Als Beispiel dafür sei die Einführung des Kreuzsupports an Drehmaschinen (1794) genannt. Diese Erfindung machte die Drehbank erst zur Drehmaschine, indem sie die Vorschub- und Zustellbewegung für das Werkzeug aus der Hand des Arbeiters auf die Maschine übertrug. Der dadurch erreichbare Grad an Präzision der Drehteile machte den Weg frei zur Herstellung von Maschinen durch Maschinen. Sie schuf eine wesentliche Voraussetzung für die Produktionsweise der großen Industrie. Im Prinzip ist jede grundlegende Erfindung (wie sie z.B. Rundfunk und Fernsehen oder Flugzeug darstellen) revolutionär. Sie waren es auch in unterschiedlichem Umfang für jeweils einzelne Bereiche des gesellschaftlichen Lebens (Massenkommunikationswesen, Verkehrswesen), in Bezug auf das Gesamtsystem der Produktivkräfte waren sie es nicht oder bestenfalls doch sehr eingeschränkt.

Die Existenz so unterschiedlicher qualitativer Veränderungen im Bereich der Technik macht verständlich, dass z.T. sehr unterschiedliche Auffassungen darüber bestehen, was als technische Revolution angesehen werden kann und welche Kriterien dafür gelten. ROPOHL hat eine Übersicht über verschiedene Periodisierungsvorschläge gegeben (Lit. 2.1., S.295 ff.). Im Wesentlichen ergeben sich die unterschiedlichen Stand-

punkte aus der Anwendung unterschiedlicher Kriterien. Eine umfassende Darlegung der mit der Problematik technischer Revolutionen verbundenen Fragestellungen und Positionen finden wir in der in Lit. 3.13.

Für unsere Überlegungen ist bedeutsam, dass grundlegende Fortschritte in der Technikentwicklung, wie sie für alle technischen Revolutionen charakteristisch sind, immer mit einem grundlegenden Funktionswandel des Menschen in der materiellen Produktion verbunden waren. Dieser Funktionswandel manifestierte sich vor allem in der Übertragung von bis dahin vom Menschen ausgeführten Arbeitsfunktionen auf die technischen Systeme. Dieser Trend lässt sich als allgemeines Entwicklungsprinzip der Technik formulieren: als *Prinzip der Übertragung menschlicher Arbeitsoperationen auf die Technik (s. Abb. 3.2.).*

Als charakteristisches Merkmal für technische Revolutionen kann man ansehen, dass qualitativ neue Typen technischer Systeme entwickelt werden und sich durchsetzen, die eine neue Art und Weise des Produzierens zur Folge haben

Typisch für technische Revolutionen ist weiterhin, dass in großem Umfang neue Wirkprinzipien zur Durchführung von Bearbeitungsvorgängen oder aber neue Energiequellen für die Nutzung als Operationsenergie mit breitem Anwendungsfeld erschlossen werden. Ebenso sind technische Revolutionen oft durch die Erschließung neuer Klassen von Arbeitsgegenständen und die wesentliche Erweiterung der Rohstoff- und Werkstoffbasis gekennzeichnet.

Auf der Basis dieser Kriterien gehen wir davon aus, dass im Verlauf der bisherigen Menschheitsgeschichte fünf technische Revolutionen stattgefunden haben, die jeweils die technische Basis der Gesellschaft und die technologische Produktionsweise von Grund auf verändert haben und so neue Epochen der Technikgeschichte einleiteten.

Die **erste technische Revolution** fand etwa im Zeitraum vom 13. bis zum 4. Jahrtausend vor der Zeitrechnung statt. Sie wird auch als die agrarische Revolution bezeichnet, geht aber in ihrer Wirkung weit über den Bereich der Agrarproduktion hinaus, weil sie auch für das häusliche Handwerk weitgehende Änderungen brachte. In diesem Zusammenhang findet sich auch die Bezeichnung „neolithische Umwälzung“ (Lit. 3.2., Bd.1, S.32), deren Wesen nach G.CHILDE als Übergang von der aneignenden zur produzierenden Produktionsweise gekennzeichnet wird.

Die agrarische Revolution löste die Jagd- und Sammelwirtschaft durch die Pflanzen- und Tierproduktion ab und brachte damit einen wesentlichen Wandel in der Erzeugung der grundlegenden Lebensmittel. Die Landwirtschaft wurde zum führenden Produktionszweig jeder Volkswirtschaft und blieb es bis ins 18. Jhdt. Die Erfindung des Pfluges und die Domestikation des Rindes sind wesentlicher Bestandteil der agrarischen Revolution. Weitere umwälzende Erfindungen dieser Umwälzung sind die Töpferei und in der Textiltechnik Spinngeräte und Handwebstuhl.

Auf dem Gebiet der handwerklichen Produktionstechnologien zeigen sich umwälzende Fortschritte in den Technologien der Herstellung behauener, geschliffener, gebohrter und polierter Steinwerkzeuge. Damit wurde die Bearbeitung härterer Gesteinsarten möglich zur Herstellung von Meißeln, Keilen und der ersten zusammengesetzten Werkzeuge, wie bestielten Beilen, Hämmern und Hacken. Die neuen Produktionsmittel brachten eine erhebliche Steigerung der Arbeitsproduktivität.

Die **zweite Technische Revolution** umfasst den Zeitraum von etwa 1000 bis 500 v.u.Z. Sie leitet die häuslich-handwerkliche Produktionsweise ein.

Die charakteristischen technischen Innovationen sind die Erfindung des Rennverfahrens zur Eisengewinnung und die Herstellung eiserner Arbeitsinstrumente. Eiserne Pflugschar, Sicheln, Messer, Äxte, Blasebalg finden neben eisernen Waffen und Mechanismen wie Scharnieren, Zahnrädern, Schnecken, Rollen und Flaschenzügen weite Verbreitung. Mit der Differenzierung der Werkzeuge trennte sich das Handwerk endgültig von der Landwirtschaft. Die Erfindung der Drehbank erweiterte die Möglichkeiten der Werkstoffbearbeitung ganz entscheidend.

In der Landwirtschaft ermöglichen Wasserschöpfräder die künstliche Bewässerung und die Verbesserung des Pfluges durch eiserne Pflugschare höhere Erträge, die rotierende Mühle verbesserte die Getreideverarbeitung.

Die **dritte technische Revolution** lässt sich für die Zeit vom 11. bis 14. Jhdt. datieren. Sie bringt die handwerklich-zunftmäßige Produktionsweise hervor und schafft die Bedingungen für den Beginn der handwerklich- manufakturellen Produktionsweise.

Ihre wichtigsten technischen Errungenschaften sind die Nutzbarmachung natürlicher Energiequellen durch Wind- und Wasserräder sowie die Vervielfachung der Zugleistungen von Pferden durch die Einführung des Kummetgeschirrs. Der nun mögliche Einsatz des Pferdes in der Ackerbewirtschaftung in Verbindung mit der Weiterentwicklung des Pfluges mit Radvorgestell, senkrechtem Sech, waagerechtem Schar und Streichblech brachte wesentliche Produktivitätsfortschritte. Die verbesserte Nutzung der Zugkraft des Pferdes und der Ausbau der Verkehrswege brachten auch dem Transportwesen neue Impulse.

Die Mühle kann als das erste technische System angesehen werden, in dem das Prinzip der klassischen Maschine realisiert wurde. Dazu gehört zum einen das energieliefernde System (über Wind- und Wasserräder), das in Verbindung mit Mahlwerken, Schleifsteinen, Pochhämmern, Walkwerken, Pumpen, Blasebälgen und Sägen zu einem bedeutenden Fortschritt in den Bearbeitungstechnologien führte. Die durch Wasserrad betriebenen Pumpen, Blasebälge und Schmiedehämmer förderten den Erzbergbau und machten die Herstellung von Gusseisen erst möglich. In der Textiltechnik kamen im 13. Jhdt. das Spinnrad und der Trittwebstuhl auf. Die weiterentwickelte Drechselbank mit Wippe und Fußantrieb charakterisiert die Fortschritte auf dem Gebiet der einfachen Arbeitsmaschinen. In der chemischen Technologie ermöglichten vervollkommnete Destillationseinrichtungen die Erzeugung von Schwefelsäure, Salpetersäure und Alkohol mit wesentlichen Auswirkungen auf technische Fortschritte in der Metallurgie. Zu den kompliziertesten Erfindungen des 13. Jhdts. gehören die mechanischen Uhrwerke. Sie förderten den technischen Fortschritt auf vielen Gebieten. Von weit reichender Bedeutung ist weiterhin die Erfindung des Buchdrucks.

Bedeutsam ist weiterhin die Entstehung von Manufakturen auf den Gebieten der Seiden-, Papier-, Tuch-, Spiegel- und Messerproduktion.

Die **vierte technische Revolution** ist in die Geschichte als Industrielle Revolution eingegangen und zeitlich in der zweiten Hälfte des 18. und der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts anzusiedeln. Mit ihr beginnen das Maschinenzeitalter und die industrielle Produktionsweise.

Ihr Hauptcharakteristikum ist die Erfindung der Werkzeugmaschine und die Erschließung einer neuen Naturkraft durch die Dampfmaschine. Mit der Werkzeugmaschine wurde das Werkzeug aus der Hand des Produzenten in das technische System integriert. Die Dampfmaschine befreite ihn zugleich davon, die notwendige Operationsenergie zu liefern. Damit änderte sich die Stellung des Menschen im Produktionssystem grundlegend. Die Handarbeit wurde in großen Umfang durch die mechanisch-maschinelle Fertigung ersetzt.

Die wesentlichen technischen Innovationen sind die Entstehung des Maschinenbaus, als Grundlage für die Versorgung aller Wirtschaftszweige mit Werkzeugmaschinen, die Entwicklung neuer Technologien der Eisen- und Stahlproduktion auf der Basis von Kohle, Formstahl- und Walzverfahren, der Beginn der Durchführung chemischer Großprozesse (Soda, Schwefelsäure, Kalidünger, Zement), im Verkehrswesen die Erfindung der Eisenbahn.

Die **fünfte technische Revolution** fällt in die Gegenwart und wird als wissenschaftlich-technische Revolution bezeichnet. Sie führt zur Herausbildung der automatisierten maschinellen Produktionsweise. Sie überträgt wesentliche geistige Funktionen der menschlichen Produktionstätigkeit auf die Technik, setzt in größtem Maße menschliche Arbeitskraft frei und verändert die Struktur der menschlichen Arbeitstätigkeit gravierend.

Die wissenschaftlich-technische Revolution begann in der Mitte des 20. Jahrhunderts und ist noch nicht abgeschlossen. Ihr Charakteristikum ist das Zusammenfallen von Umwälzungen sowohl in der Technik als auch in der Wissenschaft. Die Ausarbeitung neue naturwissenschaftlicher Theorien wird zu einer integrativen Komponente der Entwicklung neuer Techniktypen. Sie revolutioniert alle Komponenten der Produktivkräfte: die technischen Systeme, die Bearbeitungstechnologien, die Arbeitsgegenstände und auch die Energiequellen.

Die wissenschaftlich-technische Revolution verändert die Funktionen des Menschen im Produktionsprozess vor allem durch die Übertragung geistig-intellektueller Arbeitstätigkeiten auf die technischen Systeme. Es entsteht ein neuer Techniktyp: das automatische Maschinensystem, dessen charakteristisches Merkmal die Integration eines informationsverarbeitenden Teilsystems (in Form des Steuerungs- und des Optimierungsorgans) ist. Dieser neue Techniktyp schafft zugleich die Voraussetzungen für die Entstehung zweier neuer Klassen technischer Systeme: die informationsverarbeitenden Systeme (Datenverarbeitungstechnik, Computer, Telekommunikationssysteme) und die Robotertechnik.

Als weiteres Umwälzungsmerkmal finden wir im Bereich der technologischen Bearbeitungsverfahren die umfassende Nutzung neuer Wirkprinzipien, die neben mechanischer und thermischer insbesondere auf

elektrischer, chemischer und Strahlungsenergie als Operationsenergie basieren (Laser-, Elektronenstrahl-, Plasmabearbeitung, Magnetumformen, Biotechnologien).

Die Arbeitsgegenstände werden um ganze Klassen neuer Werkstoffe und die Erschließung neuer Rohstoffe erweitert (Plaste, Elaste, Verbundwerkstoffe, Halbleitermaterialien, Whiskers, hochlegierte Stähle).

Auf dem Gebiet der Energiebereitstellung wird die Umwälzung durch die Erschließung der Kernenergie und die beginnende Nutzung der sog. alternativen Energien (Sonnenenergie, Windenergie) sowie durch neue Formen der Energienutzung charakterisiert.

3.4. Entwicklungsstufen technischer Systeme im historischen Prozess

Diese revolutionären Umwälzungen in der Technikentwicklung widerspiegeln sich in ganz charakteristischen Schritten der strukturellen Weiterentwicklung der technischen Systeme im historischen Prozess. Im Grunde lässt sich eine genetische Reihe der strukturellen Entwicklung technischer Systeme aufstellen. Das wesentliche Kriterium der jeweils erreichten höheren Entwicklungsstufe der technischen Systeme ist das Auftreten eines qualitativ neuen Strukturelements, d.h. einer qualitativ neuen Funktionsgruppe bzw. eines neuen Funktionsorgans, das Funktionen der bisher nur von Menschen selbst ausgeführte Arbeitsverrichtungen übernimmt.

So wurden durch die Differenzierung und Vervollkommnung der Werkzeuge die Funktionen und Wirkungsmöglichkeiten der menschlichen Hand vergrößert und zugleich die Produktivität der Bearbeitungsvorgänge wesentlich erhöht. Die Differenzierung des Faustkeils in Schaber, Bohrer, Messerklingen, Speerspitzen und Schlagwerkzeuge oder die Spezialisierung der Bohrwerkzeuge in Spiralbohrer, Zentrumsbohrer, Tellerbohrer, Scheibenbohrer, Senkbohrer, Forstnerbohrer bzw. der Handbohrgeräte in Nagelbohrer, Drillbohrer, Bohrwinde und Bohrknarre sind Ausdruck des Differenzierungsprozesses.

Die Einfügung von Transmissionsmechanismen bei Geräten (armverlängernde Hebel, kraftsparende Getriebe, kraftausgleichende Schwungräder) erhöhten die Kraftwirkung des menschlichen Armes und seinen Wirkungsradius. In der gespannten Sehne eines Bogens konnte menschliche Energie gespeichert und im Moment der Freigabe auf den Pfeil übertragen werden.

Einen weiteren Entwicklungsschritt stellte die Einführung des Führungs- und des Positionierungsorgans in das technische System dar. Sie entlasteten die menschliche Hand teilweise von Aufgaben zur Positionierung und Fixierung von Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand. Die fußgetriebene Nähmaschine besitzt ein Führungsorgan für die Nadel und den Schlaufenbildungsmechanismus, zugleich wird das textile Material unter der Nadel durch das Positionierungsorgan fortbewegt.

Mit der Einführung eines Antriebssystems in technische Einrichtungen (dem Antriebsorgan) erreichen die technischen Systeme eine nächste Niveaustufe ihrer Entwicklung. Nun übernimmt das technische System die Lieferung der Operationsenergie. Das Aufkommen von Antriebsmechanismen (Wind- und Wasserräder, Dampfmaschinen, Verbrennungs- und Elektromotoren) charakterisiert das Entstehen von Maschinen, die die menschliche Arbeitskraft von der Notwendigkeit befreiten, die Operationsenergie selbst zu liefern.

Die Steuerungsmechanismen in automatischen Maschinen befreiten den Menschen schrittweise und in steigendem Umfang von den unmittelbaren Steuerungsfunktionen im Arbeitsprozess. Sie ermöglichten, einen vorher festgelegten Prozessverlauf ohne weiteren menschlichen Eingriff zu realisieren.

Mit der Einführung von Optimierungsorganen (z.B. in Form von Prozessrechnern) , die nicht nur im Voraus festgelegte Prozessabläufe selbständig und ohne menschliches Eingreifen realisieren können, sondern als lernfähige Systeme sich ändernde Prozessbedingungen berücksichtigen und den Prozessablauf optimieren können, wurde weiterer Schritt der Ablösung des Menschen aus dem unmittelbaren Produktionsprozess vollzogen und das Tor zur automatischen Fabrik geöffnet.

Letztlich bleibt dem Menschen bei aller Ausschöpfung der gegenwärtig überschaubaren Möglichkeiten des Technikeinsatzes die Zielfestlegung der Techniknutzung. Die aber ist a priori nicht auf die Technik übertragbar, denn die Technik war und ist ihrem Wesen nach das von ihm geschaffene Mittel, seine Ziele zu realisieren. Die Übertragung dieser Zielsetzung auf die technischen Systeme erfolgt entweder durch direktes menschliches Einwirken oder über die vom Menschen ausgearbeiteten Programme (Software) für die Steuerungssysteme.

Dem Menschen erwuchsen mit jedem dieser revolutionären Fortschritte der Technik Kräfte, die die natürlichen Möglichkeiten seiner eigenen physischen und psychischen Kräfte weit übertrafen. Sie erleichterten ihm die Arbeit, erhöhten meist sprunghaft die Produktivität der Arbeit und eröffneten jeweils neue Dimensionen für den Prozess seiner individuellen und gesellschaftlichen Lebensreproduktion, der umfassenderen Bedürfnisbefriedigung und der immer größeren Naturbeherrschung.

Insgesamt münden diese Überlegungen in ein genetisches Maschinenmodell oder besser einem genetischen Modell der historischen Vervollkommnung technischer Systeme. Die Folge der Funktionserweiterung der technischen Systeme im historischen Gang und die sich daraus ergebenden Strukturniveaus der Technik lässt sich aus Abbildung 3.2. ersehen.

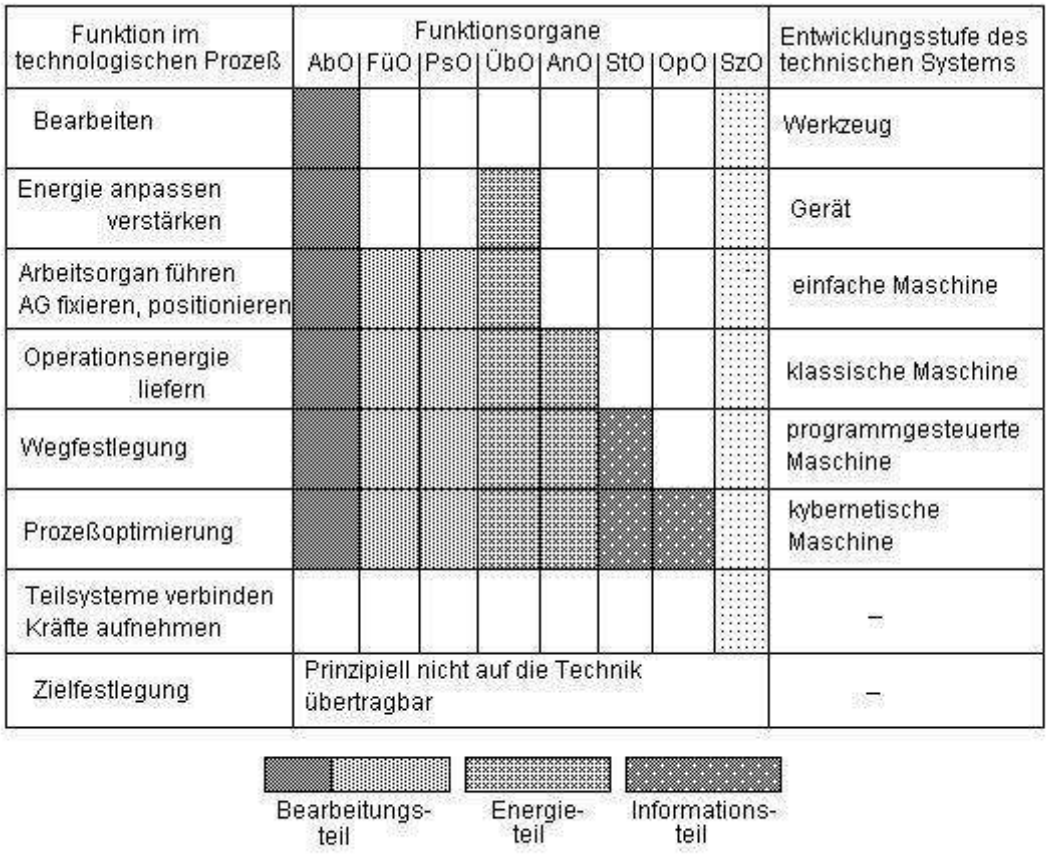


Abb. 3.2. Übertragung menschlicher Arbeitsfunktionen auf die Technik durch Einführung entsprechender Funktionsorgane

In diesem Modell konkretisiert sich eines der grundlegenden Entwicklungsgesetze der Technik: der Trend zum Ersatz menschlicher Kraft durch Naturkräfte. Es veranschaulicht, dass technischer Fortschritt sich allgemein als Zurücktreten menschlicher Arbeit hinter die Arbeit von technischen Systemen, als die zunehmende Übertragung menschlicher Arbeitsfunktionen sowohl physischer wie auch geistiger Art auf die Technik, als schrittweise Herauslösung des Menschen aus dem unmittelbaren Produktionsprozess vollzieht. Die Technik wurde damit in umfassendem Sinne zur Mittel zur Verlängerung, Ergänzung und Verstärkung der menschlichen Organe.

Abbildung 3.3. veranschaulicht die Organstruktur der verschiedenen historischen Entwicklungsstufen der Technik.

Natürlich ist dieses Modell eine sehr weitgehende Abstraktion. Die konkrete Entwicklung verlief nicht in dem Sinne linear, dass jeweils eine Stufe auf die andere folgte. Diese Stufenfolge gilt nur für die Technikentwicklung als Ganzes. Im historischen Prozess lassen sich im Einzelnen sehr komplexe Bahnen auffinden. So lässt sich z.B. bei einzelnen Typen technischer Systeme die Vorwegnahme höherer Funktionsorgane auf früheren Stufen der Technikentwicklung nachweisen, ohne dass sie aber allgemeine Anwendung fanden und damit von weitreichender Auswirkung auf die Produktionsweise waren. Das gilt insbesondere für die Vor-

wegnahme des Steuerungsorgans. Beispiele dafür sind u.a. die Schwippgalgenfalle, der Jaquardwebstuhl (1805), die Drehorgel (18. Jhdt.) und die frühen mechanischen Rechenmaschinen.

Trotzdem sind die herrschenden Entwicklungsstufen der Technik im Verlauf der Geschichte der Produktivkräfte aber deutlich erkennbar. In diesem Zusammenhang darf allerdings auch nicht übersehen werden, dass eine neue Entwicklungsstufe der Technik nicht zur Aussonderung der vorhergehenden Technik führte. Die Technikentwicklung ist durch das Weiterbestehen und die Fortnutzung aller ihrer Entwicklungsstufen gekennzeichnet. Auch im Zeitalter automatischer Maschinensysteme haben Werkzeuge, Geräte und klassische Maschinen ihren Platz, nur dass sie nicht mehr das Gesicht der technologischen Produktionsweise bestimmen.

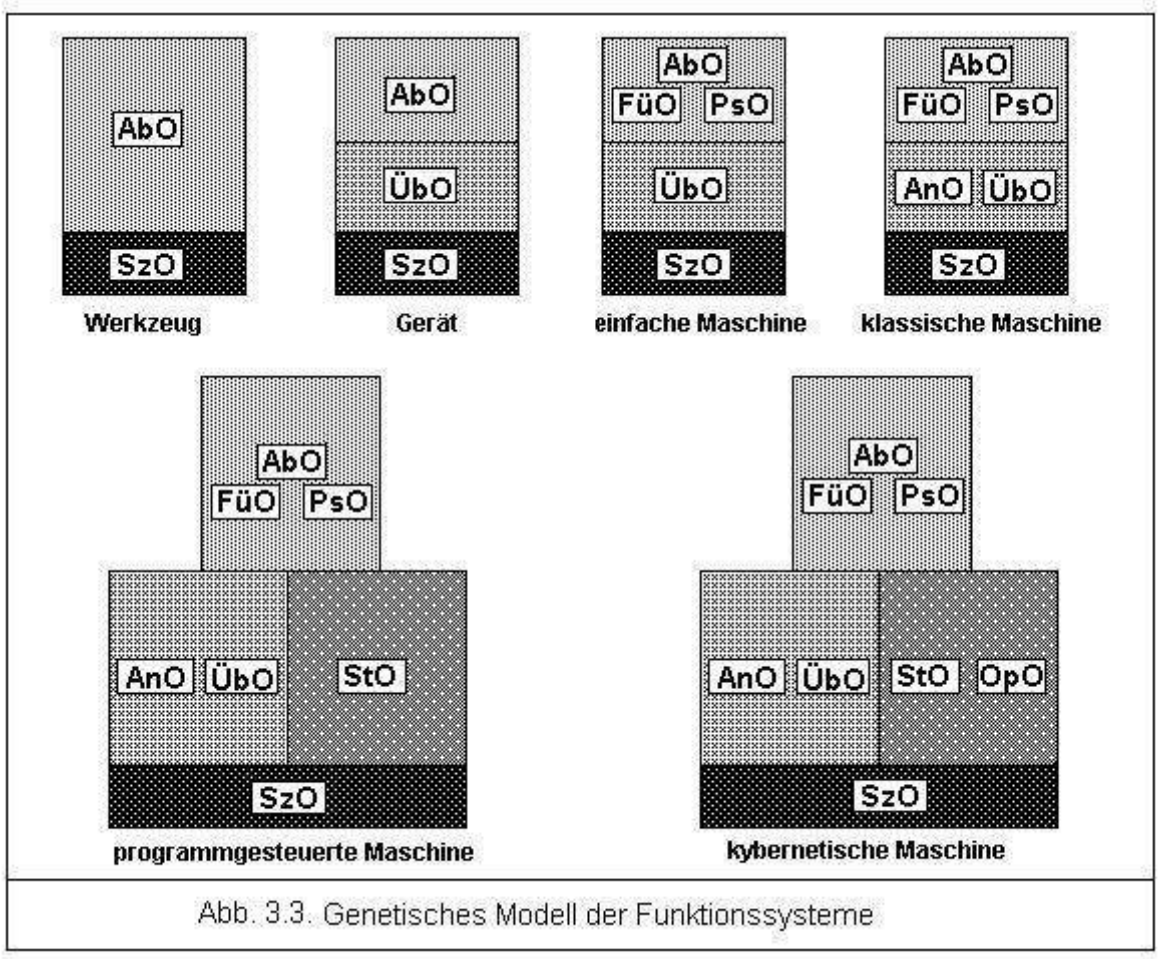


Abb. 3.3. Genetisches Modell der Funktionssysteme

3.5. Allgemeine Prinzipien der Strukturierung und Organisation technischer Systeme in der Technikevolution

Analysiert man die Technikentwicklung hinsichtlich möglicher Evolutionsschritte bei der Herausbildung höherer Strukturen technischer Systeme, so lassen sich eine Reihe immer wiederkehrender und in allen Bereichen der Technik anzutreffende Strukturierungs- und Organisationsprinzipien auffinden. Ihnen liegen offensichtlich allgemeinste Strukturbildungs- und Organisationsprinzipien zugrunde, die auch bei evolutionierenden Systemen in anderen Bereichen der Wirklichkeit auftreten.

Wir folgen in der nachfolgenden Auflistung solcher Evolutionsprinzipien wiederum REICHEL (Lit. 3.8.) und nennen jeweils einige Beispiele aus dem Bereich der Technik. Die angeführten Prinzipien stellen eine Auswahl dar und sind keine allgemeingültige Aufeinanderfolge.

- Prinzip der Aggregation gleichartiger Funktionselemente (Übergang vom Schaber zur Feuersteinsäge, Eimerschöpfwerke, Vielscharpflug, Schneidwerke von Mähmaschinen, Flaschenzug, Mehrzylindermotor, Sägegatter, Kettensäge, Masselgießmaschine, Vielpol-Generatormaschine, Spinnmaschinen, Strickmaschinen, Akkumulatorbatterie, Doppeldeckerflugzeug, Speicherchips der Informationstechnik)

- Prinzip der strukturellen Differenzierung und funktionellen Spezialisierung technischer Systeme (funktionelle Spezialisierung des Faustkeils in Schaber, Messer, Bohrer, Beil, Säge; strukturelle Differenzierung der Drehmaschinen in Plan-, Spitzen-, Karusselldrehmaschinen ; Funktionsdifferenzierung von Leit-, Lauf- und Treibrädern bei Lokomotiven)
- Prinzip der Parallelverarbeitung (Wirkungsweise der Mehrspindelbohrmaschine, Fernsprechvermittlungsamt, parallele Datenverarbeitung)
- Prinzip der hierarchischen Aufteilung der Gesamtfunktion auf mehrere Funktionsebenen (Organstruktur technischer Systeme, dreigeteiltes Maschinensystem mit Dampfmaschine, Transmissionsmechanismus und Arbeitsmaschine, Computerarchitektur, Speicherhierarchie in Rechnern)
- Prinzip der Funktionsintegration (Nähwirktechnik, Extrudertechnologie, Streckspinnen von Chemiefasern, Flüssigpressen von Metallen, integrierte Schaltungen in der Mikroelektronik)
- Ausbildung redundanter Strukturen (Tragsystem in einer Säulenhalle, Äquadukte, mehrmotorige Flugzeuge, unabhängige Bremssysteme in Fahrzeugen)
- Ausbildung einer synchronen Rhythmik bei gekoppelten Teilprozessen (Ziegelbrennofen, Winderhitzerbatterien in Hochofenwerken, Nähmaschinentechnologie, Fließbandtechnologien)

Nach REICHEL werden solche Evolutionsschritte immer dann zwingend durchlaufen, wenn ein evolutionierendes System hinsichtlich seiner Komplexität und Kompliziertheit ein kritisches Niveau überschreitet, das die Systemstabilität gefährdet. Sie dienen alle mehr oder weniger der Erhaltung der Systemstabilität bei sich verändernden Anforderungen. Wenn beispielsweise die Kompliziertheit eines technischen Systems einen solchen Grad erreicht, dass seine Zuverlässigkeit ein vertretbares Maß unterschreitet, so lässt sich dieses Problem durch die hierarchische Strukturierung oder auch durch Einfügen redundanter Strukturelemente lösen. Letztlich weisen diese Zusammenhänge auf die Existenz von Eigengesetzlichkeiten der Technikevolution hin, nach denen für jedes Struktur- und Funktionsniveau der Technik bestimmte vorher ausgebildete Evolutionsmerkmale (insbesondere hinsichtlich Zuverlässigkeit, Arbeitsgeschwindigkeit, Durchsatzkapazität, Umrüstungsaufwand, Integrationsgrad usw.) erforderlich sind.

3.6. Haupttendenzen der Technikevolution in der Gegenwart

Die gegenwärtigen Entwicklungstendenzen der Technik werden in ihrer Grundrichtung zweifellos durch die sich vollziehende wissenschaftlich-technischen Revolution geprägt. Sie umfassen zugleich revolutionäre und evolutionäre Prozesse. Sie betreffen in beiden Formen alle Faktoren der materiellen Produktivkräfte, d.h. sowohl die technischen Systeme, die Bearbeitungstechnologien, die Arbeitsgegenstände und die Energienutzung.

Die ausgeprägteste und wesensbestimmende qualitative Entwicklungstendenz im Bereich der technischen Systeme ist zweifellos die *Entstehung und Ausbreitung eines neuen Techniktyps*: der automatischen Maschinensysteme. Die automatischen Maschinensysteme stellen insofern einen gegenüber der bisherigen Technik qualitativ neuen Techniktyp dar, als sie weitere menschliche Arbeitsfunktionen (die geistig-intellektuelle Komponente) technisierbar machen. Diese Entwicklung ist unlöslich mit den informationsverarbeitenden Systemen verbunden.

Die informationsverarbeitende Technik wird in zwei Formen technisch wirksam. Die erste Form ist ihre Integration in die Prozesstechnik. Die stoff- und energieändernden Systeme erhalten in diesem Fall als weiteres Strukturelement einen Informationsteil, der je nach Entwicklungsgrad ein Steuerungs- und ein Optimierungsorgan umfasst. Dabei entstehen sich selbst steuernde und optimierende Systeme. Sie werden sowohl als Einzelsysteme (NC- und CNC-gesteuerte Werkzeugmaschinen) wie auch zunehmend als verkettete und vernetzte Produktionssysteme (automatische Fertigungsstraßen, Bearbeitungszellen, flexible Bearbeitungssysteme) entwickelt.

Die zweite Form ist die *Technik der Informationsverarbeitung*, in der die Information selbst zum Arbeitsgegenstand wird. Ihre Funktion besteht in der Bewältigung der riesigen und weiter anwachsenden Datenflut in der modernen Gesellschaft. Anwendungsfelder dieser Technik sind alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens, vor allem die produktionsvorbereitenden Bereiche (CAD), die Verwaltung (Nutzung von Daten zur Dokumentation, Information, Planung, Bilanzierung, Leitung), die Wissenschaft und die Massenkommunikationsmedien. Typische Erscheinungsformen dieser Technik sind die Computer, die Datenbanken und Telekommunikationssysteme.

Die informationsverarbeitende Technik macht eine neue Klasse von technischen Systeme möglich: die *Robotertechnik* (s. auch Kap. 33). Ihre Umwälzungsfunktion in der Technikentwicklung resultiert daraus, dass sie bisher nicht in technische Bearbeitungssysteme integrierbare Handhabeoperationen zur Werkzeugführung und Manipulation von Arbeitsgegenständen ermöglichen. Sie eröffnen damit neue Möglichkeiten für die Automatisierung insbesondere von Montageprozessen und in der Kleinserienfertigung, indem sie „Restfunktionen" der menschlichen Hand auf die Technik übertragen. Industrieroboter reproduzieren die wesentlichen Bewegungsabläufe der menschlichen Hand einschließlich der dazu notwendigen Informations- und Steuerungsprozesse. Typische Einsatzformen der Robotertechnik sind Beschickungsroboter für die Handhabung von Material und Vorrichtungen, technologische Roboter zur Werkzeugführung, Montageroboter und Transportroboter.

Die grundlegenden Entwicklungstrends auf dem Gebiet der Technologien werden durch die *Schlüsseltechnologien* charakterisiert. Darunter verstehen wir neuartige technologische Prozesse auf der Basis neuer Wirkprinzipien und qualitativ neuer Technik mit revolutionierender Wirkung für die technologische Produktionsweise. Zu den Schlüsseltechnologien sind zu zählen: die Informationsverarbeitungstechnologien, Technologien auf der Basis nichtmechanischer (thermischer, elektrischer, optischer, chemischer, physikalischer und elektronischer) Wirkprinzipien, die Biotechnologien und die Ökotechnologien (s. auch Kap. 4.4.).

Die Umwälzungen auf dem Gebiet technischer Systeme und der Schlüsseltechnologien sind an qualitative Weiterentwicklungen auch der Werkstoffbasis gebunden. Die Entwicklung ist durch die Schaffung neuartiger Werkstoffklassen (Plaste, Elaste, kristalline Polymere, Verbundwerkstoffe, Glaskeramiken, Sintermetalle, pulvermetallurgische Werkstoffe, amorphe Werkstoffe, Halbleiterwerkstoffe, magnetische und optoelektronische Werkstoffe, Reinststoffe), durch das schnelle Anwachsen der Zahl einsetzbarer Werkstoffe, die hinsichtlich ihrer vielfältigen Kennwerte und Einsatzmöglichkeiten bereits heute nur noch mit großen Datenbanken überschaubar gemacht werden können, und durch die auf der Basis der hoch entwickelten Festkörperphysik und Werkstoffwissenschaft weiterentwickelten Bearbeitungs- und Gebrauchseigenschaften der bekannten Massenwerkstoffe (korrosionsgehemmte Stähle, höherfeste Baustähle, oberflächenvergütete Bleche) gekennzeichnet. Zunehmende Bedeutung kommt den Sekundärrohstoffe insbesondere im Hinblick auf die Ausbildung weitgehend geschlossener technologischer Materialkreisläufe zu.

Die durchgängige Technisierung erfordert neue Dimensionen der Energiebereitstellung. Dabei geht neben der rationelleren Gebrauchsenergiebereitstellung aus traditionellen Energieträgern um die Erschließung neuer Energiepotentiale. Sie liegen in der Erschließung sicherer Technologien der Kernenergienutzung und in der Nutzung regenerativer Energiequellen.

Über die bisher angeführten allgemeinen Trends der Einführung und Ausbreitung qualitativ neuer Elemente in der gegenwärtigen Technikevolution hinaus lassen sich eine Reihe grundlegender Trends angeben, die auch die Höherentwicklung der traditionellen Technik betreffen. Sie finden ihre Triebkräfte vor allem in wirtschaftlichen Forderungen der rationelleren Gestaltung technischer und technologischer Systeme.

Auf dem Gebiet der technischen Systeme zeichnen sich als Entwicklungstrends ab:

- der Trend zur Kapazitäts- bzw. Maßstabsvergrößerung profilbestimmender Produktionsanlagen
- der Trend zur Verkleinerung und Miniaturisierung technischer Systeme
- der Trend zur qualitativen Weiterentwicklung der Arbeitsorgane zur Erhöhung der Leistungsparameter
- der Trend zur Vergrößerung der aktiven Flächen der Arbeitsorgane

Für die technologischen Vorgänge werden als allgemeine Trends sichtbar:

- der breite Übergang zu kontinuierlichen Prozessen (Fließprozesse)
- der Trend zur Verkürzung der technologischen Kette
- der Trend zur Stabilisierung technologischer Systeme
- der Trend zur variablen Gestaltung technologischer Systeme

Bei den Arbeitsgegenständen zeichnen sich ab:

- der Trend zur Verbesserung der Bearbeitungseigenschaften zur Senkung der Materialintensität
- der Trend zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften

Für die Energienutzung lassen sich als Entwicklungstrends angeben:

- der Trend zur Erhöhung der Energiedichte an der Wirkstelle zur Verringerung der Energieintensität der technologischen Vorgänge

- der Trend zur Nutzung der Operationsenergie als unmittelbares Arbeitsmittel
- der Trend zur Nutzung von Sekundärenergien
- der Trend zur Nutzung energetisch effektiverer Wirkprinzipien

Literatur

3.1 B. Brentjes / S. Richter / R.Sonnemann: Geschichte der Technik; Leipzig 1978
3.2 Autorenkollektiv: Allgemeine Geschichte der Technik, Bd. I und II ; Leipzig 1981 und 1984
3.3 Autorenkollektiv: Industrielle Produktionstechnik; Berlin 1979
3.4 A.A. Sworikin / N.I. Osmowa / W.I.Tschernyschew / S.W. Schuchardin: Geschichte der Technik; Leipzig 1964
3.5 F. Klemm: Geschichte der Technik: Hamburg 1983
3.6 W. Jonas / V. Linsbauer / H. Marx: Die Produktivkräfte in der Geschichte 1; Berlin 1969
3.7 G. Banse / S. Wollgast: Biographien bedeutender Techniker; Berlin 1983
3.8 R. Reichel: Dialektisch-materialistische Gesetzmäßigkeiten der Technikevolution; Berlin1984
3.9 Autorenkollektiv: Geschichte der Technikwissenschaften; Basel/Boston/Berlin1990
3.10 J. Kuczynski: Vier Revolutionen der Produktivkräfte; Berlin 1975
3.11 H. Nick: Wissenschaftlich-technische Revolution - historischer Platz, Entwicklungsetappen, soziales Wesen; Berlin 1983
3.12 Autorenkollektiv: Wissenschaftlich-technische Revolution und Gesellschaft; Moskau / Leipzig 1976
3.13 S. Buchhaupt (Herausgeber): Gibt es Revolutionen in der Geschichte der Technik? Tagungsband zum Workshop am 20. Februar 1998 anlässlich der Emeritierung von Akos Paulinyi. Darmstadt 1999

Zweites Buch – TECHNOLOGIE

I. Teil ALLGEMEINE TECHNOLOGIE

4. Allgemeine Technologie als Disziplin der Technologiewissenschaften

4.1. Herausbildung und historische Entwicklung der Technologie als Wissenschaft

Die unübersehbare Rolle der Technologie in den gegenwärtigen Umwälzungsprozessen der Produktivkräfte hat das Interesse an der Wissenschaft Technologie sehr gefördert. Die Technologie ist eine noch verhältnismäßig junge Wissenschaftsdisziplin, obwohl die technologische Tätigkeit des Menschen so alt ist wie die Menschheit selbst. Aber solange die Erzeugung materieller Güter ausschließlich auf Handarbeit beruhte - also in allen vorindustriellen Produktionsweisen - und die einzelnen Produkte in all ihren Bearbeitungsstufen von *einem* Produzenten erzeugt wurden, war die Kenntnis des technologischen Prozesses ebenso untrennbarer Bestandteil der Arbeitserfahrung der Produzenten wie die Fertigkeiten in der Handhabung der Arbeitsinstrumente und die zweckmäßige Nutzung der Werkstoffeigenschaften.

Die Handwerker verbesserten die Herstellungsverfahren in kleinen, oft unmerklichen Schritten und überlieferten ihre Erfahrungen - und damit ihr technologisches Wissen - von Generation zu Generation. Das geschah mündlich und im praktischen Handwerksprozess. Oft waren neuartige Herstellungsverfahren streng gehütetes Geheimnis der Zünfte und Gilden zur Wahrung eigener Marktvorteile.

Mit dem Aufkommen der Manufaktur veränderte sich die Situation wesentlich. Die sprunghaft zunehmende Arbeitsteilung wies dem einzelnen Produzenten nur noch Teiloperationen im Gesamtprozess zu. Er verlor damit die objektive Basis für die Sammlung umfassender technologischer Erfahrungen. Die technologische Erfahrung wurde vom unmittelbaren Produzenten getrennt. Die Herausbildung der Wissenschaft Technologie wurde ein objektives Erfordernis.

Wenn auch die detaillierte Erforschung der Geschichte der Technologie als Wissenschaft (besonders die der frühen Phasen) noch in den Anfängen steckt, so lassen sich doch fünf in ihrem Inhalt deutlich unterscheidbare Entwicklungsphasen angeben (Tabelle 4.1.).

Die *erste Entwicklungsphase* umfasst die Zeit vom 16. Jahrhundert bis zur zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts. In ihr konstituierte sich die Technologie als eine beschreibende Lehre. Im 15. Jahrhundert setzte eine stürmische Entwicklung zahlreicher Gewerbe in Europa ein. Bergbau und Hüttenwesen entwickelten sich schnell. Die Bautechnik erfuhr in der Renaissance einen großen Aufschwung und der seit Mitte des 15. Jahrhunderts steigende Bedarf an chemischen Erzeugnissen (Schießpulver, Alkohol, Säuren, Glas, Keramik, Porzellan, Soda, Borax, Pottasche) führte zu einem Aufblühen der chemischen Gewerbe und der Textilherstellung. Damit wurde auch die literarische Überlieferung des technologischen Wissens begründet.

L. B. ALBERTIS verfasste mit den "Zehn Büchern über die Baukunst" (Florenz, 1450 bis 1485) (Abb.4.1.) die erste gedruckte Baulehre der Renaissance, vom Waffentechniker und Metallurgen V. BIRINGUCCIO stammt das erste Lehrbuch der chemischen und metallurgischen Technologie und des Artilleriewesens "De la Pirotechnica" (1540), G. AGRICOLA schuf die umfassende Enzyklopädie über Bergbau und Hüttenwesen "De re metallica" (12 Bände, Basel 1556) (Abb.4.2.), A. LIBAVIUS legte in seinem Buch "Alchemia" mit den Teilen "Encheria" und „Chymia“ (1597) erstmalig ein gegliedertes Begriffssystem chemisch-technologischer Verfahren vor und T. GARZONI veröffentlichte das berühmte Werk "Allgemeiner Schauplatz, Markt und Zusammenkunft aller Professionen, Künste, Geschäfte, Händel und Handwerke"(1659). In die Reihe der hervorragenden Publikationen dieser Epoche gehört auch das „Theatrum machinarum „ (1724) von J. Leupold, das zahlreiche bedeutende Techniker und Erfinder dieser Zeit stark beeinflusst hat und das Maßstäbe für das Klassifikationssystem der Entstehende Maschinenkunde legte.

Zeitraum	a) Charakteristik der Phase b) Hauptvertreter / Hauptwerke
I. *Vorwissenschaftliche Periode* 16.Jhdt. bis 2.Hälfte des 18.Jhdts.	a) Empirische Beschreibung des im Produktionsprozeß akkumulierten technischen und technologischen Wissens b) Agricola "De re metallica" (1556) Garzoni "Allgemeiner Schauplatz..." (1659) Halle "Werkstätte der heutigen Künste..." (1771-1779)
II. *Herausbildung der Technologie als Wissenschaft* 2.Hälfte des 18.Jhdts. bis 1.Viertel des 19.Jhdts.	a) Formulierung des Technologiebegriffs, systematische Ordnung des technologischen Wissens der Zeit, Übergang von der beschreibenden zur begründenden Methode b) Beckmann "Anleitung zur Technologie" (1777) Marx "Das Kapital" (1.Band, 13.Kap.) (1867) Poppe "Handbuch der Technologie" (1806-1810) Hermstädt "Grundriß der Technologie" (1815)
III. *Konsolidierung der technologischen Wissenschaft* 1.Viertel bis Ende des 19.Jhdts.	a) Entstehung von Erzeugnistechnologien (mechanische, chemische, landwirtschaftliche Technologie) b) Karmarsch "Handbuch der mechanischen Technologie" (1837) Schubarth "Handbuch der technischen Chemie" (1831-1832) Otto "Lehrbuch der rationellen Praxis landwirtschaftlicher Gewerbe" (1838)
IV. *Klassische Periode* Ende des 19.Jhdts. bis Mitte des 20.Jhdts.	a) Vorgangsorientierte Betrachtungsweise, vergleichende Analyse der Bearbeitungsvorgäng; Entstehung der Vorgangstechnologien (Fertigungs-, Verafahrens-, Verarbeitungs-, Fördertechnologien) b) Badger/McCabe "Elemente der Chemie-Ingenieur-Technik" (1932) Kienzle "Die Grundpfeiler der Fertigungstechnik" (1956)
V. *Moderne Periode* ab Mitte des 20.Jhdts.	a) Komplexe Systemanalyse, Entstehung einer allgemeinen Theorie, Aufdeckung allgemeiner Strukturen und Prinzipien, Formulierung grundlegender Gesetze, Entwurf eines einheitlichen Kategoriengebäudes b) Ropohl "Eine Systemtheorie der Technik" (1979) Wolffgramm "Allgemeine Technologie" (1978) "Allgemeine Techniklehre" (4 Bände 1994/1997)

Tabelle 4.1. Entwicklungsphasen der Wissenschaft Technologie

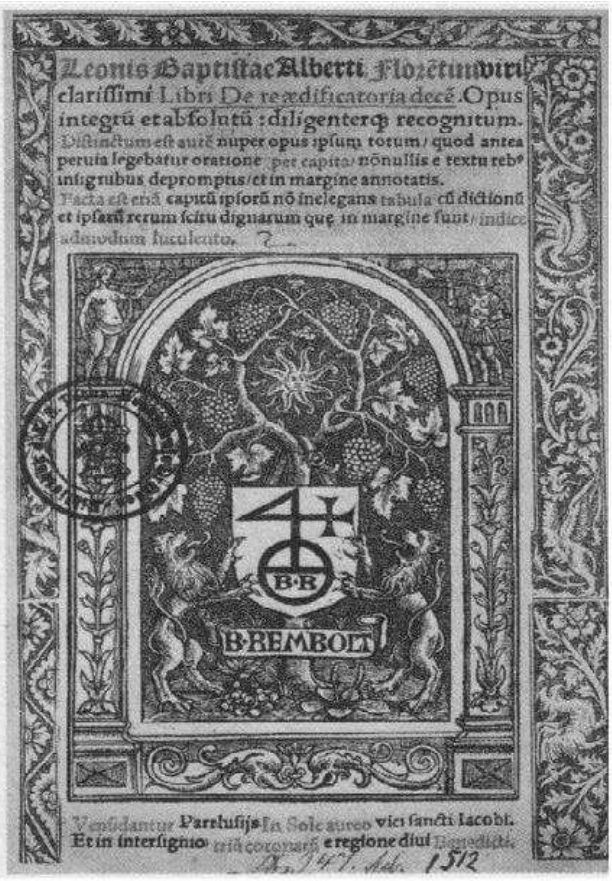


Fig. 4.1. Title page toL. Albertis "Ten books about the architecture" Florenz 1585

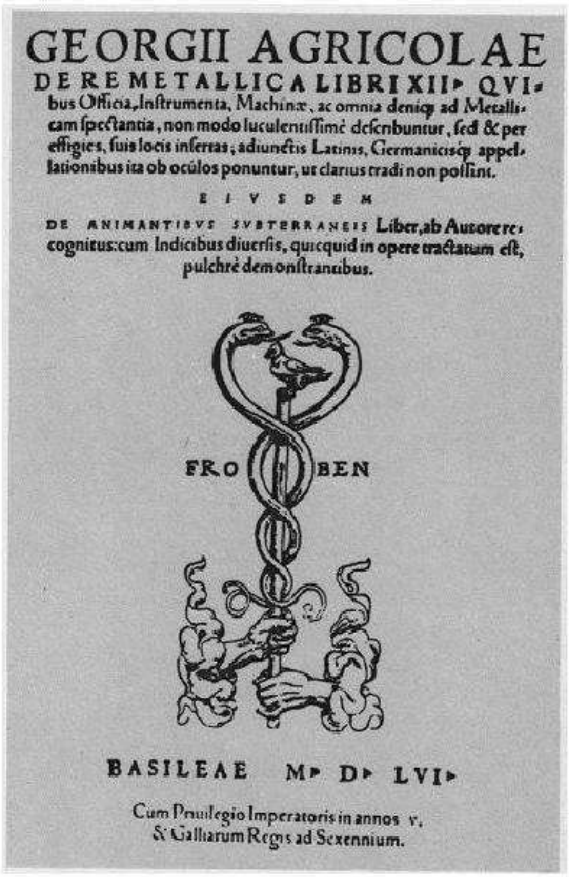


Fig. 4.2. Title page to G. Agricolas "De re metallica" Basel 1556

Auf Anregung und unter Leitung von REAUMUR begann die Pariser Akademie der Wissenschaften 1761 eine Sammlung ausführlicher Beschreibungen der verschiedenen Gewerbe, an der viele bedeutende französische Wissenschaftler mitwirkten (Abb.4.3.). Sie wuchs bis 1805 auf 21 Bände an und kam auch in deutscher Übersetzung heraus. Dieses Werk stellt die umfassendste Beschreibung handwerklicher Verfahren und technischer Mittel der Zeit vor der industriellen Revolution dar.

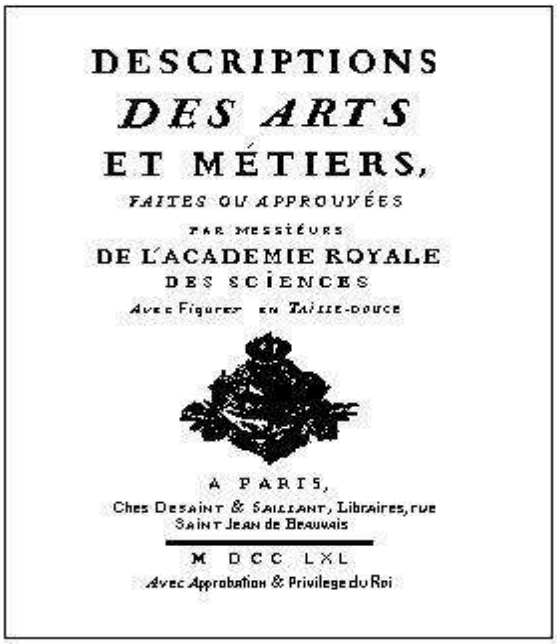


Abb. 4.3. Titelblatt der französischen technologischen Enzyklopädie des 18. Jahrhunderts

An eigenständigen deutschen Arbeiten dieser Zeit sei J. S. HALLEs "Werkstätte der heutigen Künste oder die neue Kunsthistorie" (6 Bände, 1761 bis 1779) erwähnt.

Die Bezeichnung "Technologie" wurde in dieser Periode für den Prozess der Herstellung materieller Güter noch nicht verwendet. Sie wurde bis zu dieser Zeit in einer vom heutigen Sprachgebrauch wesentlich abweichenden Sinngebung verwandt. Das Wort Technologie ist griechischen Ursprungs und bedeutet in wörtlicher Übersetzung "Kunst der Rede" (techne des logos). Im weiteren Sinne wurde es für die Fähigkeit verwandt, ein wissenschaftliches Problem kunstgemäß abzuhandeln.

Im Frühkapitalismus unterlag das Wort Technologie einem Bedeutungswandel im Sinne der "Kunst oder der Lehre von der Technik" - in Umkehrung der Wortzusammensetzung als "logos der techne". Man sprach in diesem Zusammenhang von der Wasserkunst, der Fahrkunst, der Schiffskunst und von den handwerklichen Künsten.

Das Verdienst, den modernen Technologiebegriff geprägt und damit die *zweite Entwicklungsphase* der Technologie eingeleitet zu haben, kommt dem Göttinger Professor für Ökonomie und Kameralwissenschaften, J. BECKMANN, zu. Er veröffentlichte 1777 seine "Anleitung zur Technologie" (Abb.4.4.). In ihr beschreibt er die Wege, wie aus "Naturalien" gebrauchsfähige Produkte erzeugt werden. Zugleich begründet er die Begriffswahl. "Ich habe es gewagt, *Technologie* statt der seit einiger Zeit üblichen Benennung Kunstgeschichte zu brauchen, die wenigstens ebenso unrichtig, als die Benennung Naturgeschichte für Naturkunde ist. Kunstgeschichte mag die Erzählung von der Erfindung, dem Fortgang und den übrigen Schicksalen einer Kunst oder eines Handwerks heißen; aber vielmehr ist die Technologie, welche alle Arbeiten, ihre Folgen und Gründe vollständig, ordentlich und deutlich erklärt"(Lit.1.2., S.18).

Unter Technologie versteht er die Wissenschaft, „welche die Verarbeitung der Naturalien" lehrt und..."in systematischer Ordnung gründliche Anleitung gibt, wie man zu eben diesem Endzweck, aus wahren Grundsätzen und zuverlässigen Erfahrungen, die Mittel finden und die bei der Verarbeitung vorkommenden Erscheinungen erklären und nutzen soll" (Lit.4.2.,S.17).

Aus der Geschichte der Wissenschaft ist uns bekannt, dass die Formulierung grundlegender Begriffe immer mit qualitativen Entwicklungsschritten der betreffenden Wissenschaftsdisziplin zusammenhing. Als Beispiele seien die Bestimmung des Massebegriffs in der Physik durch NEWTON und des Stoffbegriffs in der Chemie durch DALTON genannt. Deshalb gilt BECKMANN zu Recht als Begründer der Technologie. Er hat nicht nur ihren Gegenstand den Bedürfnissen der industriellen Produktion entsprechend bestimmt. Wir verdanken ihm auch den ersten erfolgreichen Versuch einer systematischen Erfassung und Ordnung des technologischen Wissens seiner Zeit. Diese Leistung lässt sich durchaus mit der Aufstellung des "systema naturae" für die Biologie durch LINNÉ (1735) vergleichen.

Wir finden bei BECKMANN aber auch bereits den Ansatzpunkt für spätere Entwicklungsabschnitte der Technologie in Ansätzen vorweggenommen. In dem 1806 veröffentlichten "Entwurf der allgemeinen Technologie" führt er Betrachtungsweisen in die Technologie ein, die sowohl den Schritt von der beschreibenden zur vergleichenden Methode als auch den Übergang von der erzeugnisorientierten zur vorgangsorientierten Betrachtung einleiteten. So enthält der "Entwurf der allgemeinen Technologie" eine Darstellung von 51 Klassen von "Verrichtungen" unabhängig von ihrem Vorkommen in einem bestimmten Produktionsprozess und -zweig. Er nennt z.B. Verfahren zur Zerkleinerung und Zerteilung der Stoffe (durch Spalten, Zerschneiden, Zerreißen, Zerreiben, Zerdrücken...) oder Methoden der Vereinigung oder Verbindung (durch Binden, Nähen, Leimen, Kitten, Nieten, Nageln, Schrauben...). Zur Ausprägung kam diese Betrachtungsweise allerdings erst am Ende des 19.Jahrhunderts als mit dem Übergang zur industriellen Großproduktion die objektiven Grundlagen für diese Art des Herangehens an technologische Sachverhalte gegeben waren.

Die schnelle Verbreitung dieses von BECKMANN geprägten Ansatzes einer neuen Wissenschaft erklärt sich aus den Bedürfnissen der sich in dieser Zeit entwickelnden industriellen Produktionsweise. Sie ermöglichte und erforderte die Entstehung der Technologie als Wissenschaft, nicht nur als eine beschreibende, die Produktionsabläufe lediglich abbildende Disziplin, sondern als eine die kausalen und finalen Zusammenhänge aufdeckende Wissenschaft.

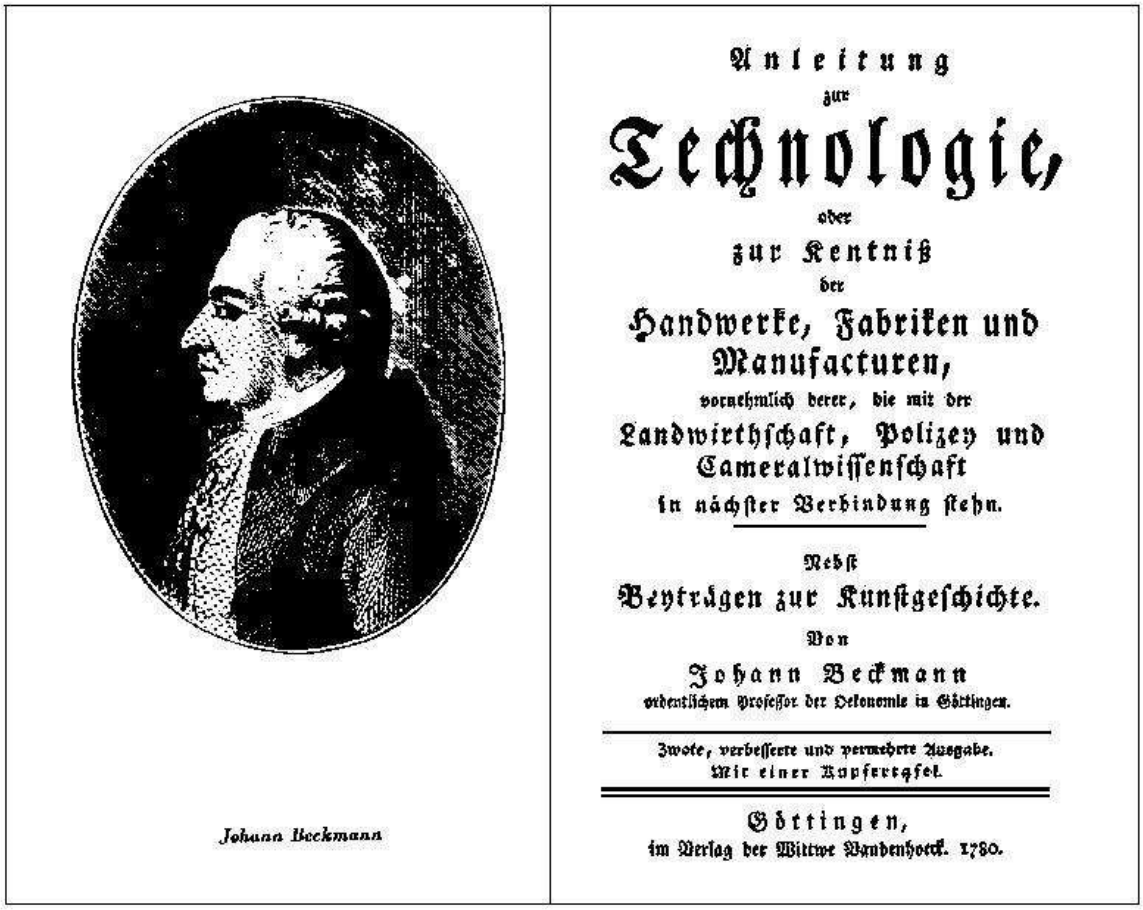


Abb. 4.4. Titelblatt der "Anleitung zur Technologie von J. Beckmann

KARL MARX hat als erster auf diesen Tatbestand hingewiesen. "Die große Industrie zerriss den Schleier, der den Menschen ihren eigenen Produktionsprozess versteckte und die verschiedenen naturwüchsig besonderten Produktionszweige gegeneinander und sogar dem in jedem Zweig Eingeweihten zu Rätseln machte. Ihr Prinzip, jeden Produktionsprozess an und für sich und zunächst ohne alle Rücksicht auf die menschliche Hand, in seine konstituierenden Elemente aufzulösen, schuf die ganz moderne Wissenschaft der Technologie. Die buntscheckigen, scheinbar zusammenhanglosen und verknöcherten Gestalten des gesellschaftlichen Produktionsprozesses lösten sich auf in bewusst planmäßige und je nach dem bezweckten Endeffekt systematisch besonderte Anwendungen der Naturwissenschaft. Die Technologie entdeckte ebenso die *wenigen großen Grundformen der Bewegung*, worin alles produktive Tun des menschlichen Körpers, trotz aller Mannigfaltigkeiten der angewandten Instrumente, notwendig hervorgeht, ganz wie die Mechanik durch die größte Komplikation der Maschinerie sich über die beständige Wiederholung der einfachen mechanischen Potenzen nicht täuschen lässt" (Lit.4.4., S.510).

Mit dem Übergang des Werkzeugs aus der Hand des Produzenten auf die Maschine, durch den der Übergang von der Manufaktur zur industriellen Produktionsweise wesentlich charakterisiert wird, war eine wichtige Veränderung hinsichtlich der Arbeitsteilung verbunden. Zwar übernahm das Fabriksystem im Prinzip die Arbeitsteilung von der Manufaktur. Während aber bei dieser die Grundlage der Arbeitsteilung subjektiver Natur war, weil sie auf dem individuellen Geschick des Einzelarbeiters beruhte, basierte sie bei jener auf objektiver, weil technischer Grundlage. Damit aber wurde der Produktionsablauf, das technologische Geschehen, der wissenschaftlichen Analyse zugänglich. Die industrielle Produktion schuf die objektiven Bedingungen für das Entstehen der Technologie als Wissenschaft.

Schüler BECKMANNs sorgten mit ihren Arbeiten für die Verbreitung und Vertiefung seiner technologischen Auffassungen. Besonders zu nennen sind in diesem Zusammenhang J. H. HOPPE und S .F. HERMSTÄDT.

Die *dritte Entwicklungsphase* der Technologie kann man als Phase der Konsolidierung und inneren Ausgestaltung charakterisieren. Sie nimmt den Zeitraum von 1830 bis zum Ende des 19.Jahrhunderts ein. Zusammen mit der Entwicklung der kapitalistischen Industrie bildete sich im Verlauf des 19.Jahrhunderts eine Rei-

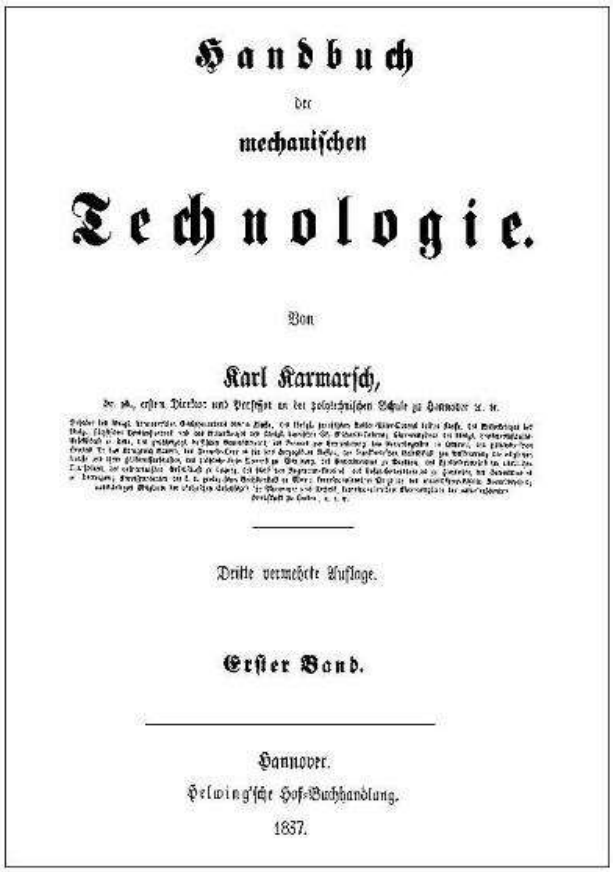
he spezieller technologischer Disziplinen heraus, wie die mechanische Technologie, die chemische Technologie, die landwirtschaftliche Technologie und Anfänge der Elektrotechnologie. Wichtige Vertreter dieser Periode sind J. J. PRECHTL (Technologische Enzyklopädie, 20 Bände, 1830 bis 1869), E. L. SCHUBARTH (Handbuch der technischen Chemie, 1831 bis 1833), F. KNAPP (Lehrbuch der chemischen Technologie, 1847) (Abb.4.5.)und J. F. OTTO (Lehrbuch der rationellen Praxis der landwirtschaftlichen Gewerbe, 1838).

Die einzelnen technologischen Disziplinen entwickelten sich verhältnismäßig unabhängig voneinander. Es kann auch noch nicht von Bemühungen um die wissenschaftliche Gestaltung der im Wesentlichen empirisch gewachsenen Produktionsprozesse als Ganzes gesprochen werden. Das Interesse war auf die einzelnen Bearbeitungsvorgänge, d.h. auf die Elemente des technologischen Systems, gerichtet.

Einen Höhepunkt findet die Entwicklung der Technologie als Wissenschaft in dieser Phase in den Arbeiten von K. KARMARSCH. In dem 1837 veröffentlichten "Handbuch der mechanischen Technologie (2 Bd.)" (Abb. 4.6.) fasst er das technologische Wissen seiner Zeit zusammen und entwickelte es wesentlich weiter. Er unterscheidet bereits zwischen allgemeiner und spezieller Technologie, begründet die mechanische und die chemische Technologie und betrachtet die wissenschaftliche Erforschung des Produktionsprozesses und die systematische Darstellung seiner Elemente als Hauptaufgabe der Technologie.

Lehrbuch
der
chemischen Technologie,
zum
Unterricht und Selbststudium
bearbeitet
von
Dr. F. Knapp,
In zwei Bänden.
Erster Band.
Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzstichen.
Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1847

Abb. 4.5. Titelblatt des ersten Lehrbuches der chemischen Technologie (F. Knapp 1847). Es wurde zum Ausgangspunkt für die klassische Lehre der chemischen Technologie

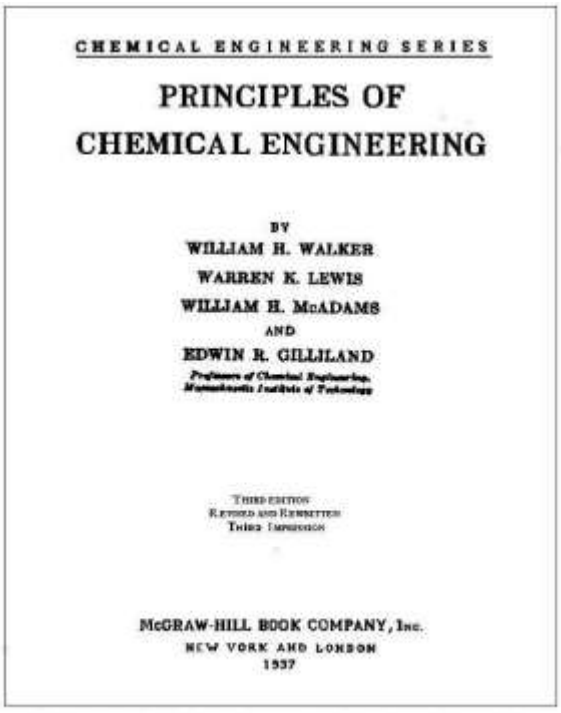


Handbuch
der
mechanischen
Technologie.
Von
Karl Karmarsch,
Dritte vermehrte Auflage.
Erster Band.
Hannover.
Helwing'sche Hof-Buchhandlung.
1837.

Abb. 4.6. Titelblatt des "Handbuches der mechanischen Technologie" von K. Karmarsch (1837). Mit ihm wurde die mechanische Technologie als eigenständige Wissenschaftsdisziplin begründet.

Eine *vierte Entwicklungsphase* der Technologie beginnt mit dem Aufkommen der industriellen Großproduktion und reicht bis in die Mitte des 20.Jahrhunderts. Durch die schnelle Verbreitung des Elektromotors, der den Einzelantrieb der Maschinen ermöglichte und den schwerfälligen Maschinenantrieb durch eine zentrale Dampfmaschine und aufwendige Transmissionen überwand, wurden neue technologische Lösungen für die Gestaltung der Produktionsprozesse möglich. Der elektrische Einzelantrieb beseitigte die bis dahin bestehenden technischen Begrenzungen für die Entwicklung verketteter Maschinensysteme. Damit war der Weg für die Fließ- und Massenfertigung und für chemische Großsynthesen frei. Diese umwälzende Veränderung der Produktionsprozesse wurde weniger durch die technische Weiterentwicklung der Maschinen als vielmehr durch die technologische Revolutionierung des Produktionsablaufs herbeigeführt.

In der technologischen Wissenschaft setzten sich damit neue Betrachtungsweisen durch. Die vorwiegend am Produktionsablauf orientierte Darstellungsweise wurde durch die vergleichende Analyse und systematische Ordnung der technologischen Elemente des Produktionsprozesses - der technologischen Grundvorgänge - auf ein höheres Abstraktionsniveau gehoben. Diese vorwiegend in den Bereichen der mechanischen und der chemischen Technologie erfolgende Entwicklung führte zur Herausbildung der Fertigungstechnologie, der Verfahrenstechnologie, der Fördertechnologie und etwas später auch der Verarbeitungstechnologie als selbständigen wissenschaftlichen Disziplinen innerhalb der technologischen Wissenschaft. Die Fertigungstechnologie hat ihre Wurzeln bereits in der 2.Hälfte des 19.Jahrhunderts unmittelbar aufbauend auf die Konzeption der mechanischen Technologie von KARMARSCH. Die Verfahrenstechnologie bildete sich zwischen 1890 und 1930 heraus. Ihr liegt das Konzept der Grundoperationen und Grundprozesse zugrunde, das zugleich ein Konzept der Einheit von Prozess und Apparat ist. Die verfahrenstechnologischen Erkenntnisse dieser Phase gipfeln in den Lehrbüchern von WALKER/LEWIS/McADAMS (Lit.4.6.) und BADGER/McCABE (Lit.4.7.) (Abb.4.7.).


CHEMICAL ENGINEERING SERIES

PRINCIPLES OF
CHEMICAL ENGINEERING

BY
WILLIAM H. WALKER
WARREN K. LEWIS
WILLIAM H. McADAMS
AND
EDWIN R. GILLILAND

McGRAW-HILL BOOK COMPANY, Inc.
NEW YORK AND LONDON
1937

Abb. 4.7. Titelblatt des Lehrbuches von Walker/Lewis/McAdams, in dem erstmals das Konzept der Grundoperationen zusammengefaßt dargestellt wurde (1. Auflage 1923)

Die *fünfte Entwicklungsphase* der Technologie beginnt zeitgleich mit der wissenschaftlich-technischen Revolution. Sie leitet einen weiteren qualitativen Entwicklungsschritt der Technologie ein, denn durch sie bildet sich auf der Basis automatischer Maschinensysteme gegenwärtig eine neue technologische Produktionsweise heraus. Die komplexe Automatisierung von Produktionsprozessen und die zunehmende Integration von Stoff-, Energie- und Informationsflüssen erfordert immer mehr, den Produktionsprozess als einheitliche Ganzheit und das organische Zusammenwirken aller seiner Komponenten zu untersuchen. Die schnell wachsenden wissenschaftlichen Erkenntnisse der Naturwissenschaften und ihre unmittelbare produktive Nutzung eröffnen neue Möglichkeiten zur wissenschaftlichen Gestaltung und Beherrschung des Produktionsprozesses.

Diese Entwicklung führt in der Technologie zu prinzipiell neuen Fragestellungen, zu neuen Betrachtungsweisen und zu einer entscheidenden Ausweitung und Vertiefung ihres Inhalts. Ein besonderes Charakteristikum dieser Entwicklungsphase ist die Herausbildung einer wissenschaftlich fundierten *allgemeinen Technologie*. Sie hat ihr objektives Fundament in der zunehmenden Vereinheitlichung der Produktionsprozesse. Denn bei aller schnell voranschreitenden Differenzierung der Maschinenwelt und der Spezialisierung der Bearbeitungsvorgänge, die das Anwachsen spezieller technologischer Erkenntnisse beschleunigt und sich in einem hohen Entwicklungsniveau der speziellen technologischen Wissenschaftsdisziplinen niederschlägt, ist ein Prozess der Herausbildung relativ einheitlicher Grundstrukturen technischer und technologischer Systeme unübersehbar.

Die allgemeine Technologie sieht sich in ihrem modernen Wissenschaftsverständnis (und im Vergleich zu BECKMANN) als der Zweig der Technologiewissenschaften, der übergreifende System- und Strukturbetrachtungen technologischer Systeme anstellt, allgemeine Theorien formuliert, grundlegende Gesetzmäßigkeiten technologischer Systeme aufdeckt und ein einheitliches Kategoriengebäude der Technologie entwirft. Sie ist damit zu einer Wissenschaft geworden, von deren Entwicklungsstand die weitere wissenschaftliche Durchdringung der Produktionsprozesse wesentlich bestimmt wird.

Eine übersichtliche Zusammenfassung der Entwicklungsschritte des Technologiebegriffs gibt Tabelle 4.2.

J. Beckmann (1777) Technologie ist "...die Wissenschaft, welche die Verarbeitung der Naturalien" lehrt und "...in systematischer Ordnung gründliche Anleitung gibt, wie man zu eben diesem Endzwecke, aus wahren Grundsätzen und zuverlässigen Erfahrungen, die Mittel finden und die bei der Verabeitung vorkommenden Erscheinungen erklären und nutzen soll."
K. Karmarsch (1851) Technologie ist "...die systematische Beschreibung und Erklärung derjenigen Verfahren und Hilfsmittel, durch welche die rohen Naturprodukte zu Gegenständen des physischen Gebrauchs verarbeitet werden. Sie schließt als solche Zweige menschlicher Tätigkeit aus, deren Hervorbringung ganz allein zur Befriedigung des Schönheitsgefühls oder anderer geistiger Fähigkeiten bestimmt sind (z.B. Malerei, hohe Bildhauerkunst usw.)."
K. Marx (1867) "Die Technologie enthüllt das aktive Verhalten des Menschen zur Natur, den unmittelbaren Produktionsprozeß seines Lebens, damit auch seiner gesellschaftlichen Lebensverhältnisse und der ihnen entquellenden geistigen Vorstellungen"... "Die große Industrie zerriß den Schleier...Ihr Prinzip, jeden Produktionsprozeß an und für sich und zunächst ohne alle Rücksicht auf die menschliche Hand in seine konstituierenden Elemente aufzulösen, schuf die ganz moderne Wissenschaft der Technologie. Die buntscheckigen, scheinbar zusammenhanglosen und verknöcherten Gestalten des gesellschaftlichen Produktionsprozesses lösten sich auf in bewußt und planmäßig und je nach dem bezweckten Nutzeffekt systematisch besonderte Anwendungen der Naturwissenschaft."
Ost / Rassow (1932) "Technologie ist die Lehre von der Technik, d.h. die Lehre von den Künsten und Fertigkeiten, mit denen die von der Natur gelieferten Rohstoffe in den Fabriken zu Gebrauchsgegenständen, zu "Gütern" umgearbeitet werden. Die mechanische Technologie beschäftigt sich mit der Formänderung der Rohstoffe...Die chemische Technologie lehrt stoffliche Umwandlungen."
Grundsatzordnung Technologie (3.Technologenkonferenz Leipzig 1960) "Technologie ist die Wissenschaft von den Gesetzmäßigkeiten der materiell-technischen Seite vollständiger Produktionsprozesse. Ihr Gegenstand sind Verfahren der Gewinnung von Rohstoffen, sowie ihrer Weiterverarbeitung zu Werkstoffen, Halbfabrikaten und Fertigerzeugnissen. Ihr Ziel ist die effektive Gestaltung der produktionstechnischen Vorgänge."

Tabelle 4.2. Der Technologiebegriff in seiner historischen Entwicklung

4.2. Gesellschaftliche Funktion der Technologie – Technologie und wissenschaftlich-technischer Fortschritt

Die gesellschaftliche Funktion der Technologie leitet sich aus ihrem Gegenstand ab. Sie organisiert das zielgerichtete Zusammenwirken von Mensch, Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstand innerhalb eines Produktionsprozesses, in dem auf rationellem und gesellschaftlich vertretbarem Wege Produkte zur Befriedigung individueller und gesellschaftlicher Bedürfnisse geschaffen werden.

Jede gesellschaftliche Entwicklungsepoche wird durch eine bestimmte technologische Produktionsweise charakterisiert. Nach ihrem unterschiedlichen historischen Entwicklungsniveau lassen sich häusliche, handwerkliche, manufakturelle, industrielle und großindustrielle technologische Produktionsweisen unterscheiden.

Von den vielfältigen gesellschaftlichen Funktionen der Technologie sei hervorgehoben, dass sie zu einem wesentlichen Teil Inhalt und Charakter der Arbeit bestimmt. So stellen handwerkliche Technologien wesentlich andere Anforderungen an den Produzenten als Technologien automatischer Produktionsprozesse, sowohl physischer als auch geistiger Art.

Innerhalb der gegenwärtigen Umwälzungsprozesse der materiellen Produktivkräfte hat die gesellschaftliche Bedeutsamkeit der Technologie weiter zugenommen. Ihr kommt in der wissenschaftlich-technischen Revolution eine Schlüsselrolle zu. Dafür lassen sich eine Reihe gewichtiger Gründe angeben.

Zunächst gilt, dass jeder *Wissenschaftsfortschritt erst durch die Vermittlung der Technologie produktionswirksam* wird. Die Technologie stellt in der modernen Produktion die Nahtstelle zwischen naturwissenschaftlicher Erkenntnis und deren gesellschaftlicher Nutzung dar. Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Forschung können nur in wenigen Ausnahmefällen unmittelbar im Produktionsprozess genutzt werden. Die Entdeckung neuer naturwissenschaftlicher Effekte, wie des Lasereffekts oder der Verhaltensweisen von Flüssigkristallen, erforderte bis zu ihrer technischen Nutzung im Produktionsprozess umfangreiche spezifisch technologische Untersuchungen. Die praktische Verwertung dieser Entdeckungen erfordert im Allgemeinen nicht nur neuartige technische Systeme, sondern vor allem auch qualitativ neue technologische Lösungen. Allgemein lässt sich deshalb sagen, dass die Fortschritte in Wissenschaft und Technik erst über die Technologie und ihr Leistungsniveau produktiv wirksam werden können.

Was die Naturwissenschaften an neuen Naturkräften und Naturprozessen erschließen, findet durch die Technologie als neues Wirkprinzip, als neuartiger Bearbeitungsprozess, als neuer Werkstoff oder Rohstoff seine produktive Nutzung. Die unmittelbaren Beziehungen zwischen der Festkörperphysik und der Mikroelektronik, zwischen der Genetik und der Biotechnologie, zwischen der Chemie der Hochmolekularen und der Schaffung neuer Werkstoffklassen oder der Quantenphysik und der Lasertechnologie zeigen dies neue Verhältnis von Naturwissenschaft und Technologie.

Die Technologie wandelt aber nicht nur wissenschaftliche Erkenntnisse in produktive Potenzen um. Sie wirkt auch umgekehrt auf die Wissenschaft zurück, indem sie neue Fragestellungen, die sich aus der Produktion ergeben, an die Wissenschaft übermittelt. Aus der biotechnologischen Praxis ergeben sich beispielsweise im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Verfahren, der stabilen Beherrschung der Prozesse, der Qualitätsverbesserung der Produkte oder der Aufwandsminimierung der eingesetzten Rohstoffe und aufgewandten Energien eine Vielzahl von Fragen an zahlreiche Wissenschaftsdisziplinen wie die Mikrobiologie, die Genetik, die Werkstoffwissenschaften aber auch an die Mathematik (z.B. zur Modellierung der Prozesse in Bioreaktoren). Die Technologie übt damit eine *aktive Funktion* bei der Weiterentwicklung der Wissenschaften und ihrer gesellschaftlichen Wirksamkeit aus.

Aktivierende Wirkung übt die Technologie auch auf die anderen Faktoren des Produktionsprozesses aus. Qualitativ neue Technologien stimulieren ihrerseits in entscheidendem Maße die Entwicklung neuartiger technischer Systeme und neuer Klassen und Typen von Arbeitsgegenständen. So hat die Technologie plasmachemischer Prozesse qualitativ neue Reaktortypen hervorgebracht. Stoffbearbeitungstechnologien auf der Basis neuartiger technologischer Wirkprinzipien haben zur Konstruktion bis dahin nicht bekannter Maschinentypen geführt (z.B. Laserschweiß- und -schneidgeräte, Magnetumformmaschinen, Vakuumbeschichtungsanlagen). Neue Technologien, die durch extreme Prozessbedingungen, wie hohe Drücke oder Vakua oder sehr hohe bzw. äußerst niedrige Temperaturen gekennzeichnet sind, verlangen meist den Einsatz von Werkstoffen mit neuartigen Eigenschaften. Sie ermöglichen andererseits auch die Nutzung neuer Arbeitsgegenstände (hochreine Werkstoffe der Halbleitertechnik, Lichtleiterkabel, einkristalline Turbinenschaufeln, Flüssigkristalle, Keramikwerkstoffe).

Die Technologie hat auch eine wichtige *Integrationsfunktion* beim Zusammenwirken der einzelnen Elemente des Produktionsprozesses. Je komplexer die Produktionsprozesse werden, je höher das Entwicklungsniveau der technischen Systeme wird, je mehr Stoff-, Energie- und Informationsflüsse innerhalb des Produktionsprozesses vernetzt werden, umso mehr muss eine wissenschaftlich begründete Kombination und Koordination der einzelnen Elemente gewährleistet werden, um ein rationelles und effektives Zusammenwirken zu erreichen.

Die Technologie hat auch eine wichtige *Funktion bei der Ökologisierung der Produktionsprozesse* zu erfüllen. Die im Verlaufe der wissenschaftlich-technischen Revolution schnell anwachsenden Dimensionen der Produktion führen zu einem schnell steigenden Stoffwechsel zwischen der Produktionssphäre und der natürlichen Umwelt. Das ist auf der Basis traditioneller technologischer Verfahren zum Teil mit erheblichen Belastungen der natürlichen Umwelt verbunden. Neue Technologien mit weitgehend geschlossenen technischen Kreisläufen, mit umfassender Rückführung von Abfall- und Altstoffen, mit Sekundärenergienutzung und schadloser Beseitigung nicht nutzbarer Abfälle sowie ressourcenschonende Technologien werden das Gesicht der Produktion von Morgen bestimmen.

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Schlüsselfunktion der Technologie ist ihre Verknüpfung mit dem Kernprozess der wissenschaftlich-technischen Revolution, mit der Herausbildung eines neuen Techniktyps. Dieser neue Techniktyp ist das automatische Maschinensystem, dessen qualitatives Charakteristikum die Integration auch der informationsverarbeitenden Prozesse in das technische System ist. Die klassische Technik war im Wesentlichen eine stoffbearbeitende und energiewandelnde Technik, wobei der in die Maschine einbezogene Energiefluss vor allem die Operationsenergie für die Stoffbearbeitung lieferte. Die Steuerungsfunktionen waren Sache der Produzenten, der Informationsfluss wurde durch den Menschen realisiert.

Die automatischen Maschinensysteme enthalten neben dem stoffbearbeitenden Teil (mit Arbeitsorgan, Führungsorgan und Positionierungsorgan) und dem Energieteil (mit Übertragungsorgan und Antriebsorgan) auch einen Informationsteil auf der Basis mikroelektronischer Strukturen (mit Steuerungsorgan und Optimierungsorgan). Damit werden wesentliche Arbeitsfunktionen, die bisher allein dem Menschen vorbehalten waren, auf die Technik übertragen. Die informationsverarbeitende Technik übernimmt geistige Arbeitsfunktionen des Menschen und löst damit den Produzenten weiter aus der unmittelbaren Bindung an den technologischen Prozess. Sie hebt auch bestimmte Begrenzungen des menschlichen physischen und psychischen Arbeitsvermögens auf, wie Reaktionsgeschwindigkeit, Ausdauer, Präzision, parallele Vielfalt in der Verarbeitung von Informationen und ihre Umsetzung in Steuerungssignale.

Tabelle 4.3. gibt einen Überblick, wie durch schrittweise Übertragung menschlicher Arbeitsfunktionen auf die Technik immer komplexere technische Systeme entstehen vom einfachen Werkzeug bis zum automatischen Maschinensystem. Jede Komplexitätsstufe stellt einen charakteristischen Techniktyp dar, der zugleich auch eine historische Entwicklungsstufe der Technik repräsentiert.

Die Herausbildung neuer Techniktypen war immer Bestandteil technischer Revolutionen und im Allgemeinen auch Ausgangs- und Kristallisationspunkt für Umwälzungen der technologischen Produktionsweise.

Die entscheidende Veränderung, die in der industriellen Revolution zur Herausbildung der Maschinenproduktion und zum Fabriksystem führte, war die Ablösung des Handwerkzeugs und einfacher Mechanismen, die von der Hand des Handwerkers und des Manufakturarbeiters geführt wurden, durch die Werkzeugmaschine und die sie antreibende Dampfmaschine. Das Werkzeug wurde zum Teil der Maschine. Zweifellos waren auch schon in der Manufakturperiode vereinzelt Maschinen im Gebrauch (Papiermühlen, Kornmühlen, Pochwerke, Erzhämmer), aber erst die massenhafte Maschinenanwendung, ließ eine neue technologische Produktionsweise und das Fabriksystem entstehen.

Die Integration des Werkzeugs in die Maschine befreite den Menschen zugleich davon, die Antriebsenergie selbst zu liefern. Diese Funktion fiel der Dampfmaschine zu. Die Werkzeugmaschine und mit ihr die Dampfmaschine waren also der entscheidende Ausgangspunkt für die industrielle Revolution.

Funktion im technologischen Prozeß	Funktionsorgane								Entwicklungsstufe des technischen Systems
	AbO	FüO	PsO	ÜbO	AnO	StO	OpO	SzO	
Bearbeiten	*							*	Werkzeug
Energie anpassen	*			*				*	Gerät
AbO führen AG fixieren	*	*	*	*				*	Einfache Maschine
Operationsenergie liefern	*	*	*	*	*			*	Klassische Maschine
Wegfestlegung	*	*	*	*	*	*		*	Programmgesteuerte Maschine
Prozeßoptimierung	*	*	*	*	*	*	*	*	Kybernetische Maschine
Zielfestlegung	Prinzipiell nicht auf die Technik übertragbar								

AbO = Arbeitsorgan
FüO = Führungsorgan
PsO = Positionierungsorgan
SzO = Stützorgan
ÜbO = Übertragungsorgan
AnO = Antriebsorgan
StO = Steuerungsorgan
OpO = Optimierungsorgan

Tabelle 4.3. Übertragung menschlicher Arbeitsfunktionen auf die Technik durch Einführung entsprechender Funktionsorgane in technische Systeme

Auch in der gegenwärtigen wissenschaftlich-technischen Revolution ist ein neuer Techniktyp das Kernstück des Gesamtprozesses. Die automatischen Maschinensysteme sind der Ausgangspunkt für eine Umwälzung der materiellen Grundlagen der Produktion. Für das Verständnis der Schlüsselfunktion der Technologie in diesem Prozess ist wichtig, dass die Wirkungsmöglichkeit des neuen Techniktyps an eine qualitativ neue technologische Produktionsweise gebunden ist. Erst im Zusammenwirken beider Faktoren - automatische Maschinensysteme und neue technologische Produktionsweise - können sich die weitreichenden ökonomischen und sozialen Potenzen der neuen Produktivkräfte voll entfalten. Das betrifft einerseits die Einführung einer Vielzahl neuer technologischer Wirkprinzipien und der mit ihnen verbundenen Bearbeitungsvorgänge, aber andererseits auch die technologische Umgestaltung der zu automatisierenden Produktionsprozesse als Ganzes. Die automatischen Maschinensysteme können nicht einfach auf vorhandene Verfahrensabläufe aufgepfropft werden. Die Technologie übernimmt in diesem Umwälzungsprozess der materiellen Produktivkräfte die Aufgabe der durchgängigen wissenschaftlichen Gestaltung der Produktionsabläufe. Sie gewährleistet ein stabiles und effektives Zusammenspiel der immer komplexer werdenden Stoff-, Energie- und Informationsflüsse im Produktionsprozess.

Zusammenfassend lässt sich die Schlüsselrolle der Technologie in der wissenschaftlich-technischen Revolution durch folgende Funktionen charakterisieren:

- Die Technologie übt eine *Umwälzungsfunktion* aus, indem sie in enger Verknüpfung mit dem Kernprozess der wissenschaftlich-technischen Revolution - der Herausbildung eines neuen Techniktyps - eine qualitativ neue technologische Produktionsweise begründet.
- Sie besitzt eine *Vermittlerfunktion*, weil sie wissenschaftliche Erkenntnisse in die Produktionsrealität überführt.
- Der Technologie kommt eine *Integrationsfunktion* zu. Sie sichert das komplexe Zusammenwirken von Stoff-, Energie- und Informationsströmen innerhalb der Produktionsprozesse und den rationellen und effektiven Prozessverlauf.

- Weiterhin erfüllt die Technologie eine *Stimulationsfunktion*, weil von ihr wesentliche Anstöße zur Entwicklung neuartiger technischer Systeme, weiterentwickelter Werkstoffe und effektiverer Energienutzung ausgehen.
- In zunehmendem Maße nimmt die Technologie eine *Ökologiefunktion* wahr, indem sie neben den traditionellen ökonomischen und sozialen Kriterien für die Bewertung und Entwicklung von Produktionsprozessen zunehmend ökologische Aspekte für die Gestaltung von Prozessabläufen berücksichtigt.

4.3. Schlüsseltechnologien

Die Schlüsselfunktion der Technologie in der wissenschaftlich-technischen Revolution erfährt ihre deutlichste Ausprägung in den sogenannten *Schlüsseltechnologien* (key-technologies). Mit diesem Terminus werden Technologien bezeichnet, die grundlegende Entwicklungsrichtungen der materiellen Produktivkräfte in den gegenwärtigen Umwälzungsprozessen repräsentieren. Sie sind die bestimmenden Faktoren bei der qualitativen Veränderung der technologischen Produktionsweise.

Die Schlüsseltechnologien haben historischen Charakter. Jede technische Revolution in der Geschichte der Produktivkräfte, jede Umwälzung der technologischen Produktionsweise hatte ihre charakteristischen Schlüsseltechnologien (Tabelle 4.4.).

Historischer Zeitabschnitt	Qualitativ neue Produktionsmittel und technologische Verfahren (Schlüsseltechnologien)
Erste technische Revolution 13.-4.Jahrtausend v.u.Z.	Pfeil und Bogen, Großwildfallen, Fischnetze; Herstellung und Verwendung behauener und geschliffener Steinwerkzeuge, Keramikerzeugnisse; Beginn von Ackerbau und Viehzucht, Pflug
Zweite technische Revolution 1000-500 v.u.Z.	Gewinnung von Eisen, Herstellung eisernerArbeitsinstrumente, Werkzeugspezialisierung; Töpferscheibe; Webstuhl; Drechselbank mit Schnurzug und Fiedelbogen; Fernhandel
Dritte technische Revolution (in Europa im 11.Jhdt. beginnend)	Anwendung von Wasserrädern, Einsatz zahlreicher Vorrichtungen (Gebläse, Sägen, Pumpen, Uhrwerke, Pochwerke); Drehbänke mit Wippe und Handkurbel; Räderpflug mit Streichbrett; Holzkohleschachtöfen
Vierte technische Revolution (Industrielle Revolution) 18. und 19.Jhdt.	Werkzeugmaschinen, Dampfmaschinen; Hochofen- und Stahlwerke, Formstahl- und Walzverfahren; Beginn chemischer Großprozesse (Soda, Schwefelsäure, Zement) Verbrennungsmotoren, Elektroantriebe; Eisenbahn
Wissenschaftlich-technische Revolution 2.Hälfte des 20.Jhdts.	Automatische Maschinensysteme, Informationsverarbeitungstechnik, Industrieroboter; Biotechnologie, Verfahren auf der Basis neuer Wirkprinzipien, Ökotechnologien, neue Werkstoffklassen, Kernenergienutzung, Nanotechnologie

Tabelle 4.4. Technische Revolutionen in der Geschichte der menschlichen Gesellschaft

So waren zweifelsohne in der zweiten technischen Revolution (etwa 1000 bis 500 v.u.Z.) Technologien zur Erzeugung von Eisen und zur Herstellung eiserner Arbeitsinstrumente Schlüsseltechnologien. Ebenfalls können die durch die Erfindung von Töpferscheibe und Webstuhl möglichen Töpfertechnologien und Webtech-

nologien dazugerechnet werden, weil sie ganz wesentlich das Entwicklungsniveau der Produktivkräfte und den Grad der gesellschaftlichen Bedürfnisbefriedigung bestimmten.

In der industriellen Revolution um die Wende des 18. zum 19. Jahrhundert sind Maschinenbautechnologien, Technologien zur Erzeugung und Nutzung mechanischer Energie durch Dampfmaschinen, Technologien zur Eisen- und Stahlerzeugung, weiterentwickelte Bergbautechnologien und Technologien des Eisenbahntransports von zentraler Bedeutung.

Ein Jahrhundert später, am Ausgang des 19.Jahrhunderts, rückten andere Schlüsseltechnologien ins Blickfeld: Technologien der Fließbandproduktion, Technologien der chemischen Großsynthese, Technologien zur Erzeugung elektrischer Energie und ihrer Nutzung. Sie waren für die Herausbildung der industriellen Großproduktion prägend.

Schlüsseltechnologien sind also eine objektive Erscheinung in der Geschichte der Produktivkräfte. Ihre historische Funktion besteht in der Durchsetzung neuer technologischer Produktionsweisen. Sie überwinden jene ökonomischen Engpässe, Ressourcen- und Produktivitätsschranken, die den weiteren wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fortschritt behindern.

Diese Charakteristik gilt auch für die Schlüsseltechnologien in der wissenschaftlich-technischen Revolution. Neben ihrer historischen Charakteristik besitzen Schlüsseltechnologien weitere Merkmale, die sie in ihren technischen, ökonomischen und sozialen Aspekten tiefer charakterisieren.

So ist ein für alle Schlüsseltechnologien gemeinsames Kriterium, dass sie ein überdurchschnittliches Wachstumstempo der Produktion bewirken, sich durch eine hohe Prozesseffektivität auszeichnen und eine hohe Qualität der Produkte ermöglichen.

Technisch-technologisch sind Schlüsseltechnologien durch neuartige technologische Prozesse auf der Basis neuer Wirkprinzipien, durch die Nutzung neuer Techniktypen (z.B. flexible Fertigungszentren, Industrieroboter, Computer, Vakuumanlagen) und den Einsatz neuer Werkstoffklassen gekennzeichnet.

Volkswirtschaftlich haben Schlüsseltechnologien eine große Anwendungsbreite und üben eine revolutionierende Wirkung auf das technologische Niveau ganzer Wirtschaftsbereiche aus.

Sie sind entscheidende Intensivierungsfaktoren, weil sie eine qualitativ neue Stufe der Nutzung natürlicher Ressourcen ermöglichen. Sie sind in neuen Dimensionen material-, energie- und arbeitssparend, verbreitern die Palette der nutzbaren Werkstoffeigenschaften, ermöglichen die Roh- und Werkstoffe höher zu veredeln und Rohstoffe umfassender zu nutzen.

Von den Voraussetzungen her stellen Schlüsseltechnologien hohe Anforderungen an das wissenschaftlich-technische Leistungsniveau aller Volkswirtschaftsbereiche, weil sie eine überdurchschnittliche Forschungsintensität aufweisen und einen stark interdisziplinären Charakter haben, geprägt durch das Zusammenwirken verschiedener Wissenschaftsdisziplinen.

Der soziale Aspekt der Schlüsseltechnologien schließlich drückt sich in einer weitreichenden Veränderung sozialer Strukturen der Produktion, der Arbeitsinhalte, der Arbeitsbedingungen und der Anforderungen an den Produzenten aus. Am deutlichsten wird das in den Bereichen sichtbar, wo die moderne Informationsverarbeitungstechnik für komplexe Automatisierungslösungen eingesetzt wird, in CAD-CAM-Stationen, in der rechnergestützen Produktionsplanung (CAP) oder in flexiblen Fertigungszentren. Offensichtlich bildet sich eine neue Funktionsteilung im Mensch-Technik-Verhältnis heraus. Die zunehmende Übertragung geistiger Arbeitsfunktionen des Menschen auf die Technik führt zwar zu einer weitgehenden Herauslösung der Produzenten aus dem unmittelbaren technologischen Prozess, die Rolle des Menschen als Hauptproduktivkraft nimmt damit jedoch nicht ab. Sie nimmt im Gegenteil weiter zu.

Die genannten Kriterien stehen in enger Beziehung zueinander. So ist die produktive Nutzung neuer technologischer Wirkprinzipien immer gekoppelt mit der Entwicklung neuartiger Technik und oft auch mit dem Einsatz neuartiger Werkstoffe. Die Basistechnologien der Mikroelektronik zeigen das überzeugend. Sie benötigen Werkstoffe höchster Reinheit, Stoffe mit bestimmter kristalliner Struktur und bestimmten Oberflächeneigenschaften. Für die Mikrochipherstellung mussten zahlreiche neuartige technische Systeme entwickelt werden, wie Einkristallziehanlagen, Maschinen zum Abtrennen dünner Siliziumscheiben aus Einkristallen, hochauflösende lithographische Ausrüstungen, Anlagen für die Dotierung von Halbleitermaterialien, Montageplätze sowie eine umfangreiche Mess- und Prüftechnik.

Die einzelnen für die Schlüsseltechnologien charakteristischen Kriterien sind natürlich in jedem konkreten Einzelfall unterschiedlich ausgeprägt. Das hängt sowohl vom Gegenstandsbereich als auch von dem erreichten technischen und ökonomischen Reifegrad ab. Die Informationsverarbeitungstechnologien haben eine außerordentlich hohe Breitenwirkung. Sie durchdringen in universeller Weise alle Volkswirtschaftszweige. Die Biotechnologien haben diese Universalität noch nicht erreicht. Sie werden zunehmend überall dort wirksam, wo biologische Wirkprinzipien neue industrielle Prozesse ermöglichen, die zu qualitativ neuen Produkten oder zu deutlich höherer Effektivität gegenüber traditionellen Technologien führen. Trotzdem besitzen sie bereits ein relativ breites Wirkungsspektrum, das die pharmazeutische Industrie, Bereiche der Lebensmitteltechnologie, die Agrarproduktion, die chemische Industrie und die Umwelttechnologie umfasst.

Zusammenfassend lässt sich aus dieser allgemeinen Charakteristik der Schlüsseltechnologien folgende *Begriffsbestimmung* ableiten:

> *Schlüsseltechnologien* sind neuartige technologische Prozesse auf der Basis neuer, bis dahin nicht genutzter Wirkprinzipien und qualitativ neuer Technik. Sie kennzeichnen grundlegende Entwicklungsrichtungen der materiellen Produktivkräfte in der wissenschaftlich-technischen Revolution und bewirken revolutionierende Veränderungen des technologischen Niveaus der Produktion. Insgesamt bewirken sie das Entstehen einer neuen technologischen Produktionsweise.

Um in der Vielfalt der konkreten Erscheinungsformen der Schlüsseltechnologien die Übersicht zu behalten, sowie ihre Gemeinsamkeiten zu betonen, ist es zweckmäßig, sie unter technologischem Aspekt in einigen großen Gruppen zusammenzufassen.

Als grundlegend für die gegenwärtige Phase der wissenschaftlich-technischen Revolution lassen sich folgende Schlüsseltechnologien angeben (Tab. 4.5.):

Informationsverarbeitungs-technologien	Basistechnologien der Mikroelektronik Technologische Nutzung der Computertechnik Technologien flexibler Fertigungssysteme CAD/CAM-Technologien Technologien des Robotereinsatzes
Revolutionierende Verfahren der Stoffbearbeitung	Hochenergiebearbeitung Hochgeschwindigkeitsbearbeitung
Hochveredlungstechnologien	Technologien der Hochveredlungschemie Technologien der Hochveredlungsmetallurgie Hochveredlungstechnologien der Keramik- und Glasindudtrie
Biotechnologien	Zelltechnologien Enzymtechnologien Basistechniken der Biotechnologie (Gen-, Immun-, Zellkulturtechniken)
Ökotechnologien	Abfallarme Technologien Technologien mit relativ geschlossenen Stoffkreisläufen Aufarbeitungstechnologien für schadstoff-belastete Produkte Technologien zur Sekundärrohstoffnutzung Technologien zur schadlosen Beseitigung von Abfall- und Altstoffen

Tabelle 4.5. Übersicht zu Schlüsseltechnologien

4.3.1. Informationsverarbeitungstechnologien

Unter dem Begriff Informationsverarbeitungstechnologien lassen sich eine Reihe von entwicklungsbestimmenden Technologien zusammenfassen, die mit der Produktion und Anwendung mikroelektronischer informationsverarbeitender Technik verbunden sind. Im einzelnen ordnen wir diesem Komplex von Schlüsseltechnologien zu: Basistechnologien zur Herstellung mikroelektronischer Elemente und Systeme, den Einsatz moderner Rechentechnik in der Prozessautomatisierung, in Datenverarbeitungszentren, bei der rechnergestützten Produktion und Planung bis hin zur flexiblen Automatisierung und zur rechnerintegrieten Produktion (CIM).

Die Informationsverarbeitungstechnologien nehmen innerhalb der Schlüsseltechnologien eine Sonderstellung ein. Wie keine andere Gruppe sind sie von revolutionierender Wirkung auf das technologische Niveau der Volkswirtschaft als Ganzes.

Die herausragende Rolle der Informationstechnologien unter den Schlüsseltechnologien wird vor allem dadurch bestimmt, dass sie die wesentliche Bedingung für die Herausbildung eines neuen Techniktyps sind. Durch die Kombination von Informations- und Prozesstechnik werden automatische Maschinensysteme in allen Wirtschaftsbereichen möglich, gleichermaßen in der Maschinenbautechnik, in der chemischen Reaktortechnik, in der Energietechnik wie auch in der Agrartechnik und in der Transporttechnik.

Darüber hinaus ermöglichen die Informationsverarbeitungstechnologien die Herausbildung neuer Klassen technischer Systeme, wie die Robotertechnik, durch die ganze Bereiche der industriellen Produktion überhaupt erst der Automatisierung zugänglich gemacht werden, und die Computertechnik, durch die die Information zu einer neuen Klasse von Arbeitsgegenständen wird.

Die Computertechnik als neue Klasse von Arbeitsmitteln revolutioniert nicht nur die unmittelbar produzierenden Bereiche der Wirtschaft, sondern auch die Planungs- und Leitungsprozesse, die Konstruktion und die Büroarbeit in ihrer ganzen Breite.

Nicht unerwähnt soll bleiben, dass die Informationsverarbeitungstechnologien und die ihnen zugrunde liegende Technik wie kaum eine andere technische Entwicklung in die individuellen Lebensbedingungen in Form neuer Haushaltstechnik, von Unterhaltungselektronik und Heimcomputern eingreifen.

4.3.2. Revolutionierende Verfahren der Stoffbearbeitung

Gemeinsames Merkmal dieses Typs von Schlüsseltechnologien ist die Nutzung neuer Wirkprinzipien. Die klassischen Verfahren der Stoffbearbeitung beruhen im Wesentlichen auf mechanischen (Spanen, Druckumformen, Zerkleinern) und thermischen (Schmelzen, Gießen, Härten) Wirkprinzipien. Die Erschließung neuartiger Wirkprinzipien insbesondere durch die universelle Nutzung aller Energiearten (Elektroenergie, Strahlungsenergie, magnetische, hydraulische, pneumatische Energien, chemische Energie) führt zu neuen Verfahren der Stoffbearbeitung, die sich durch hohe Effektivität auszeichnen.

Als allgemeine Merkmale dieser Verfahren lassen sich angeben:

- hohe Energiedichte an der Wirkstelle (Hochenergiebearbeitung)
- hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten (Hochgeschindigkeitsbearbeitung)
- hohe Bearbeitungsqualität (Genaubearbeitungsverfahren)
- Erschließung von Bearbeitungsmöglichkeiten neuartiger Materialien (Sinterverfahren, Vakuumverfahren)

Beispiele für Technologien dieser Gruppe sind Laserstrahlbearbeiten (Schneiden, Schweißen, Bohren, Abtragen, Härten), Elektronenstrahlbearbeiten (Schweißen, Trennen, Abtragen, Umschmelzen), Plasmastrahlbearbeiten (Schneiden, Schweißen, Abtragen, Schmelzen), Magnetumformen, Explosivumformen, Vakuumbeschichten, Wasserstrahlschneiden.

Ihre Schlüsselfunktion bei der Herausbildung einer neuen technologischen Produktionsweise leitet sich aus der radikalen Verkürzung der Bearbeitungsdauer, aus hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten, hoher Bearbeitungsgenauigkeit und -qualität und durch bedeutende Senkung des Material- und Energieaufwandes ab.

4.3.3. Hochveredlungstechnologien

Hochveredlungstechnologien erfassen die Gesamtheit der Technologien, die das Ziel haben, die eingesetzten Roh- und Werkstoffe in Produkte einer hohen Veredlungsstufe zu überführen.

Hochveredelte Werkstoffe bilden wegen ihrer spezifischen Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung anderer Schlüsseltechnologien. Die Anforderungen der Mikroelektronik an Halbleiterwerkstoffe, der Optoelektronik an hochreine Gläser und Seltenerdwerkstoffe oder prozessstufenarmer Sintertechnologien an Sinterwerkstoffe machen das deutlich. Hochentwickelte Maschinen und Anlagen stellen immer höhere Anforderungen an Hochleistungsstähle. Hochleistungs-Polymerwerkstoffe bilden die Voraussetzung für energie- und materialökonomisch vorteilhafte Technologien und neue Produkte in der Elektrotechnik, im Umweltschutz, in der Informationstechnik sowie im Maschinen- und Fahrzeugbau.

Der ständig steigende Bedarf an Werkstoffen hoher Veredlungsstufe wird sowohl über die Weiterentwicklung bereits bekannter und genutzter Werkstoffe (Stahl, Glas, Keramik, Plaste) wie auch durch die Schaffung neuartiger Werkstoffe (Funktionskeramik, Werkstoffverbunde, einkristalline Stoffe) gedeckt werden.

Zu den Schlüsseltechnologien gehören sie, weil sie ganz wesentlich dazu beitragen, dass eine spürbare Senkung des Material- und Energieaufwandes in der Produktion erreicht und der Bedarf an hochwertigen Produkten besser befriedigt werden kann. Von weitreichender Bedeutung ist, dass sie eine entscheidende Verbesserung des Verhältnisses von Nutzungsgrad und Abproduktgrad sowie eine qualitativ neue Verwertungsstruktur der Rohstoffe bewirken.

4.3.4. Biotechnologien

Die Biotechnologien sind stoffwandelnde Produktionsprozesse, die ihr Ausgangsmaterial (Substrat) mit Hilfe von Mikroorganismen (Pilze, Bakterien) in entsprechend gestalteten Bioreaktoren (Fermenter) in das gewünschte Produkt umsetzen.

Biotechnologien erfüllen den Anspruch an Schlüsseltechnologien durch die hohe Produktivität ihrer Verfahren, durch den hohen Veredlungsgrad der Produkte und ihre Schrittmacherfunktion bei der Ökologisierung von Produktionsprozessen. Sie erschließen neue Naturkräfte, indem sie die Stoffwechselprozesse von Mikroorganismen der produktiven Nutzung in industriellem Maßstab zugänglich machen.

Die Biotechnologien bedienen sich dabei einer Reihe sogenannter Basistechniken, wie der Gentechnik, der Zellkulturtechnik, der Enzymtechnik und der Immuntechnik.

Biotechnologien besitzen eine große Anwendungsbreite in zahlreichen Volkswirtschaftszweigen, z.B. in der chemischen Industrie, in der pharmazeutischen Industrie, in der Lebensmittelindustrie, in der Landwirtschaft, in der Energiewirtschaft und in der Erzaufbereitung. Zunehmende Bedeutung gewinnen biotechnologische Verfahren im Umweltschutz, insbesondere bei der Abwasserreinigung und der Wertstoffrückgewinnung aus Abfallstoffen.

4.3.5. Ökotechnologien

Ökotechnologien bezeichnen eine Gruppe von Schlüsseltechnologien, die nach Prinzipien von Ökosystemen gestaltet sind. Sie erfüllen insbesondere die Forderung, dass der Stoff- und Energieaustausch zwischen Produktions- und Biosphäre nicht zu irreversiblen Veränderungen der Biosphäre führt.

Die im Verlauf der wissenschaftlich-technischen Revolution schnell anwachsenden Dimensionen der Produktion führen zu qualitativ neuen Größenordnungen der Wechselwirkung zwischen Biosphäre und Technosphäre und damit auch durch die in vielen Prozessen noch anfallenden Abprodukte zu kritischen Umweltbelastungen. Die Weiterentwicklung der Produktionsprozesse muss deshalb neben den traditionellen ökonomischen und sozialen Kriterien zunehmend ökologische Maßstäbe einbeziehen mit dem Ziel, die Reproduktionsfähigkeit der Biosphäre zu erhalten und die natürlichen Produktionsressourcen auch künftig zu sichern.

Aus den dabei künftig zu lösenden Aufgaben lassen sich drei Hauptrichtungen der Ökotechnologien ableiten:

- *Abfallarme Technologien*, deren Prozessgestaltung sichert, dass die eingesetzten Rohstoffe, Werkstoffe und Energien weitgehend in das Produkt eingehen und damit Produktionsabfälle und der Schadstoffausstoß auf ein Minimum reduziert werden können.
- *Technologien zur Sekundärrohstoffnutzung*, durch die Altstoffe und zwangsweise anfallende Abprodukte wieder in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden

- *Technologien zur schadlosen Beseitigung von Abfall- und Altstoffen* (Abwasserreinigung, Schadstoffentgiftung, geordnete Deponierung).

4.3.6. Nanotechnologien

Unter dem Begriff Nanotechnologien werden Bearbeitungsvorgänge verstanden, bei denen die Materialdimensionen im Größenbereich zwischen 0,1 nm und 100 nm liegen, d.h. sie finden unmittelbar zwischen Atomen und Molekülen statt. Ihre Spezifik gegenüber den anderen technologischen Vorgängen besteht insbesondere darin, dass die Arbeitsgegenstände in diesen Bereichen neben Festkörpereigenschaften auch quantenphysikalische Effekte aufweisen. Unter Nanomaterialien versteht man in diesem Sinn chemische Substanzen, die innerhalb des Nanomaßstabes zu Reaktion gebracht werden. Dabei lassen sich sogenannte Nanostukturen erzeugen, die in Aufbau und Struktur eindimensionale Ketten, zweidimensionale Schichten oder dreidimensionale Raumgebilde darstellen. Letztere können aus einfachen Nanopartikeln, Nanokompositen und auch Nanomaschinen aufgebaut sein.

Nanoobjekte besitzen auf Grund der quantenphysikalischen Effekte außergewöhnliche Eigenschaften wie neuartige Oberflächeneigenschaften beschichteter Materialien. Anwendungsfelder im gegenwärtigen Anfangszustand der Nanotechnologie sind die Nanoanalytik (Erfassung von Basisphänomenen, Produktcharakteristik und Materialforschung), die Nanoelektronik, die Nanooptik, die Nanobiotechnologie (Nanobionik) sowie die Herstellung von Nanomaterialen (bottom-up-Aufbau von Werkstoffen, top-down-Anpassung von Materialien).

4.3.7. Schlüsseltechnologien in einzelnen Volkswirtschaftszweigen

Neben diesen grundlegenden und alle Zweige der Volkswirtschaft durchdringenden Schlüsseltechnologien existieren auch innerhalb einzelner Produktionszweige bestimmte Technologien, die für den betreffenden Zweig Schlüsselfunktion für Umwälzungsprozesse und Produktivitätsdurchbrüche haben. Als Illustration für diesen Aspekt der Theorie der Schlüsseltechnologien seien die Rolle der Container-Technologien für das Transportwesen, der Kernenergietechnologien für die Energiewirtschaft und die Glasfaserübertragung für das Nachrichtenwesen genannt.

Die breite Einführung der Schlüsseltechnologien führt zu revolutionären Umwälzungen der gesamten technologischen Produktionsweise. Dabei zeigt sich immer deutlicher, dass sich hohe volkswirtschaftliche Effekte vor allem aus der komplexen Anwendung mehrerer Schlüsseltechnologien unter Einbeziehung weiterer progressiver Technologien ergeben. Im Prinzip geht es immer um die Verknüpfung von Prozess und Informationstechnik unter Einbeziehung qualitativ höherentwickelter Bearbeitungsmaschinen, der Robotertechnik, von Automatisierungstechnik für Montageprozesse und Transport-, Umschlag- und Lagertechnik. Ziel ist es, dass der Stofffluss (oder allgemeiner der Fluss des Arbeitsgegenstandes), der Energiefluss (der Operationsenergie) und der Informationsfluss (der Steuerungsinformation) zu einem integrierten Gesamtsystem verkoppelt werden. Moderne biotechnologische Prozesse sind ohne Nutzung mikroelektronischer Steuerungssysteme undenkbar. Sie erfordern eine darauf aufbauende Mess- und Regelungstechnik sowie Bioreaktoren für die Lebensprozesse hochgezüchteter Mikroorganismen.

Diese Systemwirkung der Schlüsseltechnologien macht ihre Nutzung zu einem komplexen und widerspruchsvollen Prozess, in dem technische, technologische, ökonomische, ökologische und soziale Fragen eng miteinander verknüpft sind.

4.4. Technologie als Technikwissenschaft - (Gegenstand, Spezifik und Struktur der Wissenschaft Technologie)

Wenn auch das Grundverständnis der Technologie, ihres Gegenstandes und des Wesens ihrer Erscheinungen sich seit BECKMANN nicht gravierend verändert hat, so hat sich doch - insbesondere seit dem Beginn der wissenschaftlich-technischen Revolution - der Begriffsinhalt wesentlich erweitert und strukturiert. Vor allem hat die Bestimmung der Spezifik ihres Gegenstandes eine entscheidende Ausprägung erfahren.

Wir begreifen Technologie heute als zielgerichteten, auf die Befriedigung gesellschaftlicher und individueller Bedürfnisse gerichteten Prozess der Veränderung von Arbeitsgegenständen, der durch den Einsatz technischer Mittel erreicht wird.

Das moderne Technologieverständnis basiert auf den qualitativen Erkenntnisfortschritten, die die Technikwissenschaften als Ganzes betreffen. Die Technikwissenschaften haben sich in den letzten Jahrzehnten aus ihrem Dasein als angewandte Naturwissenschaften herausgelöst und sich als selbständiger Wissenschaftsbereich neben den Natur- und den Gesellschaftswissenschaften konstituiert. Diese Entwicklung war möglich, weil die Gegenstandsspezifik der Technik zunehmend erkannt und in diesem Zusammenhang auch die Existenz einer eigenständigen Klasse von Technikgesetzen aufgeklärt werden konnte. Damit entstand auch die Frage nach dem Platz der Technologie im Gebäude der Technikwissenschaften und ihren Beziehungen zu anderen Disziplinen der Technikwissenschaften.

Die theoretische Basis für die Beantwortung dieser und weiterer für das Technologieverständnis wichtigen Fragen liefern insbesondere Erkenntnisse, die in den letzten Jahrzehnten zum Wesen der Technik und zur Ausarbeitung ihres Kategoriensystems erarbeitet wurden.

Im Folgenden sollen deshalb einige *Grundpositionen der modernen Techniktheorie* dargestellt werden, soweit sie für die Bestimmung des Gegenstandes, der Aufgaben, der Funktion und der Spezifik der Technologie von Interesse sind.

Die *Technik* umfasst die materiellen Produktivkräfte der Gesellschaft. Sie ist die Gesamtheit der vom Menschen geschaffenen künstlichen Mittel und Verfahren seiner praktischen Tätigkeit. Er setzt sie zielstrebig und zweckorientiert zur Sicherung seiner Existenz und zur Erweiterung seiner Möglichkeiten zur Befriedigung seiner sich entwickelnden Bedürfnisse ein.

Die Arbeitsmittel (die Produktionstechnik) bilden den Hauptinhalt des Begriffes Technik. Die Technik dient dem Menschen zur Produktion materieller Güter, zur Gewinnung von Energie, zur Übertragung, Verarbeitung und Speicherung von Informationen. Die Technik ist jedoch nicht auf die Arbeitsmittel beschränkt. Auch die künstlichen Mittel, derer sich der Mensch in anderen Tätigkeitsbereichen bedient, wie im Haushalt, in der Medizin, in der Bildung und Kultur, im Wirtschaftsleben und im Militärwesen, sind ebenfalls der Technik zuzurechnen.

Neben den technischen Systemen sind auch die Verfahren, durch die die Arbeitsgegenstände verändert werden, unabdingbarer Bestandteil der Technik. Technische Gebilde und technologische Prozesse sind ihrem Wesen nach zwei Seiten ein und derselben Sache.

Die Technik umfasst demnach die Gesamtheit der Mittel und Verfahren, die sich der Mensch mit dem Ziel der Befriedigung seiner materiellen und kulturellen Bedürfnisse dienstbar macht. Sie ist das durch den Einsatz künstlicher materieller Mittel erzwungen komplexe und zielgerichtete Zusammenwirken von Naturvorgängen, durch das die Gegenstände menschlicher Tätigkeit zweckentsprechend und gemäß den gesellschaftlichen und individuellen Zielen verändert werden.

Für die genauere Charakterisierung des Technikbegriffs sind die Beziehungen zwischen Technik und Natur sowie zwischen Technik und Gesellschaft von grundlegendem Interesse. Die Technik ist eine soziale Erscheinung, eine Seite des gesellschaftlichen Seins. Sie dient dem Menschen nicht nur als Mittel und Verfahren, sondern sie ist auch Bestandteil seiner objektiven Umwelt. Diese vom Menschen geschaffene Umwelt ist unabdingbare Grundlage seiner individuellen und gesellschaftlichen Existenz. Sie bildet einen relativ selbständigen Bereich der Wirklichkeit und ist gewissermaßen neben Natur und Gesellschaft eine "dritte Welt relativ selbständigen Charakters" die allerdings in enger Wechselwirkung und nicht ohne die beiden anderen Bereiche existiert.

Die relative Eigenständigkeit der Technik bedingt ihrerseits die Existenz spezifischer Wesensmerkmale dieses Bereiches der Wirklichkeit, die ihren Ausdruck in einer spezifischen Klasse von Gesetzen - den Technikgesetzen - findet.

Damit ist der objektive Gegenstand der Technikwissenschaften bestimmt. Die Technologie ist als die Wissenschaft von den Bearbeitungsvorgängen eine Disziplin innerhalb des Ensembles der Technikwissenschaften. Der Technologiebegriff ist demzufolge dem allgemeinen Technikbegriff zu subsumieren.

Versuchen wir nun einige spezifische Merkmale des Technischen zu formulieren, um daraus Wesensmerkmale technologischer Erscheinungen und Prozesse abzuleiten und näher zu bestimmen.

Grundlegendes Spezifikum des Technischen ist die in ihm repräsentierte *Einheit von natürlichen und gesellschaftlichen Momenten.* Jedes technische System und jeder technologische Vorgang beruht auf der zweckgerichteten Ausnutzung von Naturvorgängen. Technik verkörpert in der Gegenwart in schnell wachsendem Maße die bewusste Anwendung wissenschaftlich erfasster Naturerkenntnis.

Das Wirken von Naturgesetzen in technologischen Vorgängen und technischen Systemen ist leicht nachweisbar und tritt in der Mehrzahl der Fälle sehr anschaulich zutage. Die Nutzung der Hebelgesetze in Hebezeugen, der Gasgesetze in Wärmekraftmaschinen, der radioaktiven Zerfallsgesetze in Kernenergieanlagen, des Ohm'schen Gesetzes bei der Elektroenergieübertragung, des Induktionsgesetzes in elektrischen Maschinen, des Massenwirkungsgesetzes bei Stoffwandlungsprozessen usw. demonstrieren das überzeugend.

Die gesellschaftliche Komponente der Technik tritt nicht so offensichtlich zutage wie das Wirken der Naturgesetze, weil sie erst über die Beziehungen der Menschen im Produktionsprozess und die Mensch-Technik-Relation sichtbar wird. Der Stand der Erkenntnis der Naturgesetze bestimmt die verschiedenen Lösungsmöglichkeiten technischer Aufgaben. Richtung, Umfang und Tempo ihrer Lösung hängen von gesellschaftlichen Faktoren ab. Insbesondere ist die Zweckorientierung des Technikeinsatzes wesentliche gesellschaftliche Komponente.

Das Eindringen in technische Erscheinungen erfordert deshalb nicht nur die Aufdeckung der relevanten naturwissenschaftlichen Zusammenhänge, sondern auch die Berücksichtigung ihrer gesellschaftlichen Determinierung.

Die Einheit von Natürlichem und Gesellschaftlichem ist nicht als additive Einheit zu verstehen, sondern vielmehr als Integration mit eigener Qualität und spezifischen Gesetzmäßigkeiten. Ähnlich wie sich das Biologische weder in chemischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten oder in der Summe beider erschöpft, sondern eine eigene Qualität - eben das Biologische - mit eigenen Gesetzen besitzt, ist auch das Technische nicht als angewandte Natur- oder Gesellschaftswissenschaft zu verstehen. Natur- und Gesellschaftsgesetze werden in der Spezifik des Technischen aufgehoben und zu neuer Qualität gebracht. Die natürliche und die gesellschaftliche Komponente der Technik lassen sich deshalb auch nicht trennen. Sie treten nie selbständig auf, sondern sind Elemente eines Systems, die in dialektischer Wechselwirkung zueinander stehen und sich wechselseitig in ihrer Wirksamkeit fördern oder begrenzen.

Für die Technologie als Wissenschaft bedeutet das, dass sie ebenfalls die Einheit von natürlichen und gesellschaftlichen Momenten in all ihren Sachverhalten repräsentiert. Technologische Gesetze müssen diese Einheit widerspiegeln. Darin drückt sich ihre qualitative Eigenart aus.

Ein zweites Spezifikum der Technik ist die *finale Determiniertheit* ihrer Erscheinungen. Es resultiert unmittelbar aus dem ersten.

Die Technik dient immer der Befriedigung gesellschaftlicher oder individueller Bedürfnisse. Die Grundfrage in der Technik ist deshalb - im Gegensatz zur Naturwissenschaft, für die es vor allen Dingen um das Warum geht - die Frage nach dem Wofür, das heißt nach dem Zweck, für den technische Mittel eingesetzt werden sollen. Diese Finalität des Technischen drückt sich auch in seinen Gesetzmäßigkeiten aus. Die Grundrelation in der Technik ist die Zweck-Mittel-Relation.

Selbstverständlich hebt die Finalorientiertheit technischer Erscheinungen die Kausalität der ihnen zugrunde liegenden Naturgesetze nicht auf. Sie wirkt in den technischen Gesetzen weiter, ist aber dieser neuen Qualität untergeordnet und wird gleichsam von ihr überlagert. Um einen Vergleich zu sagen: der Mensch ist ein gesellschaftliches Wesen und unterliegt gesellschaftlichen Gesetzmäßigkeiten, zugleich ist er aber auch biologisches Wesen, die biologischen Gesetze gelten auch für ihn als Individuum weiter, werden aber im gesellschaftlichen Bereich überlagert von Gesetzmäßigkeiten der Gesellschaft.

Von wesentlicher Bedeutung für das Verständnis des Wesens technologischer Vorgänge ist ein drittes Merkmal der Technik - ihr *komplexer Charakter*. In chemischen Produktionsprozessen wirken beispielsweise immer eine Vielzahl von chemischen und physikalischen Vorgängen komplex zusammen: Prozesse der Reaktionskinetik, der Thermodynamik, der Mechanik, des Werkstoffverhaltens u.a. Dieses vom Menschen auf ein bestimmtes Ziel (in diesem Falle der Erzeugung eines Chemieprodukts) gelenkte Zusammenwirken verschiedener Bewegungsformen der Materie repräsentiert ein spezifisches Merkmal der technologischen Gesetzmäßigkeiten.

Bei der Alkalichloridelektrolyse in wässriger Lösung wirken z.B. die Dissoziationsgesetze von Elektrolyten, die elektrochemischen Entladungsgesetze, das Le-Chatelier-Braunsche Prinzip, das Überspannungspotential

von Graphit, die Faradayschen Gesetze, Vorgänge an Diaphragmen und weitere integrativ zusammen. Die technischen Einrichtungen (Elektrolysezellen) bewirken ein gerichtetes Zusammenspiel all dieser Teilvorgänge und erzwingen so einen Prozessverlauf, der zu den gewünschten Produkten führt (hier Chlor, Wasserstoff und Natronlauge).

Ein weiteres Spezifikum der Technik und ihrer Gesetzmäßigkeiten ist, dass sie die *Einheit von objektiv Möglichem, technisch Realisierbarem, ökonomisch und ökologisch Vertretbarem und sozial Gewolltem* repräsentieren. Das ist eine Konsequenz aus der dialektischen Einheit von Natürlichem und Gesellschaftlichem in der Technik. Im Einzelnen verbergen sich hinter diesem Merkmal eine Reihe von gesetzmäßigen Beziehungen, die letzten Endes darin bestehen, dass sich die Gesetze der Natur und der Gesellschaft als Komponenten technischer Gesetze in ihrer Wirksamkeit wechselseitig fördern oder auch einschränken, z.T. in ihrer Wirkung aufheben.

So ist die Kernfusion, obwohl naturgesetzlich möglich und sicher auch gesellschaftlich gewollt, gegenwärtig technisch wegen der fehlenden technischen Systeme nicht realisierbar und offensichtlich ökonomisch auch noch nicht vertretbar. Die ökonomische Effektivität von Wärmekraftwerken wird andererseits durch thermodynamische Gesetzmäßigkeiten begrenzt.

Spezifisches Merkmal der Technik ist schließlich die *Vielfalt der Lösungsmöglichkeiten*. Während es in den Naturwissenschaften für die Lösung eines Problems immer nur eine wahre Antwort gibt, nämlich die richtige Widerspiegelung der objektiven Realität, ergeben sich in der Technik auf Grund des komplexen Zusammenwirkens naturwissenschaftlicher, gesellschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten immer mehrere mögliche Lösungen eines Problems. Für die Erzeugung eines bestimmten chemischen Produkts ist es z.B. möglich, von sehr unterschiedlichen Ausgangsstoffen auszugehen, ebenso können die Verfahrenswege verschiedenartig gestaltet sein oder die Verfahrensbedingungen bei der Durchführung einzelner technologischer Grundprozesse in weiten Grenzen variiert werden. Es können auch sehr unterschiedliche Reaktortypen für die Realisierung eines bestimmten Grundprozesses eingesetzt werden. So finden beim Rösten von Erzen sowohl Drehrohröfen als auch Etagenöfen Verwendung, die Elektrolyse von Alkalichlorid-Lösungen wird in Diaphragma- oder in Quecksilberzellen durchgeführt.

Dieses Merkmal der Multipotenz bestimmt die Methodologie der Technologie in starkem Maße und ist einer der Faktoren ihrer hohen Entwicklungsdynamik. Sie ermöglicht ebenso die im konkreten Fall vorliegenden Bedingungen technischer, ökonomischer und sozialer Art in weiten Grenzen zu berücksichtigen.

Auf der Basis der hier dargestellten Positionen zur Spezifik der Technik kann nun eine *Bestimmung der Technologie als Wissenschaft* vorgenommen werden.

Die Technologie ist eine Technikwissenschaft. Ihr *Gegenstand* sind die mittels technischer Systeme an Arbeitsgegenständen durchgeführten Bearbeitungsvorgänge innerhalb des Produktionsprozesses (Abb.4.8.).

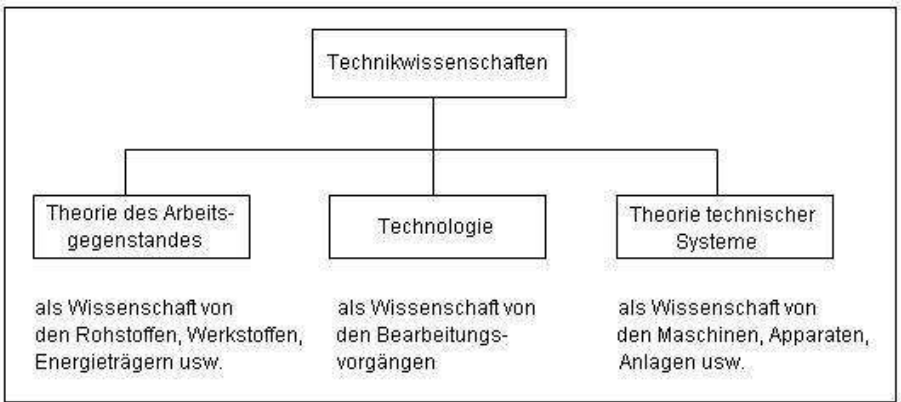


Abb. 4.8. Gliederung der Technikwissenschaften

Es ist ihre *Aufgabe*, die Elemente des technologischen Systems - die technologischen Grundvorgänge - hinsichtlich ihrer Struktur, ihrer Wirkprinzipien und ihrer Einsatzparameter zu untersuchen und darzustellen. Sie deckt neue Wirkprinzipien im Zusammenhang mit der fortschreitenden Naturerkenntnis und den sich entwickelnden gesellschaftlichen Bedürfnissen auf und schafft Voraussetzungen für ihre praktische Nutzung. Die Technologie untersucht weiterhin Gesetzmäßigkeiten der Verknüpfung technologischer Grundvorgänge zu vollständigen technologischen Systemen innerhalb des Produktionsprozesses sowie Prinzipien der Optimie-

rung des Zusammenwirkens der einzelnen Elemente des Produktionsprozesses unter Berücksichtigung technischer, ökonomischer, ökologischer und sozialer Kriterien.

Die *Gesetze der Technologie* sind nicht auf angewandte Naturgesetze reduzierbar. Sie stellen vielmehr finaldeterminierte Aussagen über das vom Menschen gerichtete komplexe Wirken von Naturvorgängen zur gewollten Änderung von Arbeitsgegenständen dar. Sie besitzen *Systemcharakter*, der sich aus dem komplexen Wirken von natürlichen und gesellschaftlichen Komponenten ergibt. Die Aussagenstruktur technologischer Gesetze wird durch die Zweckangabe, die wirkenden Elemente und Faktoren sowie deren Wechselwirkung bestimmt.

Nach der Art der erfassten Erscheinungen lassen sich drei Klassen technologischer Gesetze unterscheiden:

- Funktionsgesetze (Vorgangs- und Prozessverlauf abbildende Gesetze)
- Strukturgesetze (Zustandsabbildende Gesetze)
- Entwicklungsgesetze (Historische Veränderungen abbildende Gesetze)

Die *Struktur der Wissenschaft Technologie* umfasst eine Reihe von Teildisziplinen. Zunächst wird zwischen allgemeiner und spezieller Technologie unterschieden.

Die *allgemeine Technologie* abstrahiert weitgehend von den konkreten Bedingungen der Arbeitsgegenstände, der Produkte und der Produktionsprozesse. Mit vorwiegend generalisierenden und vergleichenden Methoden untersucht sie das Gesamtsystem der Bearbeitungsvorgänge sowie die Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien der Verknüpfung und Kombination der Elemente des Produktionsprozesses unter Systemaspekt. Gegenstand der allgemeinen Technologie sind die Invarianten der Produktionsprozesse, ihre Gemeinsamkeiten hinsichtlich der technologischen Elemente, Strukturen und Kopplungen.

Die *spezielle Technologie* hat die konkreten Produktionsprozesse zum Gegenstand. Als *Erzeugnistechnologie* stellt sie die technologische Seite der Produktionsprozesse zur Herstellung bestimmter Produkte dar (Maschinenbautechnologie, chemische Technologie, Technologie der Energiewirtschaft, Agrartechnologie, Bautechnologie, Transporttechnologie usw.). Die *Vorganstechnologien* behandeln die technologischen Grundvorgänge bestimmter Bearbeitungsklassen innerhalb abgegrenzter Produktionsbereiche systematisch und hinsichtlich ihrer konkreten Wirkungsbedingungen, aber ohne Bindung an einen bestimmten Produktionsprozess (Fertigungstechnologie, Verfahrenstechnologie, Verarbeitungstechnologie, Fördertechnologie usw.). Sie bilden historisch die Brücke zwischen den Erzeugnistechnologien und der allgemeinen Technologie (Abb.4.9.).

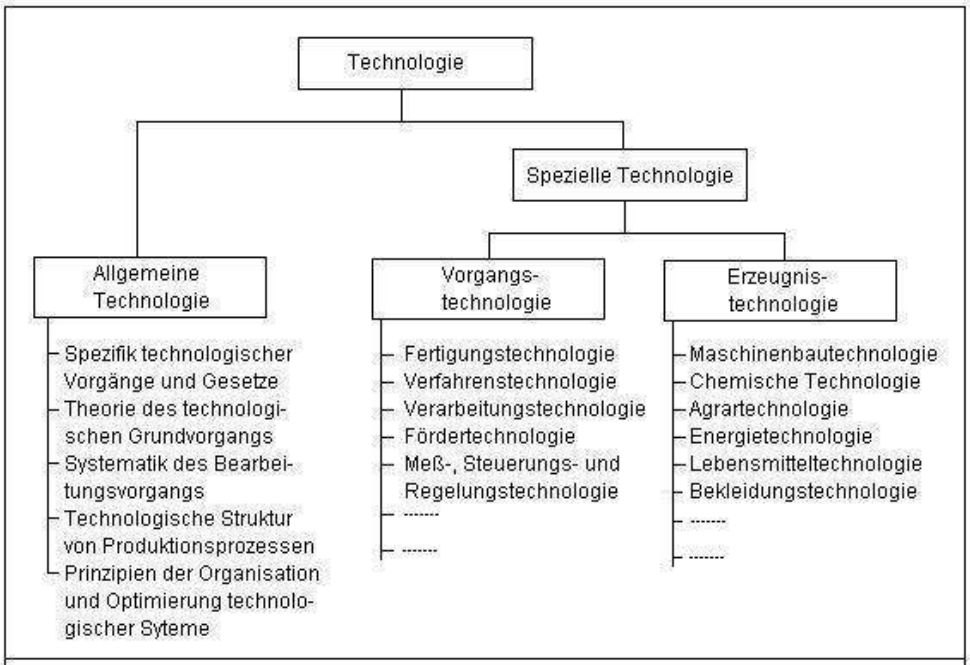


Abb. 4.9. Gliederung der Technologie als Wissenschaft

4.5. Allgemeine Technologie als Zweig und Grundlagendisziplin der Technologiewissenschaften

Die allgemeine Technologie ist die theoretische Grundlagendisziplin der Technologie-wissenschaften. Sie findet ihre objektive Basis in der Tendenz zur Vereinheitlichung der Produktionssysteme als dialektischer Komponente eines sich gleichzeitig vollziehenden Differenzierungs- und Spezialisierungsprozesses von Maschinenwelt und Bearbeitungsvorgängen.

Dieser Prozess der Herausbildung relativ einheitlicher Grundstrukturen technischer und technologischer Systeme zeigt sich besonders anschaulich auf folgenden Gebieten:

- Der universelle Übergang zu automatischen Maschinensystemen hat zur Konsequenz, dass der Informationsteil dieser Systeme auch in sehr unterschiedlichen Produktionsprozessen im Prinzip völlig gleichartig ist, weil überall gleichartige Operationen zur Steuerung der Systeme und Prozesse durchzuführen sind. Ähnliches gilt für den Energieteil der modernen Maschinerie. Sehr unterschiedliche Bearbeitungsabläufe weisen zunehmend gleichartige energetische und informatorische Prozesse auf.
- Der Übergang zu industriemäßigen Technologien in den Volkswirtschaftsbereichen, die nicht zur Industrie gehören (Agrarproduktion, Bauwesen, Transportwesen) vereinheitlicht auch deren Prozessstrukturen.
- Die immer stärkere wissenschaftliche Durchdringung und Gestaltung technologischer Systeme - z.B. durch die bewusste Nutzung allgemeiner technologischer Verfahrensprinzipien zur rationellen Organisation von Produktionsprozessen - vereinheitlicht ebenfalls sehr unterschiedliche Prozessstrukturen.

Die allgemeine Technologie ist demnach die theoretische Widerspiegelung objektiv in der modernen Produktion und Technik entstandener einheitlicher Strukturen und Prozesse. Sie ist zugleich Ausdruck einer qualitativ neuen Entwicklungsstufe der Technologie als Wissenschaft.

Die *allgemeine Technologie* versteht sich heute als Zweig der Technologiewissenschaften, der unter Abstraktion von den konkreten Produktionsprozessen das Allgemeine (die Invarianten) und Wesensmerkmale technologischer Erscheinungen in Form allgemeiner Technikprinzipien herausarbeitet. Sie stellt übergreifende System-, Struktur- und Entwicklungsbetrachtungen an, formuliert allgemeine Theorien im Bereich technologischer Systeme, deckt grundlegende Gesetzmäßigkeiten auf, erarbeitet allgemeine Gestaltungsprinzipien und entwirft ein einheitliches Kategoriengebäude.

Die allgemeine Technologie ordnet die Vielfalt technologischer Erscheinungen unter einheitlichen Gesichtspunkten und entwirft grundlegende Modelle, die technologische Systeme abbilden.

Die *Inhaltsstruktur der allgemeinen Technologie* wird gegenwärtig von folgenden Aussagenbereichen bestimmt:

- Aussagen zum Begriff und Gegenstandsbereich der Technologie, zur Spezifik technologischer Prozesse und Gesetze, zum Platz der Technologie im System der Technikwissenschaften, zu den Triebkräften und Determinanten der Technologieentwicklung sowie zur Funktion der Technologie in der wissenschaftlich-technischen Revolution.
- Aussagen zum technologischen Prozess und seinen Elementen, zum Begriff und zur Struktur des technologischen Grundvorgangs, zu den Wirkfaktoren als konstituierenden Elementen des technologischen Grundvorgangs, zum technologischen Wirkprinzip, zum System der technologischen Grundvorgänge und zur Charakteristik der einzelnen Klassen von Bearbeitungsvorgängen.
- Aussagen zu allgemeinen Prinzipien der rationellen Gestaltung technologischer Systeme unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Bewertungskriterien, d.h. zu Prinzipien der Organisation technologischer Systeme, zu technologischen Prinzipien der rationellen Nutzung von Material und Energie, sowie zu Prinzipien der Ökologisierung von Produktionsprozessen.

4.6. Das technologische System des Produktionsprozesses

In jedem Produktionsprozess wirken drei Hauptfaktoren zusammen:

- die menschliche Arbeitskraft
- der Arbeitsgegenstand
- die Arbeitsmittel.

Sie stellen Teilsysteme des Produktionsprozesses dar, die jeweils von speziellen Wissenschaften untersucht werden. Aus der Wechselwirkung zwischen Arbeitsgegenstand und Arbeitsmittel ergeben sich als weitere Komponente die Bearbeitungsvorgänge. Sie bilden das technologische System des Produktionsprozesses und sind Gegenstand der technologischen Wissenschaften.

Um die Stellung des technologischen Systems innerhalb des Produktionsprozesses und seine Beziehungen zu den anderen Teilsystemen aufzudecken, ist es zweckmäßig, die allgemeine Struktur des Produktionsprozesses sowie die Beziehungen der einzelnen Komponenten zu analysieren und in einem allgemeinen Modell darzustellen. Wir stützen uns dabei auf Untersuchungen von W.PAGEL und H. ZIMMER (Lit.4.13.).

Der *Arbeitsgegenstand* (Z) wird in jedem Produktionsprozess durch die Summe der zielgerichtet zu verändernden Ausgangsstoffe, -energien bzw. -informationen gebildet. Mit Hilfe der *Arbeitsmittel* (AM) werden an ihm Zustandsänderungen (Δ Z) vorgenommen. Die spezifische Art der Wechselwirkung zwischen Arbeitsgegenstand und Arbeitsmittel ergibt einen charakteristischen *Bearbeitungsvorgang*, den technologischen Grundvorgang, (Σ Z). Jedem konkreten Grundvorgang entspricht dabei ein in verhältnismäßig engen Grenzen definierter Typ des Arbeitsmittels (AM_n). Seine Funktion und sein Verhalten, insbesondere aber sein wesensbestimmendes Teilsystem, das Arbeitsorgan, wird durch die herbeizuführende Zustandsänderung, d.h. durch den technologischen Grundvorgang bestimmt.

Die Überführung des Arbeitsgegenstandes aus dem Ausgangszustand (Z_1) in den Endzustand (Z_e) geschieht durch eine Folge von Zustandsänderungen. Die Arbeitsgegenstände durchlaufen dabei bestimmte Zwischenzustände (Z_2 bis Z_n).

Der Zustand des Arbeitsgegenstandes in seinem jeweiligen Bearbeitungsstadium lässt sich durch eine hinreichende Zahl von Parametern (P^n_{Zn}) eindeutig beschreiben. Diese Parameter sind wesentliche Faktoren für die Steuerung und Kontrolle der Bearbeitungsvorgänge.

Der *Mensch* als entscheidende Produktivkraft wirkt über das Arbeitsmittel auf den Arbeitsgegenstand ein und realisiert so den technologischen Grundvorgang, mit dem die beabsichtigten Zustandsänderungen erreicht werden. In welcher Art und Weise der Mensch dabei in den Produktionsprozess einbezogen ist bzw. eingreift, hängt vom Entwicklungsniveau der Arbeitsmittel ab.

Die bisherigen Überlegungen lassen sich in einem *Strukturmodell des Produktionsprozesses* zusammenfassen und veranschaulichen (Abb.4.10.). Es weist die grundlegenden Faktoren aus, die in jedem Produktionsprozess zusammenwirken und verdeutlicht die wesentlichen Beziehungen zwischen ihnen. Es macht die zentrale Stellung des technologischen Systems innerhalb der materiell-technischen Faktoren des Produktionsprozesses sichtbar und veranschaulicht die Integrationsfunktion der Technologie hinsichtlich eines optimalen und koordinierten Zusammenspiels der materiell-technischen Elemente im Produktionsprozess.

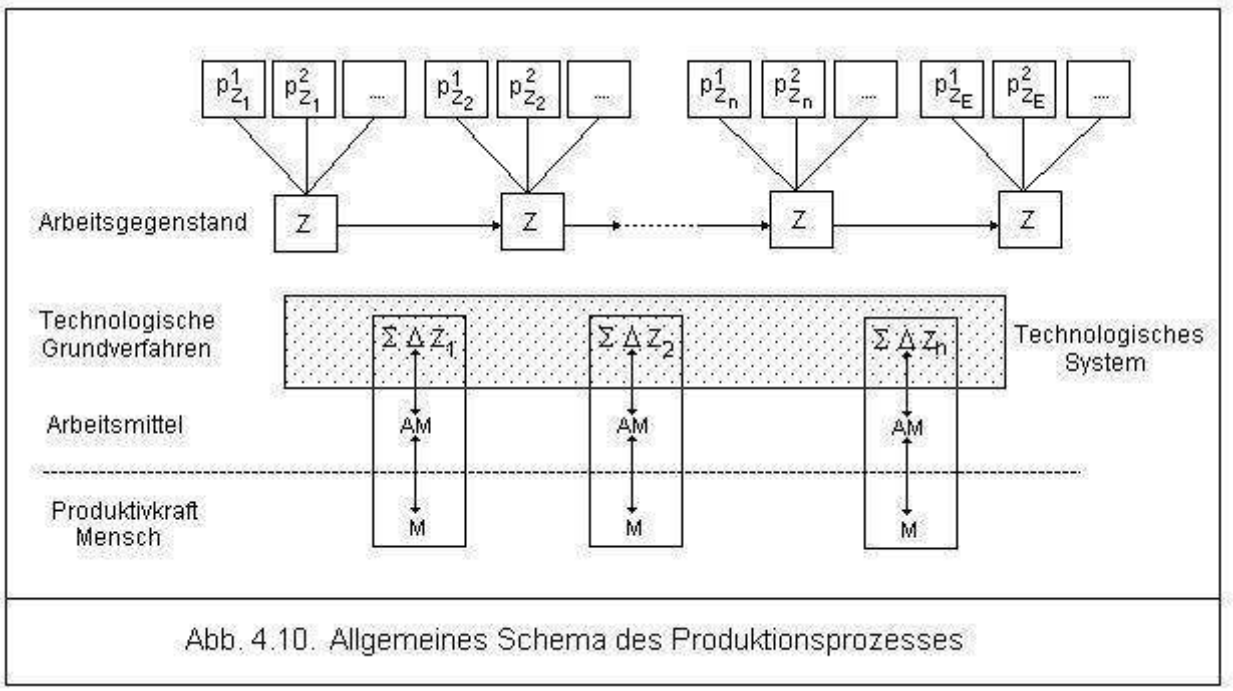


Abb. 4.10. Allgemeines Schema des Produktionsprozesses

Literatur

4.1. K. Karmarsch, Geschichte der Technologie seit der Mitte des 18.Jahrhunderts, München 1872
4.2. J. Beckmann, Anleitung zur Technologie, Göttingen 1777
4.3. J. Beckmann, Entwurf der allgemeinen Technologie, Göttingen 1806
4.4. K. Marx/F.Engels, Werke Bd.23, Berlin 1973
4.5. G. Buchheim/R. Sonnemann, Geschichte der Technikwissenschaften, Basel/Boston/Berlin 1990
4.6. Autorenkollektiv, Allgemeine Geschichte der Technik (2 Bd.), Leipzig 1981 und 1984
4.7. B.I. Iwanow / W.W. Tscheschew, Entstehung und Entwicklung der technischen Wissenschaften, Moskau/Leipzig 1982
4.8. Autorenkollektiv, Wissenschaftlich-technische Revolution und Gesellschaft, Leipzig 1976
4.9. H. Nick, Wissenschaftlich-technische Revolution - historischer Platz, Entwicklungsetappen, soziales Wesen, Berlin 1983
4.10. Autorenkollektiv, Schlüsseltechnologien im Überblick, Leipzig 1989
4.11. Autorenkollektiv, Spezifik der technischen Wissenschaften, Leipzig 1980
4.12. D. Dietrich, Mensch und Technologie, Berlin 1980
4.13. W. Pagel / H.Zimmer, Zur Bestimmung des Gegenstandes der Wissenschaft Technologie und ihrer allgemeinen Methodologie, Deutsche Zeitschrift für Philosophie 3/1963, Berlin
4.14. G. Ropohl, Prolegomena zu einem neuen Entwurf der allgemeinen Technologie, Kiel 1984
4.15. G. Ropohl, Eine Systemtheorie der Technik (Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie), München 1979
4.16. J. Hölzl, Allgemeine Technologie, Schriftenreihe des Instituts für Technologie und allgemeine Warenwirtschaftslehre der Wirtschaftsuniversität Wien, Bd. 1/1984
4.17. G. Banse / H. Wendt, Erkenntnismethoden in den Technikwissenschaften, Berlin 1986
4.18. R. Becks /G. Ropohl, Produktion, Bad Salzdetfurth 1984
4.19. G. Ropohl, Allgemeine Technologie - Eine Systemtheorie der Technik, Wien/München 1999

II. Teil – TECHNOLOGISCHE GRUNDVORGÄNGE

5. Elemente des technologischen Prozesses

5.1. Naturvorgänge und technologische Vorgänge

In den Produktionsprozessen nutzt der Mensch Naturvorgänge, um die Arbeitsgegenstände zu verändern und in die gewünschten Produkte umzuwandeln. Alle technologischen Vorgänge beruhen auf Naturvorgängen. Sie sind in steigendem Maße bewusst genutzte Naturerkenntnis. Die Entdeckung neuer Naturprozesse, das Aufhellen wissenschaftlicher Zusammenhänge im Naturgeschehen, das tiefere Eindringen in naturgesetzliche Beziehungen eröffnet zugleich immer auch neue und rationellere Möglichkeiten der Gestaltung technologischer Vorgänge.

Diese Gemeinsamkeiten zwischen Naturvorgängen und technologischen Vorgängen dürfen aber nicht zu ihrer Gleichsetzung führen. Bei den technologischen Vorgängen handelt es sich nicht schlechthin um angewandte Naturvorgänge. Bei aller Gemeinsamkeit gibt es zwischen ihnen auch qualitative Unterschiede, die sich in spezifischen Merkmalen ausdrücken und beiden eine eigene Qualität zukommen lassen.

Stellen wir deshalb Naturvorgänge und technologische Vorgänge vergleichend gegenüber. Ein überzeugendes Beispiel einer solchen Gegenüberstellung stammt von L.AGOSTON. Er vergleicht radioaktive Zerfallsprozesse in der Natur und in einem Kernreaktor. "Die in der Natur und im Kernreaktor ablaufenden Reaktionen sind z.B. beide objektive Naturprozesse, trotzdem besteht zwischen ihnen ein prinzipieller Unterschied. Der sich im Reaktor abspielende Prozess ist insofern von der menschlichen Tätigkeit abhängig, als er sich nicht in natürlicher Spontaneität, nicht in der vom Menschen noch unberührten Natur, sondern in einem vom Menschen geschaffenen künstlichen Milieu, unter künstlichen , von ihm bestimmten Bedingungen vollzieht. Dieser technische Prozess wird vom Menschen herbeigeführt und zu bestimmten Zwecken aufrechterhalten. Die technisch angewendeten Naturkräfte und Prozesse sind also bereits vergesellschaftlichte, vermenschlichte Naturfaktoren, die der Mensch bereits erkannt hat und auch praktisch verwerten kann. Er regelt, kontrolliert und lenkt ihre Tätigkeit und lässt sie als Machtmittel auf andere Dinge seinem Zweck gemäß einwirken." (Lit.5.1.,S.120).

Noch deutlicher wird die Spezifik technologischer Vorgänge gegenüber den Naturprozessen, wenn wir uns den Hochofenprozess ansehen, in dem aus Eisenerz Roheisen erzeugt wird. Unter den Bedingungen einer oxidierenden Atmosphäre auf der Erde kann dieser Prozess in der Natur nicht von selbst ablaufen, sondern nur der umgekehrte Vorgang. Stahl und Eisen oxidieren unter dem Einfluss von Luftsauerstoff und Wasser. Im Hochofen schafft der Mensch nun künstliche Bedingungen, unter denen die gewünschte Reaktion der Reduktion von Eisenoxid zu Eisen erfolgen kann: entsprechende Temperaturen, die Anwesenheit eines Reduktionsmittels (Kohlenmonoxid), Einsatz von Zuschlagstoffen, damit die Gangart des Erzes in leichtflüssige Schlacke umgewandelt wird, und eine Reihe weiterer Bedingungen.

An diesem Beispiel wird deutlich, dass in technologischen Vorgängen im Allgemeinen nicht nur ein einzelner Naturvorgang wirksam ist. Für technologische Vorgänge ist vielmehr das komplexe Zusammenwirken mehrerer, meist einer Vielzahl von Naturvorgängen kennzeichnend.

Durch die vom Menschen gestalteten Bedingungen und die zur Durchführung der Bearbeitungsvorgänge eingesetzten Maschinen und Apparate wird eine ganz bestimmte Richtung des Prozessverlaufs erzwungen. Sie stellt gewissermaßen die Resultierende aus dem konkurrierenden Zusammenwirken der jeweils im technologischen Vorgang genutzten verschiedenartigen Naturvorgänge dar.

Aus diesen Überlegungen lassen sich folgende charakteristischen *Merkmale für die technologischen Vorgänge* ableiten:

- Sie sind vom Menschen zur gezielten Veränderung von Arbeitsgegenständen angewandte Bearbeitungsvorgänge und dienen der gesellschaftlichen und individuellen Bedürfnisbefriedigung.
- Sie beruhen auf der bewussten Ausnutzung und Anwendung von Naturvorgängen, wobei jeweils eine Vielzahl von Naturvorgängen in technologischen Vorgängen komplex zusammenwirkt.
- Sie werden mit Hilfe von technischen Systemen (Maschinen und Apparaten) realisiert, durch die der Mensch künstliche Bedingungen für den beabsichtigten Prozessablauf herbeiführt.

- Es werden aus der Vielzahl der möglichen technologischen Vorgänge jeweils die angewandt, für die einerseits die technischen Mittel verfügbar sind und die andererseits den ökonomischen, ökologischen und sozialen Forderungen der Gesellschaft entsprechen.

Naturvorgang	Technologischer Vorgang
* Ergebnis der Wechselwirkung der Materie	* Ergebnis menschlicher Tätigkeit
* Spontan-kausaler Verlauf	* Finaler (zweckgerichteter) Verlauf
* Auf natürliche Komponenten beschränkt	* Komplexer Charakter durch Zusammenwirken natürlicher und gesellschaftlicher Komponenten
* Wechselwirkung natürlicher Systeme	* Durch technische Systeme realisiert

Tabelle 5.1. Spezifik von Naturvorgängen und technologischen Vorgängen

5.2. Technologische Grundvorgänge als Elemente des technologischen Systems von Produktionsprozessen

Jeder Arbeitsgegenstand durchläuft auf seinem Weg vom Ausgangszustand bis zum fertigen Produkt eine Folge von Bearbeitungsvorgängen. Der Arbeitsgegenstand wird dabei schrittweise verändert, bis er alle vom Produkt geforderten Merkmale und Eigenschaften aufweist.

Bei der Herstellung von Briefumschlägen werden z.B. aus dem Papier (in Rollen- und Bogenform) als Ausgangsmaterial zunächst die Zuschnitte ausgeschnitten. Darauf folgen die Gummierung der Schließklappe, das Falzen der Seitenklappen, das Auftragen des Klebstoffs auf die umgelegten Seitenklappen, das Umlegen der Bodenklappe und schließlich das Umlegen der Schließklappe (Abb.5.1.).

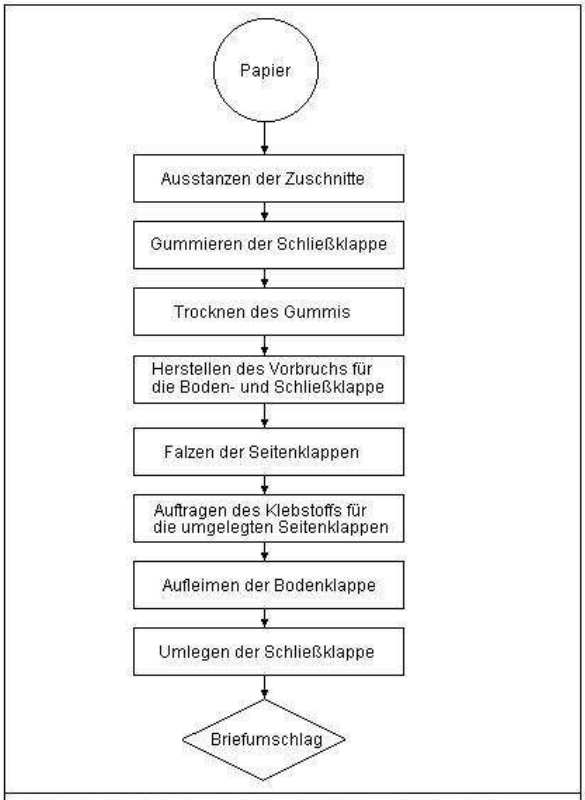


Abb. 5.1. Technologische Kette der Briefumschlagherstellung (Folge der Bearbeitungsvorgönge)

Die einzelnen Bearbeitungsvorgänge können als Elemente des technologischen Gesamtprozesses angesehen werden, weil die durch sie am Arbeitsgegenstand vollzogenen Veränderungen in sich eine technologische Einheit bilden. Diese Veränderungen können durchaus sehr komplexer Natur sein. Jeder Bearbeitungsschritt bildet technologisch aber immer eine Einheit. In diesem Sinne sprechen wir von *technologischer Unteilbarkeit.* Diese technologisch in sich unteilbaren Bearbeitungsvorgänge werden durch die spezifische Art der Wechselwirkung zwischen Arbeitsgegenstand und Arbeitsmittel bzw. der Arbeitsgegenstände untereinander charakterisiert sowie durch die Art der Veränderung des Arbeitsgegenstandes. Wir bezeichnen sie als technologische Grundvorgänge.

Technologische Grundvorgänge sind technologisch in sich unteilbare Bearbeitungsvorgänge, die an Arbeitsgegenständen gezielte Veränderungen hervorrufen und ihnen eine neue Qualität geben. Sie werden durch die spezifische Wechselwirkung von Arbeitsgegenstand und Arbeitsorgan des technischen Systems bzw. der Arbeitsgegenstände untereinander und durch die Art der Veränderung des Arbeitsgegenstandes charakterisiert. Sie basieren auf der komplexen Nutzung von Naturvorgängen. Der Ablauf kann in einem Schritt mit unterschiedlicher zeitlicher Dauer (vgl. Stanzen und Schweißen), in Stufen (z.B. beim Gießen, Nieten) oder in einer Folge elementarer Prozesse (z.B. Sägen, Fräsen) vollzogen werden.

Wenden wir diese Definition auf ein Beispiel an: Das *Fließpressen* ist ein technologischer Grundvorgang, der in der Umformtechnologie verbreitet angewandt wird. Durch einen Stempel wird der Werkstoff schlagartig in ein Gesenk gedrückt. Das Material beginnt zu fließen und füllt den Raum zwischen Stempel und Gesenk. Dieser Vorgang lässt sich weder zeitlich noch apparativ aufspalten. Er ist eine Einheit und in sich unteilbar. Der Werkstoff erhält durch den Vorgang eine neue Form, wird also qualitativ verändert. Diese Form wird durch das Gesenk vorgegeben, d.h. es handelt sich um eine gezielte Veränderung. Dabei ist es für die Spezifik des Fließpressens als technologischem Grundvorgang unerheblich, welche besondere Form das Gesenk hat, ebenso welcher Art der Werkstoff ist (z.B. Plast oder Metall). Sein wesensbestimmendes Merkmal ist die charakteristische Art der Wechselwirkung zwischen dem Arbeitsgegenstand (hier fließfähiger Werkstoff) und dem Arbeitsorgan der Maschine (hier Stempel und Gesenk). Das Fließpressen erfüllt demnach alle Grundforderungen, die sich aus der Definition des technologischen Grundvorgangs ergeben (Abb.5.2.).

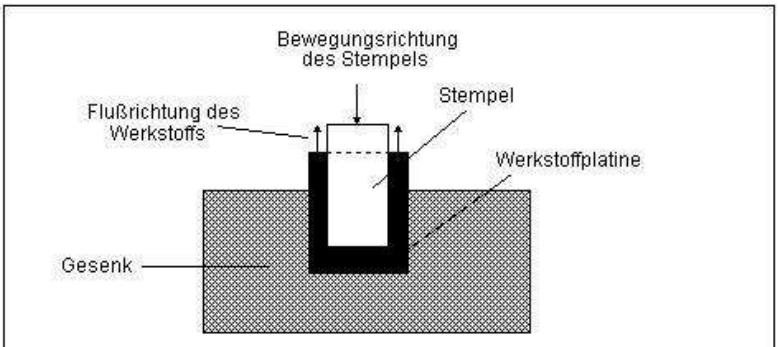


Abb.5.2. Prinzip des Fließpressens

5.3. Wirkfaktoren als Strukturelemente des technologischen Grundvorgangs

Für das tiefere Verständnis des technologischen Grundvorgangs ist es erforderlich, seine innere Struktur zu erfassen und die Relationen zwischen den Strukturelementen aufzudecken.

Jeder technologische Grundvorgang weist eine Reihe von Strukturelementen auf, die unabhängig vom konkreten Bearbeitungsvorgang allen technologischen Vorgängen gemeinsam sind. So wirken in jedem technologischen Grundvorgang drei *materielle Elemente* zusammen:

- der Arbeitsgegenstand als Objekt des Bearbeitungsvorgangs,
- die Operationsenergie als energetische Aufwendung, mit der jede Veränderung des Arbeitsgegenstandes notwendigerweise verbunden ist,

- das Arbeitsorgan als der Teil des technischen Systems, der auf den Arbeitsgegenstand direkt oder indirekt verändernd einwirkt und die zur Veränderung des Arbeitsgegenstandes notwendigen Bedingungen schafft (Abb.5.3.).

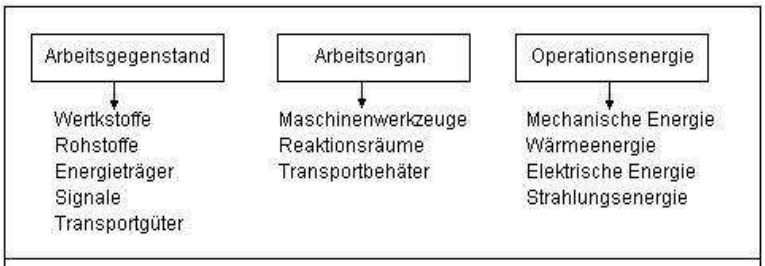


Abb. 5.3. Materielle Elemente, die in jedem technologischen Grundvorgang wirken

Diese materiellen Elemente, durch deren Zusammenwirken der technologische Vorgang realisiert wird, besitzen jeweils eine Summe charakteristischer Eigenschaften und Merkmale, die für die Verfahrensrealisierung wesentlich sind. Diesen Komplex von spezifischen, vorgangsbestimmenden Eigenschaften der materiellen Elemente, die dabei in Wechselwirkung sind, bezeichnen wir als Wirkfaktoren.

Wirkfaktoren sind demnach technologische Größen, die aus dem integrativen Zusammenwirken der zur Zweckrealisierung genutzten natürlichen und technischen Eigenschaften und Prozesse resultieren. Sie umfassen die für die Vorgangsrealisierung *wesentlichen* Eigenschaften und Merkmale der materiellen Elemente des technologischen Grundvorgangs.

Entsprechend den materiellen Elementen lassen sich drei *Klassen von Wirkfaktoren* als Strukturelemente des technologischen Grundvorgangs bestimmen:

- Wirkfaktor *Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes*
- Wirkfaktor *Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans*
- Wirkfaktor *Energetische Wirkbedingungen*

Aus diesen Faktoren (als Strukturelementen) und den zwischen ihnen bestehenden Relationen lässt sich das *Strukturmodell* des technologischen Grundvorgangs entwickeln (Abb.5.4.).

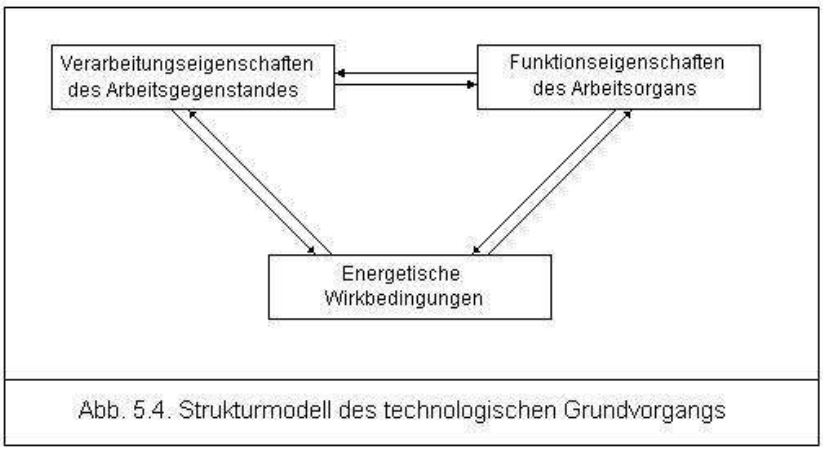


Abb. 5.4. Strukturmodell des technologischen Grundvorgangs

Der *Wirkfaktor Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes* ist wesentliches Strukturelement jedes technologischen Grundvorgangs, weil der Arbeitsgegenstand das Objekt des Bearbeitungsvorgangs ist. Seine Eigenschaften und die zu verändernden Parameter sind sowohl von wesentlichem Einfluss auf die Wahl des anzuwendenden Wirkprinzips als auch für die spezifische Gestaltung des Arbeitsorgans und die Art und Wirkungsweise der Operationsenergie. Dabei spielen in jedem speziellen Fall nur solche Eigenschaften des Arbeitsgegenstandes eine Rolle, die für den Veränderungsvorgang wesentlich sind. Das sind solche, die den Widerspruch zwischen den Parametern des Anfangszustandes und denen des Endzustandes des Arbeitsgegenstandes charakterisieren.

Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes sind eine technologische Größe. Sie stellen jeweils einen charakteristischen Komplex natürlicher Eigenschaften dar, der beim Bearbeitungsvorgang genutzt wird. Das komplexe Zusammenwirken dieser Bearbeitungseigenschaften wird als "Bearbeitbarkeit" durch die betreffende Vorgangsgruppe bezeichnet. Die Verarbeitungseigenschaften können während des Bearbeitungsvorgangs konstant bleiben, sich aber auch ändern.

Beispiele für Verarbeitungseigenschaften sind die Spanbarkeit oder die Druckumformbarkeit von Werkstoffen, die Filtrierbarkeit von Suspensionen oder die Streufähigkeit von Düngemitteln, die Stapelbarkeit von Transportgütern oder die Transformierbarkeit von Elektroenergie.

Der *Wirkfaktor Energetische Wirkbedingungen* ist ein weiteres wesentliches Strukturelement technologischer Grundvorgänge, weil jede Veränderung von Arbeitsgegenständen notwendig mit der Aufwendung von Energie verbunden ist. Er kennzeichnet die Art und Weise, wie die Operationsenergie an der Wirkstelle mit dem Arbeitsgegenstand in Wechselwirkung tritt, in welcher Form sie zugeführt wird und die beabsichtigte Wirkung hervorruft.

Die Operationsenergie wird entweder von außen zugeführt und über das Arbeitsorgan unmittelbar oder mittelbar (vermittels eines Wirkmediums) in Wirkung am Arbeitsgegenstand umgesetzt.

Beim Bohren wird die mechanische Rotationsenergie über den Bohrer an der Wirkstelle (mit dem Wirkpaar Bohrerschneide/Werkstück) in beabsichtigte Wirkung (Bohrung) umgesetzt. Beim autogenen Schweißen wird durch das Arbeitsorgan des Schweißapparates (Brennerdüse) die Schweißflamme als Wirkmedium erzeugt, deren thermische Energie die Verbindung der zu verschweißenden Werkstücke bewirkt.

Eine Ausnahme hinsichtlich der Zuführung von Operationsenergie bilden jene technologischen Vorgänge, die unter einen Potentialgefälle mit Entropiezunahme verlaufen. Die entstehenden Produkte weisen dann einen niedrigeren Energieinhalt auf als die Ausgangsmaterialien. Man könnte in diesen Fällen von der Überlegung ausgehen, dass die Operationsenergie dem Arbeitsgegenstand "entzogen" wird.

Bei exothermen Stoffwandlungsprozessen (z.B. der Chlorwasserstoffsynthese) verläuft der Prozess nach einmaliger Zufuhr einer Aktivierungsenergie ohne weitere äußere Energiezufuhr, weil das Reaktionsprodukt ein niedrigeres Energiepotential als die Ausgangsstoffe hat. Beim Schwerkraftfördern bewegt sich das Transportgut unter dem Einfluss des Gravitationsfeldes von einem höheren Ort zu einem tiefer gelegenen. Dabei wird die im Arbeitsgegenstand gespeicherte potentielle Energie wirksam. Auch die Übertragung von Elektroenergie erfordert wegen des vorhandenen Spannungsgefälles keine äußere Zufuhr von Operationsenergie.

Die Operationsenergie tritt an der Wirkstelle bzw. im Wirkraum mit dem Arbeitsgegenstand in Wechselwirkung. Die Art der aufzuwendenden Energie wird dabei einerseits durch das Wirkprinzip und andererseits durch die Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes bestimmt. Die dem technischen System zugeführte Operationsenergie unterliegt auf ihrem Weg innerhalb des technischen Systems mannigfaltigen Umformungen und Umwandlungen. Die an der Wirkstelle auftretende und unmittelbar die Veränderung bewirkende Form der Operationsenergie bezeichnen wir als *Wirkenergie.*

Als wesentliche *energetische Wirkbedingungen* können zusammenfassend genannt werden:

- die Art der Operationsenergie
- die Wirkenergiepaarung (d.h. die Umwandlung der zugeführten Operationsenergie an der Wirkstelle in verfahrenswirksame Energie)
- die Energiedichte an der Wirkstelle
- die Art der zeitlichen Einwirkung der Energie (kontinuierlich, periodisch).

Einen dritten Wirkfaktor bilden die *Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans*.

An dieser Stelle ist es notwendig, einen kurzen *Exkurs zur Struktur technischer Systeme* einzublenden, um den Begriff des Arbeitsorgans näher zu bestimmen.

Ähnlich wie sich im Bereich der technologischen Wissenschaften unter dem Einfluss der Integrationstendenz die allgemeine Technologie herausbildet, vollzieht auch im Bereich der technischen Systeme die Konstituierung einer allgemeinen, alle technischen Mittel umfassenden *Theorie technischer Systeme*. Ihr Gegenstand sind die allen technischen Gebilden gemeinsamen Elemente, Strukturen und Organisationsprinzipien. Für

unsere Betrachtungen ist eines der allgemeinen Modelle dieser Theorie von Interesse, die *Organstruktur technischer Systeme*.

Bei aller Verschiedenheit und Vielfalt der gegenwärtigen Technik besitzt sie doch weitgehende Gemeinsamkeiten hinsichtlich ihrer Struktur. Erste Hinweise auf Strukturprinzipien der Technik finden sich bereits bei MARX. Danach besteht alle "entwickelte Maschinerie aus drei wesentlich verschiedenen Teilen, der Bewegungsmaschine, dem Transmissionsmechanismus, endlich der Werkzeugmaschine oder Arbeitsmaschine" (Lit.5.2., S.393). Dieser von MARX unternommene Strukturierungsversuch der technischen Systeme seiner Zeit geht von den technologischen Funktionen aus, die die Teilsysteme innerhalb des Gesamtsystems ausüben. Er stellt also nicht die konstruktiven Charakteristika in den Mittelpunkt, sondern funktionale Kriterien. Ein solcher Betrachtungsaspekt ist außerordentlich fruchtbar. Mit ihm lässt sich jedes beliebige, noch so unterschiedliche konstruktive Elemente aufweisende technische System einer einheitliche Analyse unterziehen. Die funktionale Analyse ist darüber hinaus ein wichtiges Mittel, das Wesen eines technischen Systems hinsichtlich seiner Funktion im Produktionsprozess schnell und sicher zu erfassen.

Analysiert man technische Systeme unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Entwicklungsstandes auf die von ihren Teilsystemen realisierten technischen Funktionen, so findet man 8 technische Grundfunktionen:

- Bearbeitungsfunktion
- Übertragungsfunktion
- Führungsfunktion
- Positionierungsfunktion
- Antriebsfunktion
- Steuerungsfunktion
- Optimierungsfunktion
- Stützfunktion

Jede dieser Funktionen kann innerhalb des technischen Systems von einem entsprechenden Teilsystem realisiert werden. Diese Teilsysteme bezeichnen wir als *Funktionsorgane. Entsprechend* den technischen Grundfunktionen lassen sich acht Funktionsorgane unterscheiden (Tabelle 5.2.).

Funktionsorgan	Symbol	Funktionen
Arbeitsorgan	AbO	Bearbeiten
Stützorgan	SzO	Stützen, Verbinden, Kräfte aufnehmen
Übertragungsorgan	ÜbO	Weiterleiten, Umformen von Energie
Führungsorgan	FüO	Begrenzen der Freiheitsgrade von AbO und Wirkmedien
Positionierungsorgan	PsO	Fixierung und Zwangsführung des Arbeitsgegenstandes
Antriebsorgan	AnO	Hervorbringung der prozeßgerechten Operationsenergie
Steuerungsorgan	StO	Einstellen, Prüfen, Meßwerterfassen, Abruf gespeicherter Informationen
Optimierungsorgan	OpO	Verarbeitung von Prozeßinformationen, Bestimmung optimaler Prozeßbedingungen

Tabelle 5.2. Funktionsorgane technischer Systeme

Im Einzelnen definieren wir:

Arbeitsorgane (AbO) sind die wesensbestimmenden Teilsysteme technischer Funktionssysteme (das sind solche, die technologische Grundvorgänge realisieren). Sie treten an der Wirkstelle oder im Wirkraum mit dem Arbeitsgegenstand in Wechselwirkung, indem sie direkt verändernd auf ihn einwirken, oder seine Veränderung über ein Wirkmedium bzw. eine Wirkenergie herbeiführen oder Bedingungen für die Wechselwir-

kung von Arbeitsgegenständen schaffen und aufrecht erhalten. Arbeitsorgane können aus einem System zusammenwirkender Bauteile bestehen. Mit dem Arbeitsgegenstand bilden sie ein Wirkpaar. Die zugeführte Operationsenergie wird bei der Wirkpaarung in Wirkung am Arbeitsgegenstand umgesetzt.

Übertragungsorgane (ÜbO) sind Teilsysteme, die die Weiterleitung, Umformung und Anpassung der Operationsenergie an die Prozessbedingungen innerhalb des technischen Systems gewährleisten.

Führungsorgane (FüO) sind Teilsysteme, die die Freiheitsgrade des Arbeitsorgans, des Wirkmediums und der Wirkenergie einengen und nur die für die Durchführung des technologischen Grundvorgangs notwendigen Relativbewegungen zwischen Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand zulassen.

Positionierungsorgane (PsO) sind Teilsysteme zur Fixierung und Zwangsführung des Arbeitsgegenstandes.

Antriebsorgane (AnO) sind Teilsysteme, die die dem technologischen Grundvorgang adäquate Operationsenergie hervorbringen.

Steuerungsorgane (StO) sind Teilsysteme, die durch Einstellen, Messwerterfassen, Prüfen oder durch Abruf gespeicherter Informationen vorgegebene technologische Programme durchzuführen gestatten.

Optimierungsorgane (OpO) sind Teilsysteme, die den technologischen Prozess variabel und optimal durchzuführen gestatten, indem sie laufend Informationen über den Ablauf des Prozesses aufnehmen, dabei sich ändernde Prozessparameter berücksichtigen, über Prozessrechner verarbeiten und dem Steuerungsorgane optimierende Befehle übermitteln.

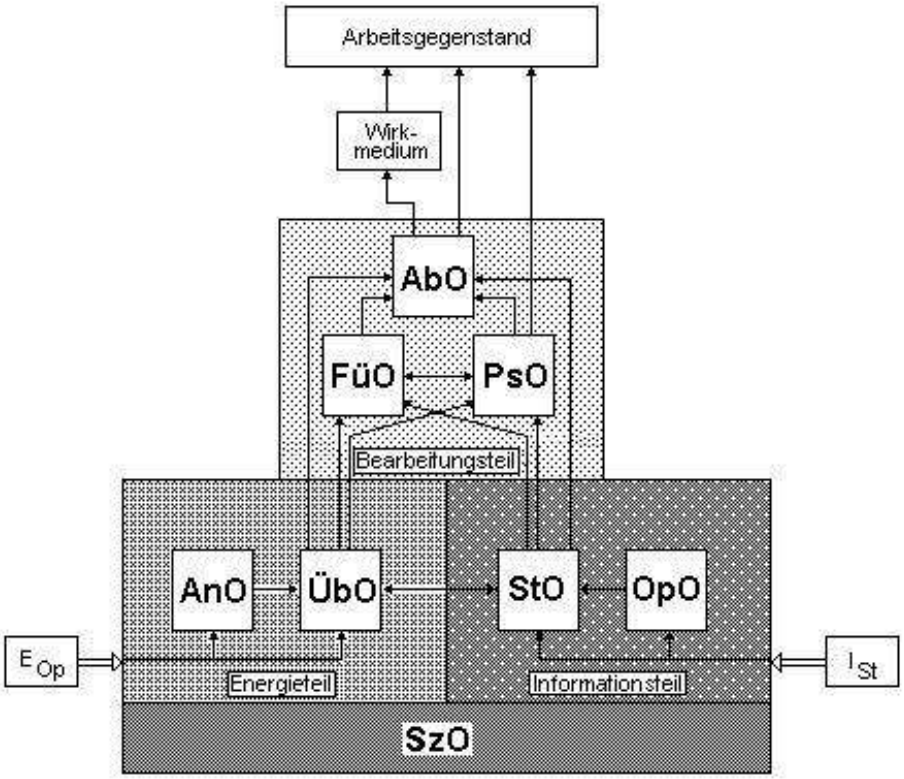
Stützorgane (SzO) sind Teilsysteme, die die Funktionsorgane eines technischen Systems zu einer funktionalen Einheit verbinden, sie in einer bestimmten Lage halten und die auf sie wirkenden Kräfte aufnehmen.

Funktionssystem	Organstruktur	Beispiele
Werkzeuge	AbO FüO	Hammer, Meißel, Nähnadel, Bügelsäge, Spaten, Messer
Geräte	AbO FüO ÜbO	Handbohrgerät, Pflug, Handwagen, Flaschenzug
Einfache Maschinen	AbO FüO PsO SzO ÜbO	Nähmaschine (fußgetrieben), Schreibmaschine
Klassische Maschinen	AbO FüO PsO SzO ÜbO AnO	Drehmaschine, Windmühle, Ventilator, Bagger, Betonmischer
Programmgesteuerte Maschinen	AbO FüO PsO SzO ÜbO AnO StO	NC-gesteuerte Werkzeugmaschinen, Waschautomat
Kybernetische Maschinen	AbO FüO PsO SzO ÜbO AnO StO OpO	Mikroprozessorgesteuerte Produktionsanlagen

Tabelle 5.3. Organstruktur technischer Systeme

Zwischen den einzelnen Funktionsorganen bestehen bei aller Spezifik und Differenziertheit unterschiedlicher Typen technischer Systeme charakteristische Kopplungen. Sie ergeben sich aus den Aufgaben der Funktionsorgane bei der Realisierung des Stoff-, Energie- und Informationsflusses im Bearbeitungsprozess. Diese Zusammenhänge lassen sich in einem *allgemeinen Strukturmodell technischer Systeme* darstellen (Abb.5.5.).

Dieses Modell gilt für die Hierarchieebene der sog. Funktionssysteme, d.s. solche technischen Systeme, die jeweils einen technologischen Grundvorgang realisieren können. Sie können ein sehr unterschiedliches Entwicklungsniveau aufweisen. Die einzelnen Entwicklungsstufen unterscheiden sich vor allem durch die Art und die Zahl ihrer Funktionsorgane (Tabelle 5.3.).



Funktionen des Bearbeitungsteils

* Einwirken (direkt / indirekt) auf den Arbeitsgegenstand
* Positionieren des Arbeitsgegenstandes
* Führen des Arbeitsorgans

Funktionen des Energieteils

* Bereitstellen der Operationsenergie
* Umformen, Anpassen, Weiterleiten der Operationsenergie

Funktionen des Informationsteils

* Einstellen, Prüfen, Meßwerterfassen, Abruf gespeicherter Informationen
* Verarbeitung von Prozeßinformationen zur Optimierung des Gesamtprozesses

Funktionen des Stützorgans

* Stützen, Verbinden und Fixieren der Teilsysteme in bestimmter Lage
* Kräfte aufnehmen

Abb. 5.5. Allgemeines Organstrukturmodell technischer Systeme

Die schrittweise zunehmende Komplexität der Funktionssysteme vom Werkzeug bis zur kybernetischen Maschine widerspiegelt zugleich Entwicklungsetappen der Technik. Die einzelnen Stufen unterscheiden sich vor allem dadurch, dass Arbeitsfunktionen des Menschen auf die Technik übertragen wurden, was sich im Auftreten neuer Funktionsorgane zeigt (Abb.5.6.).

Wir wollen unseren Exkurs in die Theorie technischer Systeme abschließen. Die zum Verständnis des Arbeitsorgans und seiner Funktionseigenschaften notwendigen Grundlagen sind damit erläutert.

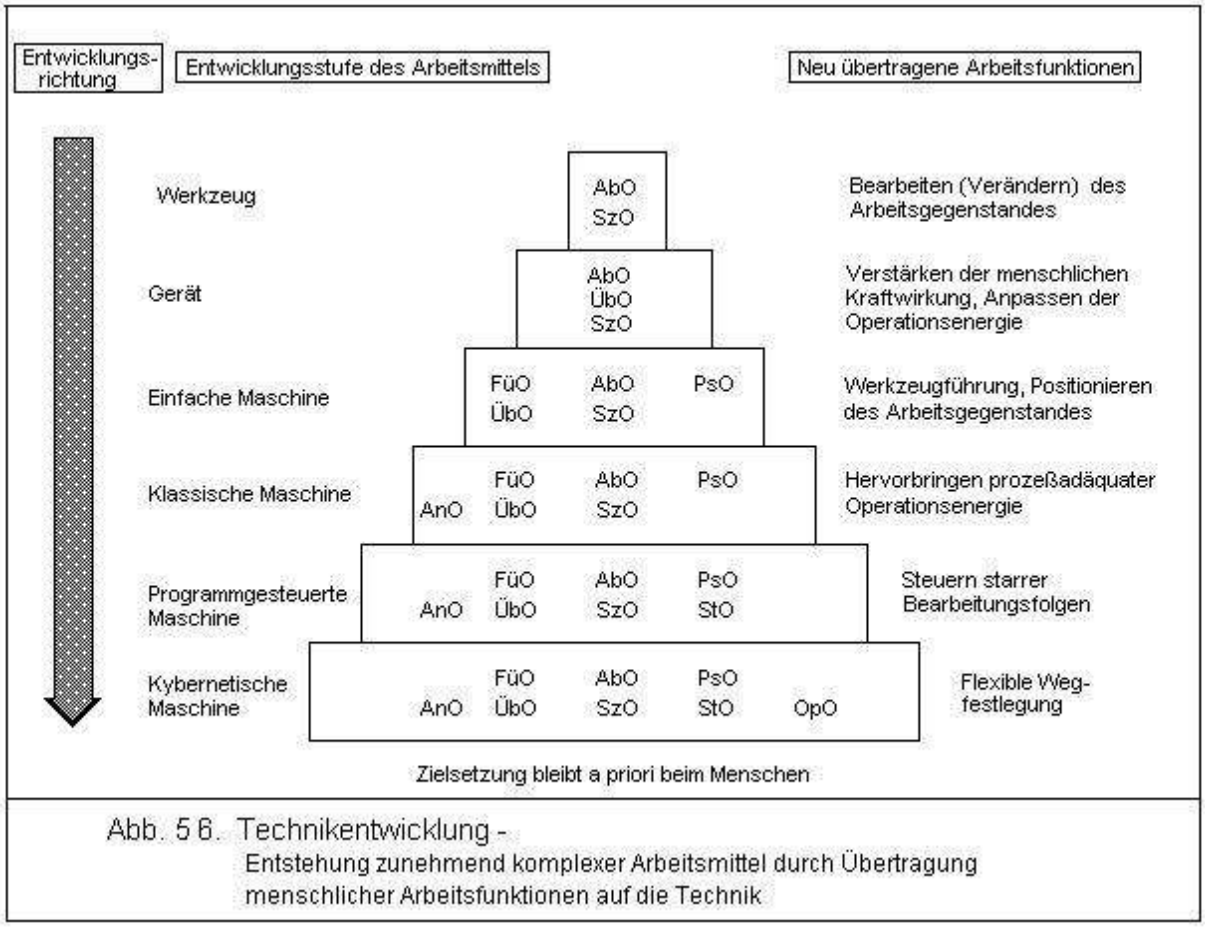


Abb. 5 6. Technikentwicklung -
Entstehung zunehmend komplexer Arbeitsmittel durch Übertragung menschlicher Arbeitsfunktionen auf die Technik

Unter *Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans* verstehen wir die für den Bearbeitungsvorgang wesentlichen Qualitäten des Arbeitsorgans (einschließlich des Wirkmediums). Sie beziehen sich auf zwei Teilfunktionen: die unmittelbare technologische Veränderung des Arbeitsgegenstandes sowie zum anderen die Schaffung bzw. Aufrechterhaltung von Bedingungen, die die Veränderung ermöglichen. Verallgemeinernd kann man sagen, dass die charakteristischen Merkmale des Arbeitsorgans an der Wirkstelle die Funktionseigenschaften ausmachen.

Eine wichtige Größe ist die *Grundwirkform des Arbeitsorgans*. Als Beispiele seien genannt Keil (für spanende Werkzeuge), Walze (für stoffumformende Werkzeuge), Sieb und Düse. Die Grundwirkform des Arbeitsorgans kann aber auch ein Wirkpaar sein, z.B. Zylinder/Kolben (beim Druckgießen), Matrize/Stempel (beim Kunststoffpressen), Düse/Druckschnecke (beim Plastspritzen), Stator/Rotor (beim Elektromotor), Düse/Prallplatte (bei pneumatischen Messgeräten).

Von der Grundwirkform des Arbeitsorgans leiten sich verschiedene *Grundformen der Arbeitsorgane* ab: vom Keil z.B. Meißel, Bohrer, Fräser, Säge, Schleifkörper.

Eine weitere Funktionseigenschaft ist die *Art der Einwirkung* des Arbeitsorgans auf den Arbeitsgegenstand. Sie kann direkt erfolgen, wie das bei der spanenden Bearbeitung der Fall ist. Die indirekte Einwirkung geschieht über stoffliche Wirkmedien (z.B. Festkörper oder Flüssigkeiten) oder über energetische Wirkmedien (Strahlung, elektrische oder magnetische Felder)

Schließlich sind die *Wirkeigenschaften* des Arbeitsorgans wichtige Komponenten der Funktionseigenschaften. Sie betreffen Eigenschaften wie Standzeitverhalten, Temperatur-beständigkeit, energetische Leitfähigkeit u.ä.

Zusammenfassend können wir formulieren: Wirkfaktoren sind grundlegende Strukturelemente technologischer Grundvorgänge. Sie erfassen die für den Bearbeitungsvorgang wesentlichen Eigenschaften von Arbeitsgegenstand, Operationsenergie und Arbeitsorgan. Sie stehen in enger Wechselbeziehung zueinander.

5.4. Das technologische Wirkprinzip

Der Begriff technologisches Wirkprinzip gehört zu den zentralen Kategorien der Technologie. Er drückt das Wesen technologischer Vorgangsabläufe aus, indem er die im Prozess wirkenden Elemente (die Wirkfaktoren) charakterisiert und in ihrem gesetzmäßigen Zusammenwirken beschreibt (Abb.5.7.).

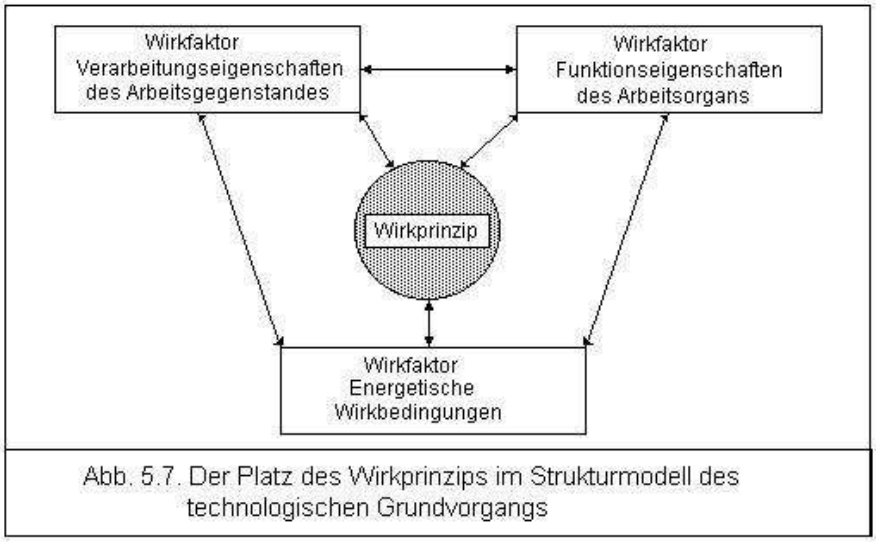


Abb. 5.7. Der Platz des Wirkprinzips im Strukturmodell des technologischen Grundvorgangs

Die Technologiewissenschaft hat sich erst in der jüngsten Zeit dem als Wirkprinzip bezeichneten, offensichtlich sehr komplexen, durch naturwissenschaftliche, technologische und technische Faktoren bestimmten Sachverhalt zugewandt. Der Ausgangspunkt für dieses Interesse war das Bemühen, das Wesen technologischer Vorgänge tiefer zu erfassen.

Die ersten Versuche, den Begriff "Wirkprinzip" einzuführen, finden sich in den fünfziger Jahren (Lit.5.3., 5.4.). Von den Autoren LOHMANN und GEIGER wird das Wirkprinzip als "die prinzipielle Art und Weise, in der eine Wirkung erzielt wird" aufgefasst, ohne dass sie die in dieser Allgemeinheit sicher richtige Auffassung näher präzisieren.

In den siebziger Jahren setzte sich der Begriff nach einer breit geführten Diskussion allgemein durch. Dabei wurden allerdings sehr unterschiedliche Standpunkte zum Begriffsinhalt sichtbar, die zum Teil bis heute fortwirken. Die Aussagen bewegen sich in einem breiten Feld zwischen der Erfassung naturwissenschaftlicher Grundlagen bis zur Darstellung der technisch-ökonomischen Realisierung. So wird beispielsweise von MECK, NEUBAUER und SCHIRMER (Lit.5.5., 5.6.,5.7.) das Wirkprinzip mit dem dem technologischen Grundverfahren zugrunde liegenden naturwissenschaftlichen Effekt gleichgesetzt. BERTOLDI (Lit.5.8.) ordnet das Wirkprinzip der naturwissenschaftlichen Fragestellung nach dem Ursache-Wirkungs-Verhältnis zu, möchte aber Wirkprinzipien und naturwissenschaftliche Effekte nicht gleichsetzen. Er führt den Gedanken ein, das Wirkprinzip als Operator aufzufassen, der auf einen bestimmten Anfangszustand angewandt zu einem bestimmten Endzustand führt.

In den achtziger Jahren wurde die Problematik insbesondere aus der Sicht der allgemeinen Technologie weiter ausgearbeitet, wobei die Frage nach Wirkprinzipien als Typ technologischer Gesetze (FRANKE, Lit.5.9.) und die qualitative und quantitative Formulierung technologischer Wirkprinzipien für stoff-, energie- und informationsändernde Vorgänge im Zentrum des Interesses standen (FRÜCHTEL, HEIN, HAMMER-SCHMIDT) (Lit.5.10).

Diese Vertreter gehen von der Zweck-Mittel-Relation aus, die im Wirkprinzip erfasst werden soll, und reihen das Wirkprinzip konsequent in die technologischen Kategorien ein.

Es soll in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, dass der Begriff "Wirkprinzip" nicht nur auf technologische Vorgänge (d.h. auf die Wechselwirkung zwischen Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand) angewandt wird, sondern auch auf Vorgänge innerhalb der technischen Systeme (d.h. Vorgänge zwischen den Funktionsorganen). Um eine klare Trennung zwischen beiden auch von der Bezeichnung her sichtbar zu machen, sprechen wir bei den technologischen Vorgängen vom Wirkprinzip, während für Vorgänge in technischen Systemen die Bezeichnung Funktionsprinzip verwendet wird.

Auf der Basis des gegenwärtigen Erkenntnisstandes lässt sich folgende *Charakteristik des technologischen Wirkprinzips* geben:

Das technologische Wirkprinzip repräsentiert einen grundlegenden Typ technologischer Gesetze. Es gehört zur Klasse der Funktionsgesetze und erfasst das Wesen technologischer Vorgänge auf der Hierarchieebene der Vorgangsgruppe. Es macht Aussagen über den durch technische Mittel erzwungenen und vom Zusammenspiel der Wirkfaktoren bestimmten Vorgangsverlauf. In diesem Sinne ist es ein Operator, der - auf einen bestimmten Anfangszustand angewandt- einen gewollten Endzustand herbeiführt. Das komplexe Wirken naturwissenschaftlicher Effekte wird dabei in der Charakteristik der Wirkfaktoren und ihrer Veränderung im Prozessablauf erfasst.

Wirkprinzipien können verbal oder formelmäßig dargestellt werden. Wirkprinzipien sind für jeweils eine Vorgangsgruppe zu formulieren. In den einzelnen zu einer Vorgangsgruppe gehörenden Grundvorgängen erfährt es durch die Spezifik der konkreten Wirkfaktoren und ihre Wechselwirkung seine konkrete Ausprägung in der *Wirkungsweise*.

Die *Aussagenstruktur des Wirkprinzips* wird durch folgende Elemente bestimmt:

- Benennung des Wirkprinzips. Sie erfolgt im Allgemeinen durch die Angabe der zugehörigen Vorgangsgruppe.
- Technologische Zielstellung. Sie gibt das beabsichtigte Ergebnis des Bearbeitungsvorgangs und gegebenenfalls auch den Einsatzbereich der Vorgänge an.
- Wesentliche Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes. Sie sind als Eingangs- und Ausgangsgrößen wichtige Prozessdeterminanten.
- Wesentliche Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans. Zentrale Bedeutung kommt der Grundwirkform des Arbeitsorgans zu, weil sie die genutzten Naturvorgänge, ihre Kombination und die Richtung ihres Wirkens weitgehend bestimmt. Des Weiteren gehen Angaben über stoffliche Eigenschaften, Art der Wirkenergiepaarung und Relativbewegung gegenüber dem Arbeitsgegenstand in diesen Aussagenkomplex ein.
- Wirkbedingungen der Operationsenergie. Hierzu zählen Angaben zur wirkenden Energieart und ihrer Veränderung während des Vorgangs. Von Interesse sind auch die Wechselwirkungen mit den anderen Wirkfaktoren.

5.5. Strukturanalyse technologischer Grundvorgänge und Vorgangsdarstellung

Nachdem die Struktur technologischer Grundvorgänge dargestellt, die Wirkfaktoren als grundlegende Strukturelemente bestimmt und beschrieben und schließlich aus ihren Wechselbeziehungen das technologische Wirkprinzip abgeleitet wurde, soll nun das methodische Vorgehen bei der Strukturanalyse technologischer Grundvorgänge vorgestellt und exemplarisch demonstriert werden.

Im Rahmen der allgemeinen Technologie hat sich folgende Vorgehensweise bewährt:

- Zunächst wird die *allgemeine Vorgangscharakteristik* gegeben. Sie enthält die Zuordnung des Grundvorgangs zur Vorgangsgruppe, beschreibt Ziel und Verlauf des Vorgangs und macht Angaben zum Anwendungsbereich.
- Es folgt die *Symboldarstellung* mit den den Grundvorgang charakterisierenden Flüssen (Fluss des Arbeitsgegenstandes, Energiefluss, Informationsfluss, Hilfsflüsse).
- Zur besseren Verständigung werden gegebenenfalls *Grundbegriffe* erläutert.
- *Charakteristik der einzelnen Wirkfaktoren* (Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes, Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans und energetische Wirkbedingungen). Dieser Schritt bildet das Zentrum der Strukturanalyse. In ihm werden die wesentlichen Wirkbedingungen des Vorgangsverlaufs, die Verknüpfung der Wirkfaktoren sowie das komplexe Zusammenwirken der natürlichen Komponenten erfasst.
- Ableitung des gruppenspezifischen *Wirkprinzips* in Form eines verbalen oder formelmäßigen Ausdrucks.
- *Strukturschema* des Grundvorgangs.

Als Beispiel analysieren wir das technologische Grundverfahren Filtrieren.

5.5.1. Vorgangsdarstellung FILTRIEREN

1. *Verfahrenscharakteristik*

Filtrieren ist ein technologisches Grundverfahren der Stoffformung. Es gehört zum Verfahrenstyp "Aussondern von Stoffteilchen", innerhalb dieses ist es der Verfahrensgruppe "Siebtrennen" zuzuordnen. Es bewirkt die Trennung von Suspensionen, deren Feststoffkomponente sich schwer absetzt oder deren eine Komponente im Vergleich zur anderen sehr groß ist. Die Trennung der flüssigen von der festen Phase erfolgt durch eine Filterschicht, die die feste Phase zurückhält und die flüssige Phase hindurchtreten lässt. Dabei muss eine Druckdifferenz vor und hinter der Filterschicht vorhanden sein. Ist die flüssige Phase das Hauptprodukt, spricht man von Klärfiltration. Die Gewinnung der Feststoffkomponente bezeichnet man als Trennfiltration.

Das Schema der Filtration zeigt Abb. 5.8.

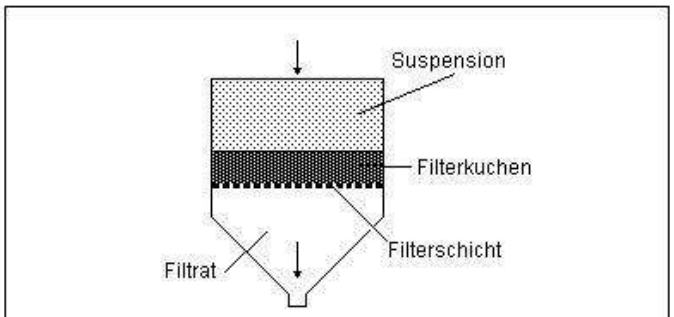


Abb. 5.8. Schema des Filtrierens

Die Filtration hat in der Technik weite Verbreitung gefunden. Sie ist eine Universalmethode zur Trennung von Suspensionen.

2. *Symboldarstellung*

Die Symboldarstellung gibt Auskunft über die wesentlichen Stoff-, Energie- und Informationsflüsse, die für das Verständnis des Vorgangs wesentlich sind. Neben dem allgemeinen Symbol für die Filtration werden auch Symbole für die Klär- und Trennfiltration gesondert dargestellt (Abb.5.9.).

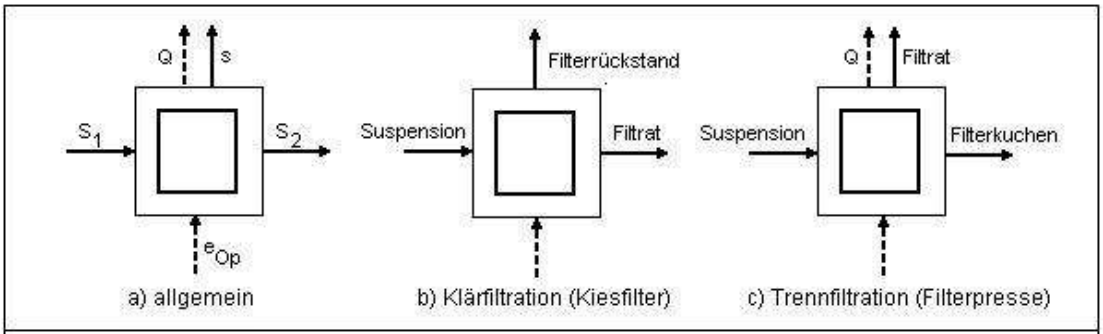


Abb. 5.9. Symboldarstellung der Filtration

3. Grundbegriffe

Suspensionen sind Zweiphasensysteme, bei denen ein fester, unlöslicher Stoff in einer Flüssigkeit fein verteilt vorliegt. Die durch die Filterschicht ablaufende Flüssigkeit bezeichnet man als *Filtrat*, den auf der Filterschicht zurückbleibenden Feststoff als *Filterkuchen.*

Unter *Filtrationsgeschwindigkeit* (w[m/s]) versteht man das in der Zeiteinheit τ[s] durch die Einheit der Filterfläche F[m^2] tretende Filtratvolumen V[m^3]

$$w = \frac{dV}{} \qquad [m^3/m^2 s]$$

$$F\, d\, \tau$$

4. Wirkfaktor Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes

Der Arbeitsgegenstand ist eine Suspension (das Filtertrennen von Aerosolen soll hier außer Betracht bleiben), deren Feststoffkomponente sich relativ schwer absetzt. Die wesentliche Verarbeitungseigenschaft der Suspension ist ihre *Filtrierbarkeit*. Sie wird vor allem durch zwei Eigenschaften bzw. Merkmale der Suspension maßgeblich bestimmt. Zum einen durch die *dynamische Zähigkeit* der flüssigen Phase (η [Pa.s]), zum anderen durch das Verhältnis (a) der Phasenkomponenten ($a = v / V$ [m^3]), wobei v das Feststoffvolumen und V das Filtratvolumen angeben.

5. Wirkfaktor Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans

Das Arbeitsorgan wird von der Filterschicht des Filters gebildet. Sie stellt eine poröse Schicht mit definierter Porenform und -größe dar. Die Poren müssen so beschaffen sein, dass sie die Flüssigkeit hindurchtreten lassen, die Feststoffteilchen aber zurückhalten. Die Grundwirkform der Filterschicht ist das Sieb. Die Art und das Material der Filterschicht werden wesentlich von den chemischen und physikalischen Eigenschaften der Suspension und ihrer Konzentration bestimmt.

Man unterscheidet

- lose Filterschichten (Sand, Kies, Schlacke, Kalkstein, Asbest) von 0,6 bis 1,5m Schütthöhe. Anwendung in der Trink- und Abwasserreinigung, Klären schwach getrübter Flüssigkeiten. Die Korngröße des geschütteten Materials nimmt von oben nach unten ab.
- Filtergewebe (aus Wolle, Baumwolle, Synthesefasern, Metallgeweben, Mineralfasern, Glasfasern) mit Porenweiten von 1mm bis 0,6 µm
- Poröse Filtermassen (keramische Filter, Glasfritten) mit Porenweiten von 250 bis 1 µm. Sie besitzen eine hohe Druck- und Chemikalienbeständigkeit.

Die Filterschicht bildet in vielen Fällen nur die Unterlage für den sich bildenden Filterkuchen. Wenn er sich in einer bestimmten Schichtdicke ausgebildet hat, übernimmt er die Filterfunktion. Um den Filterkuchen von Zeit zu Zeit oder kontinuierlich von der Filterschicht zu entfernen, werden die Filter mit besonderen konstruktiven Vorrichtungen ausgerüstet.

Als wesentliche Funktionseigenschaft der Filterschicht gilt der sog. spezifische Filterwiderstand (R_k). Er ist eine komplexe Größe, von der die Filtriergeschwindigkeit wesentlich beeinflusst wird. Sie setzt sich zusammen aus dem hydraulischen Widerstand der Filterfläche (R_F), der abhängig ist von der Porengröße und der Filterfläche (F[m^2]), und aus dem hydraulischen Widerstand des Filterkuchens (R_K). Bei letzterem kommen als Einflussgrößen neben der Fläche und der Porengröße die Form der abgesetzten Teilchen, die Struktur und die Höhe des Kuchens ($h = a \cdot V \cdot F^{-1}$ [m^2]) in Betracht.

Der Gesamtwiderstand des Filters (R) ergibt sich aus der Summe des hydraulischen Widerstands von Filterschicht und Filterkuchen

$$R = R_F + R_K$$

Zu Beginn der Filtration wird der hydraulische Widerstand allein durch R_F gebildet, R_K ist gleich Null. Mit der Ausbildung des Filterkuchens wird R_K zur bestimmenden Größe und R_F vernachlässigbar klein. Dann gilt:

$$R \approx R_K$$

Wegen der komplexen Natur des Kuchens und der Vielzahl der wirkenden Faktoren lässt sich der Widerstand des Kuchens nicht berechnen. Für R_K wurde deshalb als empirische Größe der spezifische Filterwiderstand (ρ [m^{-2}]) eingeführt.

Insgesamt ergibt sich aus den bisherigen Überlegungen für den spezifischen Widerstand des Filterkuchens zur Zeit τ bei einer dynamischen Zähigkeit der Flüssigkeit von η

$$R_K = \eta\, \rho\, h$$

6. Wirkfaktor Energetische Wirkbedingungen

Das die Filterschicht passierende Filtrat muss den Widerstand dieser Schicht überwinden. Deshalb muss eine entsprechende Druckdifferenz zwischen dem Raum oberhalb und dem unterhalb der Filterschicht wirksam sein. Die dazu notwendige Operationsenergie kann durch

- hydrostatischen Druck einer Flüssigkeitssäule über der Filterschicht,
- hydraulischen Druck (Filterpressen),
- Pressluft (Scheiben- und Hohlplattenfilter),
- Zentrifugalkraft (Filterzentrifugen),
- Vakuumerzeugung im Filtratraum (Vakuumfilter),
- Kapillarkraft (Kapillarbandfilter)

erzeugt werden. Die Art und Menge der aufzuwendenden Energie hängt von der zu trennenden Suspension ab und steht in enger Wechselwirkung zur Art und Funktionsweise des Filters. Der Druckabfall an der Filterschicht (p [kp·m^{-2}]) ist eine wesentliche energetische Kenngröße. Um den hydraulischen Widerstand der Flüssigkeit herabzusetzen, erhöht man in manchen Fällen die Temperatur der Suspension.

7. Wirkprinzip

Dem Filtrieren liegt das gemeinsame Wirkprinzip der Verfahrensgruppe Siebtrennen (mechanisches Aussondern II) zugrunde, das *Siebprinzip*. Es ermöglicht, Suspensionen unter Nutzung ihrer Filtrierbarkeit und einer Druckdifferenz an der Filterschicht in ihre flüssige und feste Komponente aufzuteilen mit dem Ziel, eine der Komponenten oder auch beide getrennt weiter zu verarbeiten oder zu nutzen

Spezifisch für das Filtrieren gegenüber anderen Grundverfahren dieser Verfahrensgruppe (z.B. Sieben, Dialysieren, Diffundieren, Auspressen) ist, dass der Arbeitsgegenstand ein Flüssigkeits-Feststoff-Gemisch ist. Der Anteil der einzelnen Komponenten kann dabei in weiten Grenzen schwanken.

Als mathematischer Ausdruck lässt sich das Wirkprinzip des Siebtrennens aus folgenden Überlegungen ableiten und modellieren:

Die Filtriergeschwindigkeit ergibt sich aus dem in der Zeiteinheit durch die Einheit der Filterfläche hindurchtretende Filtratvolumen:

$$w = \frac{dV}{F \cdot d \cdot \tau} \quad [m^3 m^{-2} s^{-1}]$$

Sie wird durch den Druckabfall an der Filterschicht und deren spezifischen Widerstand determiniert:

$$w = \frac{p}{R}$$

Durch Einsetzen der für R_K bei der Charakteristik der Funktionseigenschaften gewonnenen Zusammenhänge ergibt sich:

$$w = \frac{p}{\eta \cdot \rho \cdot h} \quad [ms^{-1}]$$

Ersetzen wir weiter h durch die Beziehung

$$h = a \cdot \frac{V}{F} \quad [m]$$

so erhalten wir nach entsprechender Umformung das *Elementargesetz der Filtration* und damit das Wirkprinzip des Siebtrennens:

$$VdV = \frac{p \cdot F^2}{\eta \cdot \rho \cdot a} d\tau$$

Dabei bedeuten im Einzelnen:

V das Filtratvolumen [m^3]
τ die Zeiteinheit [s]
F die Einheit der Filterfläche [m^2]

p den Druckabfall an der Filterschicht [$kp \cdot m^{-2}$]
ρ den spezifischen Widerstand des Filterkuchens
η die dynamische Zähigkeit der Flüssigkeit [$kp \cdot s \cdot m^{-2}$]
a das Verhältnis zwischen Filterkuchenvolumen und Filtratvolumen

Durch die große Zahl von Einflussgrößen lässt sich die Filtriergeschwindigkeit nur selten sicher berechnen. Die angegebene Gleichung beruht auf wesentlichen Vereinfachungen.

8. Strukturschema (Abb.5.10.)

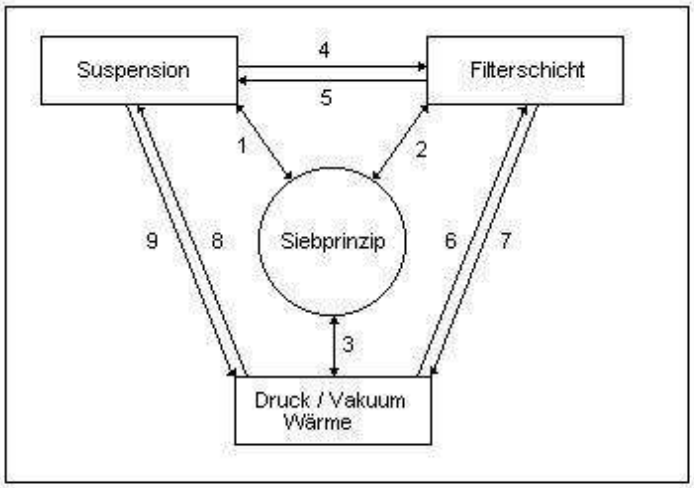


Abb. 5.10. Struktur des Grundverfahrens Filtrieren

9. Typische Anwendungsbeispiele

- Trinkwasserreinigung durch Kiesfilter
- Abwasserreinigung durch Kiesfilter
- Zuckerindustrie: Abtrennung des Scheideschlamms aus dem Zuckerrohsaft durch Filterpresse
- Sodaherstellung: Abtrennen des Natriumkarbonats von der Mutterlauge durch Vakuumtrommelfilter
- Papierherstellung
- Alkalichloridelektrolyse: Abtrennen ausgefällter Stoffe aus der Rohsole durch Filterpressen
- Ammonsulfatherstellung: Abtrennen des Kalkschlammes von der Ammonsulfatlösung durch Filterpressen
- Molkerei: Durchseihen der Rohmilch durch Filtertücher

Literatur

5.1 L. Agoston, Über das Wesen der Technik, Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Berlin, Sonderheft 1965
5.2 K. Marx / F. Engels, Werke, Bd.23, Berlin 1962
5.3 H. Lohmann, Die Technik und ihre Lehre, Wiss.Zeitschr. der TH Dresden, 1953 Nr.4
5.4 K. Geiger, Methodik der Lehre der Wechselstromtechnik, Berlin 1956
5.5 W. Meck, Naturwissenschaftliche Wirkprinzipien - ein Beitrag zur Rationalisierung der Fertigungsvorbereitung, Schiffsbauforschung Heft 5/6-1976
5.6 A. Neubauer, Technologische Wirkprinzipien beim Umformen und Zerteilen von metallischen Werkstoffen, Die Technik, Berlin, Heft 7/1972
5.7 W. Schirmer, Wirkprinzipien und chemische Technik, Chemische Technik, Berlin, Hefte 3 u.5/1972
5.8 R. Bertoldi u.a., Zum Begriff Wirkprinzip und seine Anwendung in der Fertigungstechnik, Die Technik, Berlin, Heft 11/1971
5.9 H. Franke, Zur Theorie des Wirkprinzips als Typ technologischer Gesetze, Dissertation B, Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg 1980

5.10 G. Früchtel / H. Hammerschmidt / Ch. Hein, Analyse der Strukturelemente und ihrer Wirkfaktoren in Vorgängen zur Bearbeitung von Stoffen, Energien und Informationen; in: Prinzipien der Produktion, Wiss.Beiträge 1986/11 (E 76), Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg

5.11 Ch. Demmel, Technologische Wirkprinzipien als Knotenpunkte der Behandlung technologischer Grundverfahren, Diss. B, Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg 1982

5.12 Autorenkollektiv, Funktionen, Strukturen, Elemente und Gesetzmäßigkeiten technischer Systeme, Halle (Saale) 1987

6. Systematik technologischer Grundvorgänge

6.1. Zur Funktion von Ordnungssystemen in der Technologie

Es gehört zu den grundlegenden Aufgaben jeder Wissenschaft, ihre Ergebnisse entsprechend dem jeweiligen Erkenntnisstand zusammenzufassen und systematisch zu ordnen. Solche Ordnungssysteme haben vielfältige Funktionen zu erfüllen.

Zum ersten geht es darum, die vorhandene Erscheinungsfülle des betreffenden Wissenschaftsgebietes möglichst vollständig zu erfassen und (soweit wie möglich) unter einheitlichen Gesichtspunkten übersichtlich zu ordnen (*Ordnungsfunktion*).

Unmittelbar damit verbunden ist die klare Abgrenzung des Gegenstandes der Systematisierung von anderen Wirklichkeitsbereichen und eine Erfassung der Wesensmerkmale der bekannten Erscheinungen (*Abgrenzungsfunktion*).

Eine dritte wesentliche Funktion ist die Aufdeckung innerer Zusammenhänge zwischen den einzelnen Bereichen der erfassten Gegenstände und bestehender gesetzmäßiger Beziehungen (*Erkenntnisfunktion*).

Ordnungssysteme sind Ausgangspunkt und auch Ergebnis der hierarchischen Ordnung komplexer Erscheinungen. Die hierarchische Gliederung führt nicht nur zur besseren Überschaubarkeit der unterschiedlichen Komplexität der Erscheinungen, sondern vor allem auch zur Erfassung der Spezifik der einzelnen Hierarchieebenen (*Zuordnungsfunktion).*

Von weitreichender Bedeutung ist die *strategische Funktion* von Ordnungssystemen. Sie sind zugleich Arbeitsgrundlage für die Forschung, weil sie Ausgangspunkt neuer wissenschaftlicher Fragestellungen sind, wenn sich innerhalb des Systems Widersprüche zeigen, bisher nicht oder nur unzureichend erforschte Bereiche (»Leerstellen«) bestimmt werden können oder Basis für theoretische Verallgemeinerungen sind.

Schließlich soll die *pädagogische Funktion* genannt werden. Sie besteht vor allem darin, dass Ordnungssysteme weitreichende Übersicht auf der Basis exemplarischer Kenntnisse ermöglichen und Einzelnes in größere Zusammenhänge einzuordnen gestatten. Sie können damit helfen, fundierte Weltbildvorstellungen zu schaffen.

Welche grundlegende Bedeutung Ordnungssysteme in der Wissenschaftsentwicklung haben, welche vielfältigen Impulse und Wirkungen von ihnen ausgehen, zeigt überzeugend ein Blick auf die Geschichte des Periodensystems der Elemente in der Chemie, des natürlichen Systems der Pflanzen und Tiere in der Biologie und auch des Systems der Elementarteilchen in der Kernphysik.

Auch in der Technologie sind zahlreiche Versuche unternommen worden, die Vielzahl der Einzelerkenntnisse systematisch zu ordnen und übersichtlich darzustellen. Diese Klassifizierungssysteme wurden bisher jedoch immer im Rahmen spezieller technologischer Disziplinen (z.B. der Fertigungstechnologie, der Verfahrenstechnologie, der Fördertechnologie, der Bautechnologie) entwickelt. Obwohl sie dort zum Teil allgemeine Anerkennung und sogar in Standards Eingang gefunden haben, können sie für die allgemeine Technologie keine befriedigende Lösung darstellen, weil die ihnen zugrunde liegenden Klassifizierungskriterien verständlicherweise keine Möglichkeit für die Aufstellung eines umfassenden Systems bieten, das alle technologischen Vorgänge zu erfassen gestattet.

Die allgemeine Technologie muss bei der Systematisierung der technologischen Vorgänge von den zweigspezifischen Besonderheiten abstrahieren und von Kriterien hohen Allgemeinheitsgrades ausgehen. Nur so kann man zu einer Systemmatrix gelangen, die - ähnlich wie das Periodensystem der Elemente für die Chemie - die Gesamtheit aller technologischen Vorgänge einheitlich erfasst, eine systematische Ordnung der sonst kaum übersehbaren Fülle von Einzeltatsachen ermöglicht und eine Art "Systemspeicher" ist, der für bestimmte technologische Aufgaben die dafür in Frage kommenden technologischen Grundvorgänge in relativ kurzer Zugriffszeit bereitstellt.

6.2. Das System der Bearbeitungsvorgänge

Unter System versteht man eine geordnete Gesamtheit von materiellen oder ideellen Objekten. Ordnungssysteme wissenschaftlicher Erkenntnisse entstehen durch Klassifizieren, d.h. durch Einordnen von Tatsachenmaterial in Ordnungssysteme, die auf bestimmten Klassifizierungskriterien beruhen.

Bei der Aufstellung von Ordnungssystemen in Form zweistelliger Verknüpfungsmatrizen geht man zweckmäßigerweise folgende Schritte:

- Planung der Matrix durch Bestimmen von zwei Datenmengen als Klassifikationskriterien,
- Bestimmen der Elemente beider Kriterien,
- Bestimmen der Reihenfolge der Datenmengen,
- Aufbau einer Verknüpfungsmatrix als zweidimensionaler Speicherfläche und Zuordnung der Datenmengen zu den Zeilen- und Spalteneingängen,
- Zuordnen der zu klassifizierenden Erscheinungen zu den Matrixfeldern.

Die *Planung der Matrix* ist für das gesamte Programm von entscheidender Bedeutung, weil hier der Matrixoperator festzulegen ist. Der Matrixoperator wird von zwei Datenmengen (Klassifikationskriterien) gebildet. Für eine wissenschaftlich sinnvolle Klassifikation ist es notwendig, solche Kriterien aufzufinden, die im Hinblick auf die zu klassifizierenden Erscheinungen wesensbestimmende Merkmale darstellen.

Für die Klassifikation der Gesamtheit der technologischen Vorgänge muss man deshalb nach Kriterien suchen, die das allgemeine Wesen von Bearbeitungsvorgängen widerspiegeln. Diese Merkmale müssen aber auch allen Bearbeitungsvorgängen gleichermaßen zukommen, um durch die Systematik erfasst zu werden. Die Kriterien werden wegen der Vielfalt und der Differenziertheit der Bearbeitungsvorgänge notwendigerweise einen relativ hohen Abstraktionsgrad besitzen.

Technologische Vorgänge sind allgemein dadurch gekennzeichnet, dass sie eine gezielte Veränderung von Arbeitsgegenständen bewirken. Aus dieser Charakteristik lassen sich zwei allgemeine, das Wesen der Bearbeitungsvorgänge erfassende Kriterien ableiten:

- die Art der zu verändernden Arbeitsgegenstände,
- die Art der prinzipiell möglichen Veränderungen, die an den Arbeitsgegenständen vorgenommen werden können.

Beide Kriterien liefern zusammen einen geeigneten Matrixoperator für die Aufstellung eines Systems der Bearbeitungsvorgänge.
Bei der *Bestimmung der Elemente beider Datenmengen* ist zu berücksichtigen, dass die einzelnen Elemente *einer* logischen Ebene angehören, dass sie einander ausschließen und die zur Datenmenge gehörenden Elemente möglichst vollständig erfassen.

Für die Datenmenge *"Art des Arbeitsgegenstandes"* gehen wir bewusst über die bisher geübte Praxis hinaus, nur stoffliche Arbeitsgegenstände in die Betrachtung einzubeziehen. Neben dem Arbeitsgegenstand *Stoff* gibt es aus der Sicht der allgemeinen Technologie zwei weitere Klassen von Arbeitsgegenständen, die ganzen Produktions- und Wirtschaftsbereichen das Gepräge geben: *Energien* und *Informationen.*

Die *Energie* war zwar seit Beginn der technologischen Tätigkeit des Menschen immer Bestandteil technologischer Grundvorgänge als notwendige Operationsenergie, aber erst in der industriellen Produktionsweise entwickelte sie sich auch zu einer *selbständigen Klasse von Arbeitsgegenständen.* Der Maschinenantrieb erforderte die Bereitstellung immer größerer Energiemengen, die letztlich zur Herausbildung von besonderen Produktionszweigen führte, die sich dieser Aufgabe annahmen. Vor allem die Erfindung von Generator und Elektromotor ermöglichte und erforderte, Elektroenergie in besonderen Betrieben zu produzieren, um sie als Endenergie den Anwendern zur Verfügung zu stellen. Die Einführung der Gasbeleuchtung und der Verbrennungskraftmaschinen erforderte ebenso die Bereitstellung entsprechender Energieträger. Es entstanden im Verlaufe dieser Entwicklung selbständige Produktionsprozesse, die Primärenergieträger und Energiequellen in Endenergien umwandelten. Die Energie wurde damit zu einer eigenständigen Klasse von Arbeitsgegenständen. Heute nimmt die Energiewirtschaft als Produktionszweig einen bedeutenden Platz in jeder Volkswirtschaft ein.

In der Gegenwart erleben wir mit dem Eindringen informationsverarbeitender Technik in alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens, dass sich die *Information* als eine weitere Klasse von Arbeitsgegenständen herausbildet. Rechenzentren und Datenbanken verarbeiten Eingangsinformationen und liefern Resultatinformationen. Die Konstituierung der Information als eigenständiger Klasse von Arbeitsgegenständen ist ein charakteristisches Merkmal der wissenschaftlich-technischen Revolution.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass die Datenmenge "Art des Arbeitsgegenstandes" aus drei Elementen besteht: Stoff, Energie und Information. Die Datenmenge ist vollständig, weil sie alle bekannten Klassen von Arbeitsgegenständen erfasst.

Die Existenz dreier Klassen von Arbeitsgegenständen darf nicht gleichgesetzt oder darauf reduziert werden, dass in jedem Produktionsprozess Stoff-, Energie- und Informationsfluss zusammenwirken. Bei der Bearbeitung eines Werkstoffs muss Energie aufgewandt werden, ebenso müssen Informationen zur Steuerung des Prozesses gegeben werden. Deshalb kann man diese drei Aspekte in technischen Systemen als drei jeweils zusammenwirkende Flüsse darstellen. Der Arbeitsgegenstand kann aber jeweils durch nur einen der drei Flüsse repräsentiert werden (vgl. Kap.6.4.).

Die Datenmenge *"Art der Veränderung des Arbeitsgegenstandes"* weist ebenfalls drei Elemente auf: die Formänderung, die Strukturänderung und die Ortsänderung.

Die *Formänderung* ist eine erste prinzipielle Möglichkeit der gezielten Veränderung von Arbeitsgegenständen. Diese Formänderung hat aber für jede Klasse von Arbeitsgegenständen einen spezifischen Inhalt. Bei stofflichen Arbeitsgegenständen betrifft er die geometrische Gestalt bzw. den Aggregatzustand. Bei energetischen Arbeitsgegenständen bezeichnet er Parameteränderungen innerhalb einer Energieform. Bei informationellen Arbeitsgegenständen besagt Formänderung, dass die Information selbst nicht, wohl aber der Träger der Information (die trägerspezifischen Merkmale des Signals) verändert wird.

Eine zweite prinzipielle Möglichkeit der Veränderung von Arbeitsgegenständen ist die *Strukturänderung*. Dabei werden die Arbeitsgegenstände im Gegensatz zur Formänderung, bei der im Wesentlichen äußere Parameter eine Veränderung erfahren, in ihrer inneren Struktur gewandelt. Bei stofflichen Arbeitsgegenständen bedeutet das die Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Stoffes. Für energetische Arbeitsgegenstände ist die Strukturänderung dann gegeben, wenn eine Energieart in eine andere umgewandelt wird. Ähnlich liegen bei informationellen Arbeitsgegenständen dann Strukturänderungen vor, wenn durch die logische Verknüpfung von Informationen neue Informationen gewonnen werden, die Ausgangsinformationen also in ihrer inneren Struktur umgestaltet werden.

Die dritte prinzipielle Möglichkeit, Arbeitsgegenstände zu verändern, ist die *Ortsänderung*. Sowohl die Arbeitsgegenstände als auch die Produkte müssen vom Ort ihres Vorkommens bzw. ihrer Produktion an den Ort ihrer Nutzung bzw. Konsumtion gebracht werden. Auch innerhalb des Produktionsprozesses müssen die Arbeitsgegenstände, wie auch die zu ihrer Bearbeitung notwendigen Energien und Informationen weitergeleitet und übertragen, also transportiert werden. Der Arbeitsgegenstand erfährt dabei im engeren Sinne keine Veränderung. Er wird in seiner Lage verändert.

Unseres Erachtens erfassen wir mit diesen drei prinzipiellen Einwirkungsmöglichkeiten die Datenmenge "Veränderung des Arbeitsgegenstandes" vollständig. Diskutiert wird allerdings, Lagerung und Speicherung als weitere Klasse von Einwirkungsmöglichkeiten auf den Arbeitsgegenstand zu sehen, was insbesondere im Zusammenhang mit den immer umfangreicher werdenden sog. TUL-Prozessen aber auch ihrer prinzipiellen Bedeutung in der Informationsverarbeitung von Interesse ist. Wir behandeln hier die Speicherung als Spezialfall der Ortsveränderung, bei dem die Geschwindigkeit der Ortsveränderung den Wert 0 hat. Wir ordnen deshalb die Speicherung der Ortsveränderung unter, ohne damit die Berechtigung einer eigenständigen Einordnung der Speicherung zu bestreiten. Ähnliches gilt für die Mess- und Prüfverfahren im Produktionsprozess. Unter dem Betrachtungsaspekt der allgemeinen Technologie sind sie Spezialfälle informationsverarbeitender technologischer Vorgänge.

Zusammenfassend lassen sich für die zweite Datenmenge drei Elemente angeben: Formänderung, Strukturänderung und Ortsänderung.

Damit sind die Datenmengen beider Elemente des Matrixoperators bestimmt.

Die *Bestimmung der Reihenfolge der Elemente* hat eine möglichst sinnvolle Anordnung zum Ziel. Durch sie wird die Struktur der Matrix wesentlich mitbestimmt.

Als Zeileneingänge wählen wir die "Art des Arbeitsgegenstandes". Die Reihenfolge der Element Stoff, Energie, Information ergibt sich aus der Folge ihres historischen Auftretens und auch aus der Größenordnung ihres Auftretens in der Volkswirtschaft.

Der Spalteneingang wird durch die Datenmenge "Art der Veränderung der Arbeitsgegenstände" gebildet. Die Elementenfolge Form-, Struktur-, Ortsänderung kann nicht durch besondere Argumente belegt werden.

Wenden wir den oben entwickelten Matrixoperator auf den Aufbau einer zweistelligen Verknüpfungsmatrix an, so erhalten wir das *System der technologischen Vorgänge* (System der Bearbeitungsvorgänge). Entsprechend der Zahl der Elemente in beiden Datenmengen weist es drei Zeilen- und drei Spalteneingänge auf (Tabelle 6.1.).

Art des Arbeits-gegenstandes	Art der Veränderung		
	Formänderung	Strukturänderung	Ortsänderung
Stoff	Stofformung	Stoffwandlung	Stofftransport
Energie	Energieumformung	Energiewandlung	Energietransport
Information	Informations-umformung	Informations-wandlung	Informations-transport
	Verfahren	Prozesse	Operationen

Tabelle 6.1. System der technologischen Vorgänge

Das System der technologischen Vorgänge umfasst demnach neun Klassen von Bearbeitungsvorgängen. Um eine bereits aus der Bezeichnung erkennbare Aussage über die Art der Veränderung des Arbeitsgegenstandes zu erhalten, bezeichnen wir formändernde Vorgänge als *Verfahren*, strukturändernde als *Prozesse* und ortsändernde als *Operationen*. Selbstverständlich sind wir uns bei dieser Festlegung der Tatsache bewusst, dass im traditionellen Sprachgebrauch auch andere Begriffsinhalte mit diesen Bezeichnungen verbunden sind.

Aus ihrer Stellung in der Systemmatrix lassen sich die einzelnen Klassen der technologischen Vorgänge in ihrer allgemeinen Charakteristik und ihrem Wesen wie folgt bestimmen:

- *Stoffformungsverfahren* sind technologische Vorgänge die an stofflichen Arbeitsgegenständen Veränderungen der geometrischen Form oder des Aggregatzustandes bewirken. Sie können Gestalts- oder Eigenschaftsänderungen des Arbeitsgegenstandes zum Ziel haben.
- *Stoffwandlungsprozesse* sind technologische Vorgänge, die zur chemischen Veränderung stofflicher Arbeitsgegenstände führen.
- *Energieumformungsverfahren* sind technologische Vorgänge, die an energetischen Arbeitsgegenständen Parameteränderungen innerhalb einer Energieart bewirken.
- *Energiewandlungsprozesse* sind technologische Vorgänge, die energetische Arbeitsgegenstände von einer Energieart in eine andere umwandeln.
- *Informationsumformungsverfahren* sind technologische Vorgänge, die Parameteränderungen an Signalen bewirken, ohne die angelagerte Information selbst zu verändern.
- *Informationswandlungsprozesse* sind technologische Vorgänge, die die Struktur der an Signale gebundenen Informationen durch deren logische Verknüpfung verändern.
- *Stoff-, Energie. und Informationstransportoperationen* sind technologische Vorgänge, die eine Orts- oder Lageänderung von stofflichen, energetischen oder informationellen Transportobjekten herbeiführen. Speicheroperationen werden in diesen Klassen mit erfasst. Die Ortsänderungsparameter sind in diesen Fällen gleich 0.

Das dargestellte System der Bearbeitungsvorgänge erfasst alle gegenwärtig bekannten technologischen Vorgänge. Das gilt auch für die agrotechnologischen Vorgänge. Im Prinzip ist beispielsweise das Mähen ein Verfahren des Stofftrennens, das mit dem Scheren verglichen werden kann. Ebenso ist das Melken ein technologisches Grundverfahren, das Merkmale des Verfahrenstyps "Aussondern von Stoffteilchen" trägt, also ebenfalls der Klasse der Stoffformung angehört. Der größte Teil der agrotechnologischen Vorgänge lässt sich lässt sich in die Klasse der Stoffformungsverfahren einordnen, andere gehören in die Klasse der Stoffwandlungsprozesse,**!Syntaxfehler, „** weitere sind Stofftransportoperationen (Abtransport geernteter Feldprodukte).

Wenn wir den agrotechnologischen Bearbeitungsvorgängen trotzdem ein eigenes Kapitel widmen (vgl. Kapitel 9), so deshalb um den charakteristischen Besonderheiten, die sie gegenüber den industriellen Vorgängen aufweisen, Rechnung zu tragen. Die wesensbestimmenden Produktionssysteme der Agrarproduktion sind lebende Organismen (Pflanzen und Tiere). Die eigentlichen produktbildenden Prozesse sind Naturvorgänge.

Die mittels technischer Systeme durchgeführten technologischen Vorgänge haben wegen ihrer Wechselwirkung mit den biologischen Produktionssystemen ein spezifisches Gepräge.

Die vorgestellte Systemmatrix erfasst zwar nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand alle möglichen technologischen Vorgänge, sie ist aber durchaus erweiterungsfähig. Die Entdeckung neuer prinzipieller Möglichkeiten der Veränderung von Arbeitsgegenständen würde die Zahl der Elemente dieser Datenmenge nur vergrößern. In die Systemmatrix müssten dann weitere Spalten eingeführt werden, ohne dass sich damit die Struktur des Gesamtsystems verändert.

Neben der Aufstellung von Verknüpfungsmatrizen wird auch die *Zielbaummethode* zur Systematisierung und übersichtlichen Ordnung von Erscheinungen genutzt. Das geschieht immer dann, wenn es nicht möglich ist, einen Matrixoperator mit zwei Datenmengen aufzustellen. Das Prinzip der Zielbaummethode besteht in der Aufgliederung einer Gesamtheit von Erscheinungen in hierarchische Ebenen. Der entstehende Zielbaum ist ein zyklenfreier , zusammenhängender gerichteter Graph mit genau einer Quelle und endlich vielen Senken. Als Bedingungen sind bei der Aufstellung von Zielbäumen zu erfüllen, dass für jede Hierarchieebene

- ein einheitliches Kriterium durchgängig angewandt wird
- und die Vollständigkeit der Elemente gesichert ist.

Auch im Bereich der Technologie wird in einer ganzen Reihe von Zusammenhängen die Zielbaummethode angewandt [(vgl. z.B. die Systematisierung der agrartechnologischen Vorgänge (Kap.12.4. und 12.5.) oder der Informationswandlungsprozesse (Kap. 11.7.)].

Abb.6.1. veranschaulicht das prinzipielle Vorgehen bei der Aufstellung von Zielbäumen.

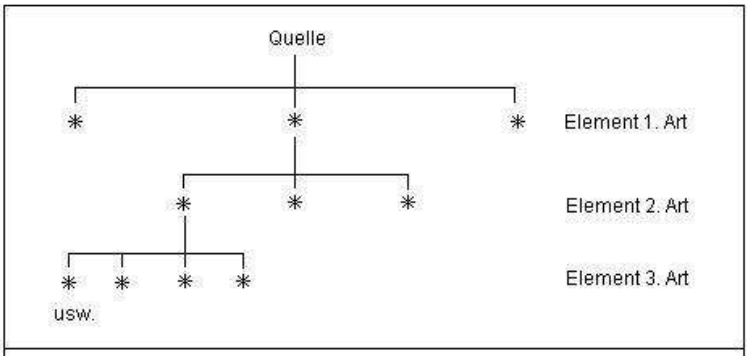


Abb. 6.1. Prinzip der Zielbaummethode

6.3. Hierarchie der technologischen Vorgänge

Das System der technologischen Vorgänge stellt nur den ersten Schritt zu einer systematischen Ordnung der technologischen Vorgänge dar, weil die einzelnen Matrixfelder zunächst nur die Klassen technologischer Vorgänge erfassen. Sie stellen eine sehr hohe Abstraktionsebene dar. Um bis zu den Grundvorgängen vorzudringen, ist es notwendig, jede der Klassen in mehreren Schritten weiter zu untergliedern und damit zu konkretisieren. Dazu bedarf es einer Hierarchie der technologischen Vorgänge.

Diese Aufgabe ist von der technologischen Wissenschaft bisher wenig bearbeitet. Wir werden auf den Stand der Systematisierung technologischer Vorgänge und die dabei vertretenen Hierarchievorstellungen in den speziellen Technologien bei der allgemein-technologischen Charakterisierung der einzelnen Klassen von Bearbeitungsvorgängen eingehen und unsere Lösungsansätze vorstellen.

Um ein einheitliches Vorgehen zu ermöglichen, legen wir eine bestimmte Hierarchie der einzelnen Systematisierungsebenen zugrunde. Diese Hierarchie weist 4 Ordnungsebenen auf. Die Klassen der Bearbeitungsvorgänge werden zunächst in Vorgangstypen aufgegliedert, diese wiederum in Vorgangsgruppen, dann folgt die Ordnungsebene der Grundvorgänge (Tabelle 6.2.).

Hierarchie - ebene	Allgemein	Formänderung	Strukturänderung	Ortsänderung
4. Ordnung	Vorgangsklasse	Verfahrensklasse	Prozeßklasse	Operationsklasse
3. Ordnung	Vorgangstyp	Verfahrenstyp	Prozeßtyp	Operationstyp
2. Ordnung	Vorgangsgruppe	Verfahrensgruppe	Prozeßgruppe	Operationsgruppe
1. Ordnung	Grundvorgang	Grundverfahren	Grundprozeß	Grundoperation

Tabelle 6.2. Hierarchie technologischer Vorgänge

In Tabelle 6.3. geben wir einige ausgewählte Beispiele für die praktische Anwendung dieser Hierarchie.

Hierarchieebene	Verfahren	Prozesse	Operationen
Vorgangsklasse	Stofformungs verfahren	Stoffwandlungs-prozesse	Stofftransport-operationen
Vorgangstyp	Trennverfahren	Thermochemische Prozesse	Feststoffördern
Vorgangsgruppe	Spanen	Exotherme Prozesse	Zugmittelfördern
Grundvorgänge	Drehen	Homogener Normaldruckprozeß	Bandfördern

Tabelle 6.3. Beispiele der hierarchischen Ordnung technologischer Vorgänge

Verschiedentlich wird unterhalb der Ebene der technologischen Grundvorgänge noch eine Hierarchieebene der speziellen technologischen Vorgänge angegeben. So unterscheidet man beim technologischen Grundverfahren Fräsen z.B. Gleichlauffräsen, Gegenlauffräsen, Stirnfräsen u.a. Hierbei handelt es sich aber nicht um eine selbständige Hierarchieebene. Technologische Grundvorgänge haben wir als in sich unteilbare Bearbeitungsvorgänge definiert. Sie können deshalb nicht weiter aufgegliedert werden. Die technologischen Grundvorgänge stellen in der Hierarchie der Bearbeitungsvorgänge die unterste mögliche Ordnungsebene dar. Aus unserer Sicht sind die speziellen Vorgänge als Varianten technologischer Grundvorgänge aufzufassen, die ebenfalls auf die 1. Ordnungsebene gehören. Die allgemeine Technologie befasst sich jedoch nicht im Einzelnen mit diesen Varianten. Ihre Betrachtung endet beim technologischen Grundvorgang.

6.4. Stoff-, Energie- und Informationsfluss in technischen Systemen

Zur Realisierung eines technologischen Grundvorgangs durchläuft das technische System

- Arbeitsgegenstände, die zu verändern sind,
- Energien, die die Veränderung bewirken,
- Informationen, die die für die beabsichtigte Veränderung des Arbeitsgegenstandes notwendigen Einwirkungen steuern.

Eben diese Größen verlassen das technische System nach dem Bearbeitungsvorgang.

Man kann diese Eingangs- und Ausgangsgrößen eines technischen Systems als Flüsse auffassen. Demnach wären zu unterscheiden:

- der Fluss des Arbeitsgegenstandes

- der Energiefluss
- Der Informationsfluss.

Der *Fluss des Arbeitsgegenstandes* ist immer der bestimmende Hauptfluss. Die Größen dieses Flusses erfahren beim Durchgang durch das technische System gezielte Veränderungen.

Der *Energie- und der Informationsfluss* dagegen repräsentieren Größen, die die Wirkungen herbeiführen und die für die technologische Veränderung des Arbeitsgegenstandes notwendigen Bedingungen gezielt schaffen und aufrechterhalten.

Der Fluss des Arbeitsgegenstandes kann wiederum entsprechend den verschiedenen Klassen von Arbeitsgegenständen durch Stoffe, Energien oder Informationen gebildet werden. Da der Fluss der Operationsenergie und der steuernde Informationsfluss in jedem Falle als die die Veränderung des Arbeitsgegenstandes bewirkenden Faktoren vorhanden sein müssen, lassen sich im Prinzip drei Fälle der in einem technischen System auftretenden Flüsse unterscheiden:

1. Fall - *Arbeitsgegenstand Stoff*

- Stofffluss (Fluss des Arbeitsgegenstandes)
- Energiefluss (Fluss der Operationsenergie)
- Informationsfluss (Fluss der Steuerungsinformation)

2. Fall - *Arbeitsgegenstand Energie*

- Energiefluss (Fluss des Arbeitsgegenstandes)
- Fluss der Operationsenergie
- Informationsfluss

3. Fall - *Arbeitsgegenstand Information*

- Informationsfluss (Fluss des Arbeitsgegenstandes)
- Fluss der Operationsenergie
- Fluss der Steuerungsinformation

Erläutern wir das an einigen Beispielen.
Bei einer programmgesteuerten Drehmaschine finden wir sowohl den Stoff- als auch den Energie- und den Informationsfluss vor. Da es sich um einen stoffformenden Vorgang handelt, ist der Stoffflu ß als Hauptfluss zu betrachten. Der Energiefluss führt die für die Stoffbearbeitung notwendige Operationsenergie zu. Durch den von der Programmsteuerung ausgehenden Informationsfluss werden die für die Steuerung des technologischen Vorgangs erforderlichen Signale im technischen System realisiert.

Bei der Energieumformung durch einen elektrischen Spannungstransformator tritt der Energiefluss als Hauptfluss in Erscheinung. Ein selbständiger Fluss der Operationsenergie tritt als Eingangsgröße dieses Systems nicht auf, weil die Operationsenergie dem energetischen Arbeitsgegenstand entnommen wird. Ein Teil der zugeführten Elektroenergie geht als Stromwärme- bzw. Eisenverlust für die technische Nutzung verloren. Der Anteil der technisch nutzbaren umgeformten Energie wird im Wirkungsgrad des Transformators angegeben. Ein selbständiger Informationsfluss tritt in diesem Falle ebenfalls nicht auf, weil die Steuerung des Prozesses bereits konstruktiv im Transformator festgelegt ist und darüber hinaus keine weiteren Steuerungsinformationen in das System eingegeben werden müssen.

Alle informationsverarbeitenden Systeme werden durch den Informationsfluss (als Fluss des Arbeitsgegenstandes) charakterisiert. Da Informationen immer an materielle Träger gebunden sind, sprechen wir auch vom Signalfluss. Bei stofflichen Informationsträgern (z.B. dem Transport von Zeitungen, beim Speichern von Informationen auf Disketten), muss die Operationsenergie dem technischen System zugeführt werden. Ist die Information an energetische Träger gebunden (z.B. Funksignale, Fernsprechübertragung), wird die Operationsenergie wiederum dem System entnommen. Bei Informationsübertragung über weite Entfernungen werden auftretende Dämpfungsverluste durch Zwischenverstärker ausgeglichen. Der steuernde Informationsfluss wird in Informationsverarbeitungssystemen durch die Software realisiert.

Diese Beispiele zeigen, welche Beziehungen zwischen den einzelnen Flüssen bestehen und welche Funktionen sie im technologischen Prozess haben. Der Fluss des Arbeitsgegenstandes (als Stoff-, Energie- oder Informationsfluss) ist immer der den technologischen Vorgang bestimmende Fluss. Die beiden anderen Flüsse (Energie- und Informationsfluss) bewirken und steuern die Veränderungen des Arbeitsgegenstandes. Sie sind Hilfsflüsse. Sie treten nicht immer als selbständige Flüsse auf, sondern sind zum Teil an den Hauptfluss

gebunden. Die in diesem Zusammenhang festzustellenden Besonderheiten werden Zusammenhang mit den entsprechenden technologischen Grundvorgängen behandelt.

6.5. Symboldarstellung technologischer Grundvorgänge

Die Definition der technologischen Grundvorgänge erfolgt im Allgemeinen so, dass nach ihrer Einordnung in den Vorgangstyp bzw. die Vorgangsgruppe die spezifische Veränderung des Arbeitsgegenstandes und die Art und Weise, wie die Veränderung zustande kommt, angegeben werden.

So wird das Hobeln als Spanen mit einem nicht ständig im Eingriff stehenden einschneidigen keilförmigen Werkzeug definiert, bei dem die Spanabnahme durch geradlinige Haupt- und Vorschubbewegung erfolgt, die sowohl vom Werkzeug als auch vom Werkstück ausgeführt werden kann.

Bei dieser Charakterisierung eines technologischen Grundvorgangs wird nur der den Arbeitsgegenstand betreffende Hauptfluss innerhalb des technischen Systems erfasst, durch das der technologische Grundvorgang realisiert wird. Zur genaueren technologischen und ökonomischen Bewertung des technologischen Grundvorgangs ist es jedoch oft wünschenswert, auch die jeweiligen Hilfsflüsse (Energie- und Informationsfluss sowie Hilfsstoffflüsse) zu Charakterisierung des Vorgangs mit heranzuziehen.

Zur Darstellung dieser Zusammenhänge eignen sich Symbole, die das den technologischen Grundvorgang realisierende System als "black box" abbilden und die in das System hineingehenden und aus ihm heraustretenden Flüsse kennzeichnen.

Für die Symboldarstellung der in einem technischen System auftretenden Flüsse gehen wir von folgenden Grundsätzen aus:

Die technischen Systeme werden durch ein Quadrat symbolisiert. Zur näheren Kennzeichnung des jeweiligen Systems werden in das System weitere Zeichen eingetragen, und zwar für formändernde Systeme ein stark umrandetes auf der Grundlinie stehendes Quadrat, für strukturändernde Systeme ein stark umrandetes auf der Spitze stehendes Quadrat und für ortsändernde Systeme ein auf der Grundlinie stehendes gleichseitiges Dreieck.

Für stoffändernde Systeme werden dabei durchgehende Linien verwendet; energieändernde Systeme werden durch gestrichelte Linien symbolisiert; informationsändernde Systeme erhalten eine punktierte (oder auch strichpunktierte) Linie (Abb.6.2.).

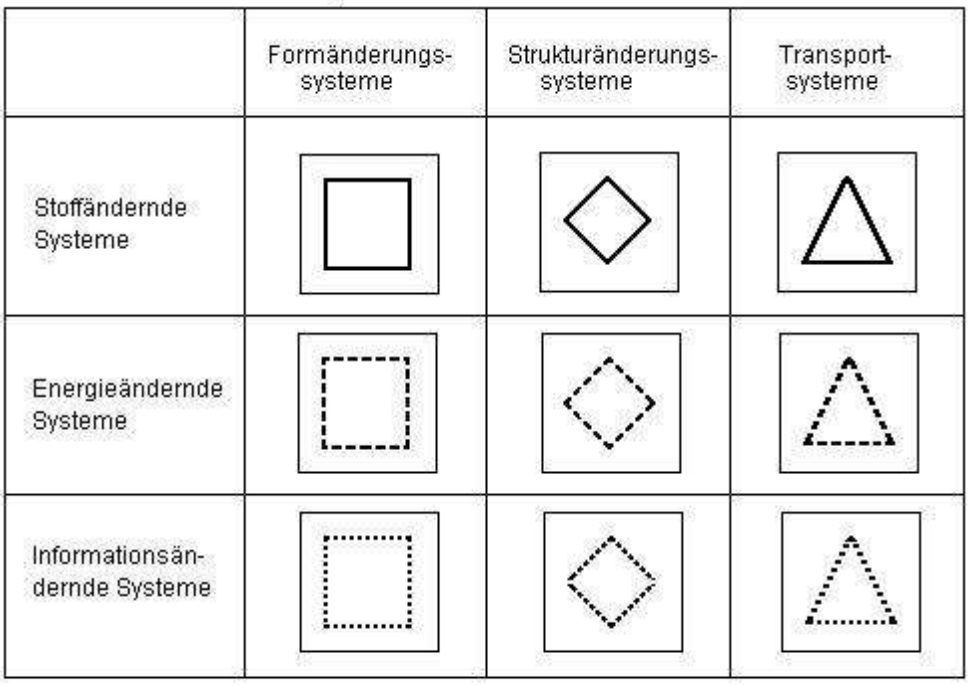


Abb. 6.2. Symbole für technische Systeme

Zur Charakterisierung der technologischen Grundvorgänge werden die Symbole der technischen Systeme durch weitere Zeichen für den Stoff-, Energie- und Informationsfluss ergänzt.

Dabei werden der Stoffffluß durch eine durchgehende Linie, der Energiefluss durch eine gestrichelte Linie und der Informationsfluss durch eine punktierte (bzw. strichpunktierte) Linie symbolisiert. Bei farbiger Darstellung bezeichnet rot den Stoffffluß, blau den Energiefluss und grün den Informationsfluss.

Der jeweilige Hauptfluss, der durch den Arbeitsgegenstand repräsentiert wird, wird von links an das Symbol für das technisches System herangeführt und verlässt es auf der rechten Seite.

Die Hilfsflüsse (Energie- und Informationsfluss, Hilfsstoffflüsse) werden senkrecht von unten an das Symbol herangeführt. Alle stofflichen Abfallprodukte und Energieverluste werden, soweit sie für die Charakteristik des technologischen Grundvorgangs wesentlich sind, senkrecht oben aus dem Symbol herausgeführt.

Die einzelnen Flüsse können durch Buchstaben näher bezeichnet werden. Dabei gilt, dass S den Stoffffluß, E den Energiefluss und I den Informationsfluss bezeichnet. Hauptflüsse erhalten Großbuchstaben, Hilfsflüsse Kleinbuchstaben. Die Buchstaben können durch Indizes (Buchstaben oder Zahlen) weiter konkretisiert werden. Für den konkreten Einzelfall empfiehlt es sich, die vollständige Bezeichnung des Stoffes, der Energie bzw. des Signals einzusetzen.

Auf der Basis dieser Grundsätze hat die Symboldarstellung eines technologischen Grundvorgangs folgende allgemeine Form (Abb.6.3.):

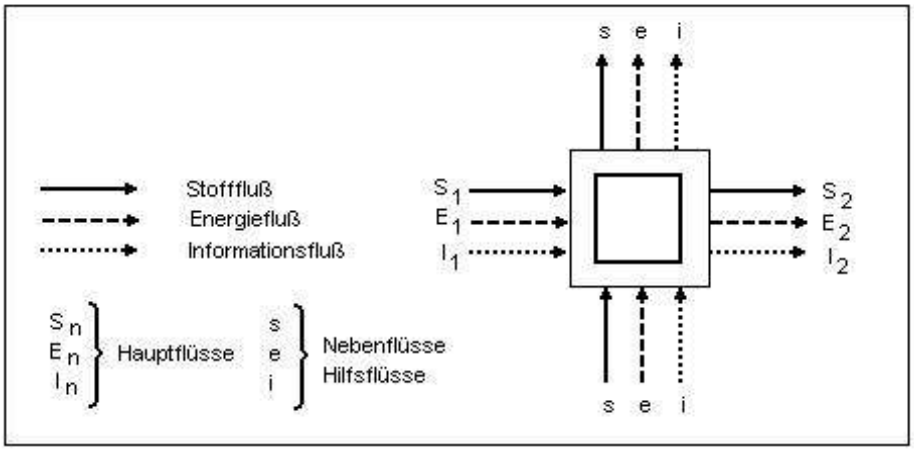


Abb. 6.3. Symboldarstellung technologischer Grundvorgänge

Zur Demonstration der Aussagefähigkeit dieser Symboldarstellung und ihrer praktischen Handhabung geben wir ein konkretes Beispiel. Zunächst hat sich bewährt, dass nur solche Flüsse in die Symboldarstellung Eingang finden, die durch das technische System selbst realisiert werden.

Informationsflüsse als Hilfsflüsse zur Steuerung des Vorgangs werden deshalb nur dann wiedergegeben, wenn es sich um automatische Systeme handelt. Dadurch wird die Symboldarstellung übersichtlicher und orientiert auf das Wesentliche.

Beim technologischen Grundverfahren Schleifen wird ein stofflicher Arbeitsgegenstand spanend bearbeitet. Die entsprechenden Symbole für den Stoffffluß werden von links zu- und nach rechts abgeführt (S_1, S_2). Die aufzuwendende mechanische Operationsenergie wird durch die von unten zugeführte gestrichelte Linie wiedergegeben ($e_{mech.}$). Die Operationsenergie tritt als Wärmeverlust (Q) nach oben aus, die Schleifspäne werden als Abfallprodukt ebenfalls nach oben aus dem Symbol herausgeführt (s_1). (Abb.6.4.).

Die bisher angegebenen Vereinbarungen zur Symboldarstellung technologischer Grundvorgänge reichen nur für einfache Fälle aus. Zur detaillierten Charakterisierung der verschiedenartigsten technologischen Grundvorgänge sind weitere Festlegungen zu treffen. Beim Gießen enthält die Metallschmelze z.B. bereits die Operationsenergie. Das wird dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptfluss durch eine Doppellinie dargestellt wird, indem unmittelbar unter der durchgehenden Stoffflußlinie eine gestrichelte Energielinie gezeichnet wird.

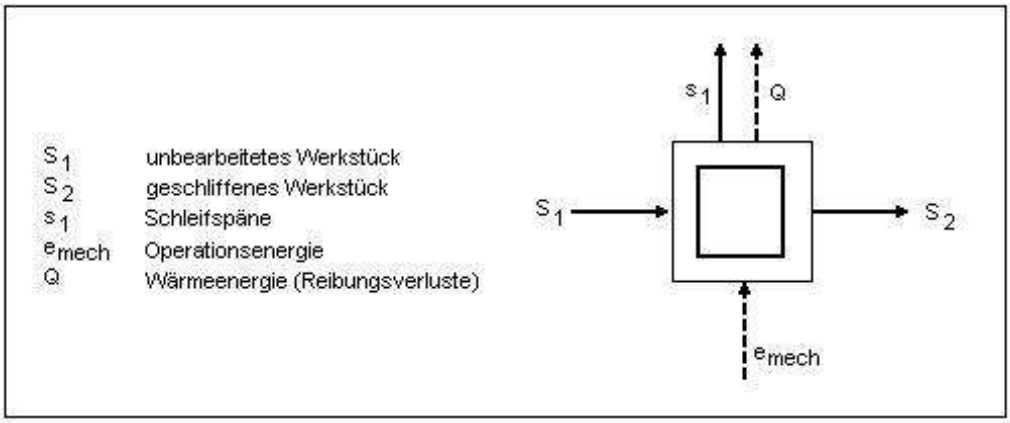


Abb. 6.4. Symboldarstellung des technologischen Grundverfahrens Schleifen

Bei informationsverarbeitenden Vorgängen tritt die Information immer an einen materiellen Träger gebunden (als Signal) auf. Der Hauptfluss wird hier durch eine Doppellinie angegeben. Unter der punktierten Linie des Informationsflusses wird der Informationsträger durch eine durchgehende gerade oder wellenförmige (für energetische Träger) Linie kenntlich gemacht.

Diese Besonderheiten der Symboldarstellung technologischer Grundvorgänge werden im Zusammenhang mit der Symbolisierung typischer Repräsentanten innerhalb der einzelnen Klassen von Bearbeitungsvorgängen erläutert.

Literatur

6.1 M. Kleinau / H. Wolffgramm (Herausgeber): Prinzipien der Produktion, Wiss.Beitr. 1986/11, Martin-Luther-Univers. Halle-Wittenberg

6.2 M. Perwitzschky u.a.: Funktionen, Strukturen, Elemente und Gesetzmäßigkeiten technischer Systeme, Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Sektion Polytechnik 1987

III. Teil - ALLGEMEINE CHARAKTERISTIK DER KLASSEN VON BEARBEITUNGSVORGÄNGEN

7. Stoffformungsverfahren

7.1. Allgemeine Charakteristik der Stoffformungsverfahren

Stoffformungsverfahren sind eine Klasse technologischer Vorgänge. Durch sie wird die geometrische Form der Arbeitsgegenstände verändert, ohne dass dabei die chemische Struktur wesentlich beeinflusst wird. Die formändernden Vorgänge können mit unterschiedlicher Zielsetzung durchgeführt werden. Sie bezwecken einerseits die *Gestaltänderung* des Arbeitsgegenstandes. Das ist z.B. beim Hobeln von Brettern, beim Gewindeschneiden von metallischem Rundmaterial oder beim Pressen von Plastteilen der Fall. Zum anderen werden Stoffformungsverfahren zur *Stoffeigenschaftsänderung* der Arbeitsgegenstände eingesetzt. Beispiele sind das Aufbereiten von Kies durch Sieben im Bauwesen, das Phosphatieren oberflächennaher Stahlschichten durch Einbringen von Stoffteilchen, das Sandstrahlen von oxidierten Metalloberflächen oder das Schmelzen von Metallen. Zu diesen stoffeigenschaftsändernden Stoffformungsverfahren gehören auch solche, die eine Veredlung bzw. Vergütung des Arbeitsgegenstandes bewirken, wie Lackieren, Galvanisieren, Emaillieren und Legieren.

Allen Stoffformungsverfahren ist gemeinsam, dass sie mit dem Ziel der Gestalts- oder Eigenschaftsänderung formändernd auf stoffliche Arbeitsgegenstände einwirken.

Die Stoffformungsverfahren dürfen keinesfalls auf die fertigungs- und verarbeitungstechnologischen Verfahren der Metall-, Holz- und Plastverarbeitung eingeengt werden. Sie sind ebenso typisch für die Textiltechnologie (Spinnen, Weben, Stricken, Nähen), die lederverarbeitende Industrie (Streckformen, Scheren, Pressen, Kleben, Nähen, Färben), die chemische Verfahrenstechnologie (Brechen, Mahlen, Filtrieren, Destillieren, Mischen, Extrahieren), die Bautechnologie (Sieben, Verbinden durch Mörtel, Mischen von Beton, Gießen von Beton), die Nahrungsgütertechnologie (Kneten von Brotteig, Entrahmen von Milch, Formen von Schokoladenmasse, Mahlen von Getreide) und die Verpackungstechnologie (Einwickeln, Füllen von Flaschen, Kartonieren). Auch in der landwirtschaftlichen Produktion sind Stoffformungsverfahren verbreitet (Mähen, Dreschen, Sortieren von Kartoffeln, Schroten von Futtergetreide).

Während in der Vergangenheit vorwiegend mechanische und thermische Operationsenergie zur Durchführung technologischer Grundverfahren der Stoffformung angewandt wurden, werden heute in zunehmendem Maße auch alle anderen Energiearten als Operationsenergie genutzt: elektrische Energie (beim Galvanisieren, Erodieren), Strahlungsenergie (beim Laserstrahl-, Plasmastrahl- und Elektronenstrahlbearbeiten), chemische Energie (beim chemischen Metallabtragen, Ätzen von gedruckten Schaltungen), magnetische Energie (beim Magnetumformen) und hydraulische Energie (beim Wasserstrahlbearbeiten).

7.2. Grundbegriffe

Stoffformungsverfahren repräsentieren einen sehr breiten Bereich technologischer Bearbeitungsvorgänge. Das zeigt sich unter anderem darin, dass sie von drei selbständigen und unterschiedliche Bereiche erfassende Wissenschaftsdisziplinen untersucht werden.

Die *Fertigungstechnologie* beschäftigt sich in der Hauptsache mit Verfahren der Formgebung, der Oberflächenbehandlung und der Montage in industriellen Produktionsprozessen. Fertigen wird allgemein als ein Verändern des Arbeitsgegenstandes in Richtung auf den Fertigzustand (d.h. mechanisch nutzbarer Gegenstände aus festem Stoff) definiert.

Die *Verarbeitungstechnologie* befasst sich demgegenüber vor allem mit Verfahren der Formgebung und Konfektionierung in der Konsumgüterindustrie.

Der *Verfahrenstechnologie* werden solche Stoffformungsverfahren zugerechnet, die in der chemischen Industrie der Stoffvorbereitung und Stoffaufarbeitung als Vor- und Nachstufe chemischer Verfahren dienen.

Sie wirken formändernd auf die Stoffe ein, ohne aber als Produkt eine bestimmte makrogeometrische Gestalt anzustreben.

In der Stoffformungstechnologie wird das Arbeitsorgan des technischen Systems im Allgemeinen als *Werkzeug* bezeichnet. Der Werkzeugbegriff umfasst in diesem Zusammenhang zum einen Werkzeuge im klassischen Sinn, wie Bohrer, Drehmeißel, Schleifscheiben und Sägen, die unmittelbar durch Relativbewegung gegenüber dem Arbeitsgegenstand im direkten Eingriff ihn unter Energieübertragung verändern. Andererseits erfasst er auch Arbeitsorgane, die ohne direkten Eingriff Operationsenergie mittelbar oder unmittelbar auf den Arbeitsgegenstand übertragen und ihn dadurch verändern, wie Erosionselektroden, Schwingrüssel von Ultraschall-bearbeitungsanlagen, Schweißbrenner, Gießformen und Laserstrahlköpfe.

Als *Wirkmedium* bezeichnet man formlose feste, flüssige oder gasförmige Stoffe, die bei mittelbarer Wechselwirkung zwischen Werkzeug und Arbeitsgegenstand die unmittelbare Veränderung des Werkstoffs bzw. Werkstücks bewirken, indem sie die Operationsenergie auf ihn übertragen.

Die *Wirkenergie* ist die Form der Operationsenergie, die die Veränderung am Arbeitsgegenstand hervorruft.

Das Werkzeug und das Wirkmedium einerseits und der Arbeitsgegenstand andererseits bilden das *Wirkpaar*. Je nachdem in welcher geometrischen Dimension die *Wirkstelle* ausgebildet ist, spricht man von der *Wirkstelle*, dem *Wirkspalt* oder dem *Wirkraum*.

7.3. Spezifische Merkmale der Stoffformungsverfahren

Die allgemeine Charakteristik der Stoffformungsverfahren lässt sich durch weitere typische Merkmale präzisieren.

Allen Stoffformungsverfahren ist gemeinsam, dass beim Bearbeitungsvorgang der *Stoffzusammenhalt des Arbeitsgegenstandes geändert* wird. Dabei können technologisch fünf Möglichkeiten unterschieden werden (Lit. 7.2., S.928):

- das *Schaffen des Stoffzusammenhalts*, indem pulverige, flüssige oder gasförmige Arbeitsgegenstände durch Zusammenschmelzen, Gießen, Pressen, Sintern usw. in eine technisch verwertbare Form gebracht werden,
- das *Vergrößern des Stoffzusammenhalts* durch Zusammenbringen zweier oder mehrerer Arbeitsgegenstände,
- das plastische Formändern eines Arbeitsgegenstandes unter *Beibehaltung des Stoffzusammenhalts* (bei Verschiebung und Umlagerung der inneren Stoffbindungen),
- das *Verringern des Stoffzusammenhalts* durch örtliche Aufhebung der Stoffbindungen,
- das weitgehende *Aufheben des Stoffzusammenhalts durch Mahlen oder Überführen* fester Stoffe in die flüssige oder gasförmige Phase.

Ein weiteres Charakteristikum der Stoffformungsverfahren ist durch die *Art der Wechselwirkung von Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand* gegeben (Abb. 7.1.). Dabei kann das Werkzeug des Stoffformungssystems unmittelbar die Veränderung des Arbeitsgegenstandes bewirken, indem es direkt den Stoffzusammenhalt ändert (Säge, Mahlwerk, Schmiedehammer). Die Wechselwirkung kann aber auch indirekt über ein stoffliches oder energetisches Wirkmedium erfolgen. Stoffliche Wirkmedien finden wir beim Gasschmelzschweißen, beim Elysieren oder beim Sandstrahlen vor. Energetische Wirkmedien (Elektronenstrahlen, Laserstrahlen, Magnetfelder) verändern den Arbeitsgegenstand beim Laserstrahltrennen, beim Elektronenstrahlschmelzen oder beim Magnetumformen.

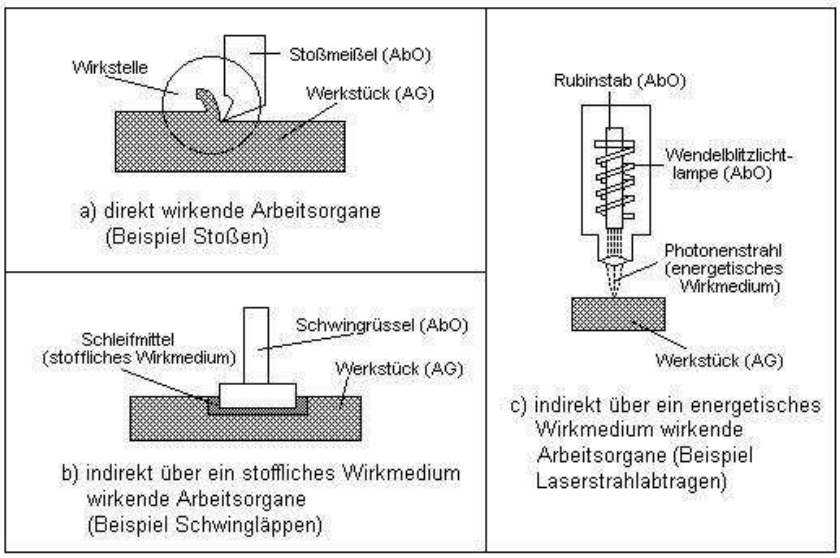


Abb. 7.1. Wechselwirkung von Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand in Stofformungssystemen

7.4. Arbeitsgegenstände der Stoffformungsverfahren

Arbeitsgegenstände stoffformender Bearbeitungsvorgänge können Naturstoffe, Rohstoffe und Werkstoffe sein. *Naturstoffe* sind solche Arbeitsgegenstände, die noch im Zusammenhang mit dem Erdganzen stehen und noch keine menschliche Arbeit enthalten (Lagerstätten von Naturressourcen). *Rohstoffe* sind die aus dem Erdganzen gelösten Arbeitsgegenstände, die noch keine weitere als die zu ihrer Gewinnung aufgewandte Arbeit enthalten. *Werkstoffe* sind geometrisch formbestimmte Materialien, aus denen durch entsprechende Bearbeitungsverfahren Werkstücke, Bauteile und Fertigerzeugnisse hergestellt werden.

Die Arbeitsgegenstände stoffformenden Produktionszweige sind außerordentlich vielfältig. Sie umfassen Stoffe aller Zustandsformen und Bearbeitungsstufen. Sie werden allgemein durch eine Reihe physikalischer und chemischer Eigenschaften charakterisiert, die Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsbereich bestimmen. Beispiele für charakteristische Stoffmerkmale sind: Dichte, Härte, Zähigkeit, Elastizität, Plastizität, Druckfestigkeit, Wärmeleitvermögen, Temperaturbeständigkeit, Elastizität, Oberflächenbeschaffenheit. Sie spielen bei den Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften der Stoffe eine wesentliche Rolle.

Die schnelle Entwicklung von Wissenschaft und Technik in der Gegenwart hat die Palette der im Produktionsprozess genutzten Stoffe weiter vergrößert. Es ist geradezu ein Merkmal der wissenschaftlich-technischen Revolution, dass traditionelle Werkstoffe weiterentwickelt und in ihren Eigenschaften verbessert werden sowie immer neue, mit rationelleren Bearbeitungseigenschaften ausgestattete und den Produkten höhere Verbrauchseigenschaften vermittelnde Roh- und Werkstoffklassen in den Produktionsprozess Eingang finden.

Die Vielfalt stofflicher Arbeitsgegenstände, die mit stoffformenden Technologien bearbeitet werden, lässt sich im Wesentlichen sechs Gruppen zuordnen.

- *Naturstoffe*: Erze, Kohle, Erdöl, Erdgas, Salze, Holz, Wasser, Luft.
  Naturstoffe werden durch bergbauliche Gewinnungs- und Förderverfahren, durch verfahrenstechnologische Prozesse oder forstwirtschaftliche Gewinnungsverfahren in Rohstoffe umgewandelt.
- *Rohstoffe*: (Siehe Kap.8.5.)
  Rohstoffe sind vor allem Arbeitsgegenstände der stoffwandelnden Produktionszweige. Ihre stoffformende Bearbeitung umfasst Verfahren der Aufbereitung und der Nachbereitung.
- *Werkstoffe*: Metalle, Holz, Textilien, Plaste, Elaste, Glas, Baustoffe, Verbundwerkstoffe.
  Werkstoffe sind die klassischen Arbeitsgegenstände der Fertigungs- und der Verarbeitungstechnologie. Sie werden in den verarbeitenden Industrien in Halbfabrikate und Fertigerzeugnisse übergeführt.

- *Halbfabrikate*: Einzelteile, Bauelemente, Baugruppen.
  Hauptbearbeitungsverfahren sind Montage-, Vergütungs- und Veredlungsverfahren.
- *Fertigerzeugnisse*:
  Sie unterliegen als Arbeitsgegenstände Wartungs-, Pflege- und Instandsetzungsverfahren.
- *Sekundärrohstoffe*: Schrott, Altpapier, Flaschenglas, Abfallstoffe verschiedenster Art.
  Sie werden in zunehmendem Maße eine bedeutsame Quelle der Sicherung der Materialwirtschaft (siehe Kap.18), weil sie ein wichtiger Faktor des rationellen Umgangs mit natürlichen Ressourcen, der Materialökonomie und der Umweltentlastung sind.

Neben den Arbeitsgegenständen sind zur Durchführung stoffformender Bearbeitungsvorgänge *Hilfsstoffe* notwendig, die der Unterstützung des Produktionsprozesses dienen, ohne in das Produkt einzugehen. Es handelt sich dabei um Schmierstoffe, Kühlstoffe, Schleif- und Polierstoffe und Härtestoffe.

7.5. Symboldarstellung von Stoffformungsverfahren

Das Grundsymbol für Stoffformungsverfahren ist ein Quadrat mit einem eingezeichneten, auf der Grundseite stehenden stark umrandeten Quadrat (Abb.7.2.a). Da in Stoffformungsverfahren ausschließlich stoffliche Arbeitsgegenstände bearbeitet werden, ist der Stoffluß jeweils der Hauptfluss. Er wird von links an das Symbol heran- und nach rechts herausgeführt. Hilfsstoffe (z.B. Klebemittel bei Verfahren des Verbindens, Flussmittel beim Löten, Schutzgas beim Schweißen) werden als Hilfsstofffluss von unten zugeführt und - wenn sie nicht in das Produkt eingehen - oben herausgeführt. Die Operationsenergie wird ebenfalls von unten an das Symbol herangeführt und im Allgemeinen oben wieder herausgeführt.

Typische Beispiele für die Symbolisierung von Stoffformungsverfahren sind in Abb. 7.2.b bis e dargestellt.

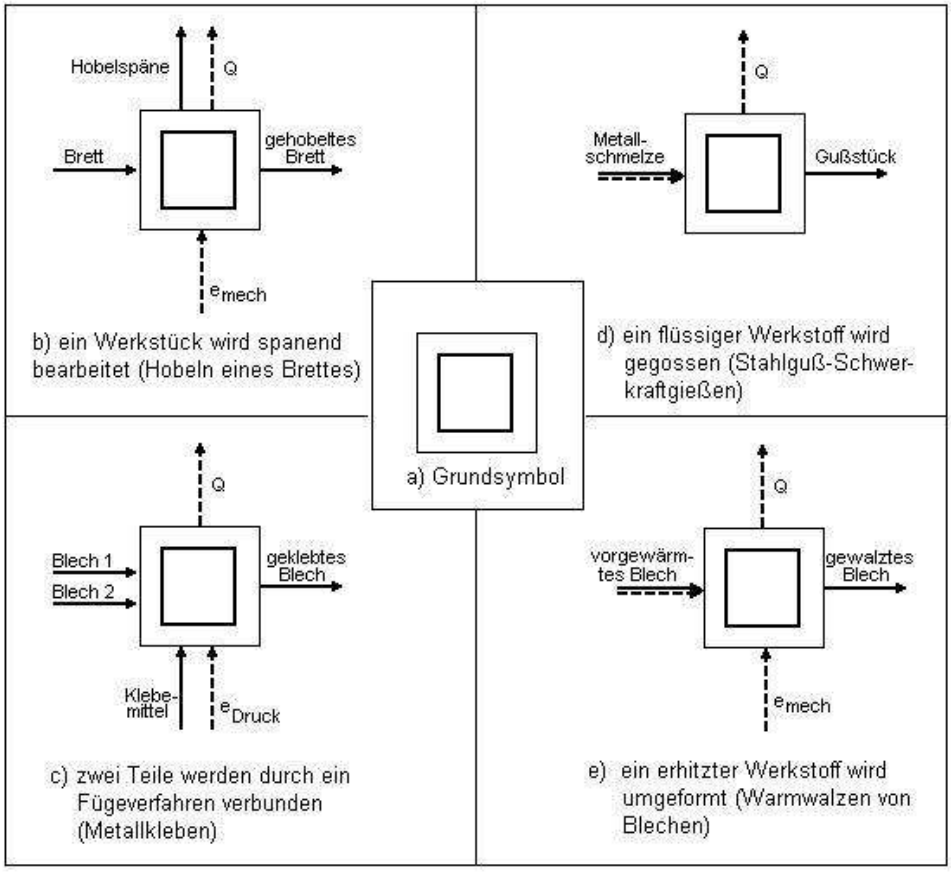


Abb. 7.2. Symboldarstellung von Grundverfahren der Stofformung

7.6. Struktur und Wirkprinzipien von Stoffformungsverfahren

Eine allgemeine Charakteristik der Strukturelemente von Stoffformungsverfahren muss sich bei der Vielfalt der möglichen Arbeitsgegenstände, der Grundwirkformen der Arbeitsorgane und dem universellen Einsatz aller Energiearten als Operationsenergie auf wenige wesensbestimmende Aussagen beschränken.

Bei den *Verarbeitungseigenschaften der Werkstoffe* sind folgende Komponenten zu beachten:

- *Stoffzusammensetzung*. Diese Komponente erfasst die chemische Zusammensetzung des Werkstoffs und damit die allgemeinen Voraussetzungen für die technologischen Einwirkungsmöglichkeiten. Die chemische Struktur bestimmt in weiten Grenzen wichtige Verarbeitungseigenschaften wie Festigkeit, Härte, Schmelzbarkeit, Zähigkeit, Dehnbarkeit, Elastizität.
- *Thermodynamischer Zustand.* Hier werden Werkstoffmerkmale erfasst wie der Aggregatzustand des Materials vor, während und nach der Bearbeitung in Abhängigkeit von Temperatur und Druck. Des Weiteren werden Eigenschaften festgehalten, die sich aus der Kristallstruktur bzw. dem chemisch-physikalischen Verhalten des Werkstoffs ergeben, sowie deren Veränderung durch technologische Einwirkung (z.B. Härten der Werkstoffe, Plastizierung polymerer Werkstoffe, Fließverhalten von Gläsern).
- *Technologisch-geometrische Erscheinungsform.* Da die Stoffformungsverfahren die gewollte Gestalts- bzw. Eigenschaftsänderung der Materials durch Formänderung bewirken, spielt die geometrische Erscheinungsform des Werkstoffs vor und nach dem Bearbeitungsvorgang eine bedeutende Rolle als Verarbeitungseigenschaft. Sie charakterisiert qualitativ und gegebenenfalls auch quantitativ die geometrischen Gestaltparameter des Werkstoffs vor und nach der Bearbeitung. In dieser Komponente werden auch Werkstoffmerkmale wie Oberflächenbeschaffenheit, kompakter oder pulveriger Zustand, Korngrößen u. a. erfasst.
- *Antriebs- und Strömungsgrößen.* Sie betreffen vor allem naturgesetzliche Effekte, die durch Eigenschaften des Werkstoffs bedingt sind und den Verfahrensablauf wesentlich beeinflussen. Sie sind insbesondere für Verfahren bedeutsam, in denen ein Potentialgefälle genutzt wird. So können chemische Potentiale einen Massestrom bewirken, der beim Nitrieren, Phosphatieren oder Aufkohlen die Diffusion von Partikeln in die Oberflächenzonen des Werkstoffs bewirkt. Thermische Potentiale werden beim Gießen und Seigern genutzt.

Für die *Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans* lassen sich als bestimmende Komponenten angeben:

- *Grundwirkform des Arbeitsorgans*. Wir verstehen darunter die von der konkreten Erscheinungsform (Grundform) abstrahierte allgemeine Form des Arbeitsorgans, die zugleich das Wirkprinzip repräsentiert. Bei den direkt auf den Werkstoff einwirkenden Arbeitsorganen werden zwei Typen unterschieden: Maschinenwerkzeuge mit den Grundwirkformen Keil, Walze, Stempel und Sieb sowie formspeichernde Arbeitsorgane mit der Grundwirkform Wirkraum (z.B. bei Gießformen und Gesenken).Typische Grundwirkformen bei indirekt (d.h. über Wirkmedien) wirkenden Arbeitsorganen sind Düse, Wanne, Elektroden.
- *Stoffliche Eigenschaften.* Sie erfassen das Werkstoffverhalten des Werkzeugs während des Bearbeitungsvorgangs, das aus dem stofflichen Aufbau resultiert. Die Anforderungen an das Werkstoffverhalten werden wesentlich durch das angewandte Wirkprinzip, durch die Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes und die energetischen Wirkbedingungen bestimmt. Die stofflichen Eigenschaften des Arbeitsorgans bedingen ihrerseits z.B. das Standzeitverhalten, die Funktionssicherheit und die Bearbeitungsqualität.
- *Einwirkungsart.* Arbeitsorgane der stoffformenden Bearbeitung können direkt oder indirekt auf den Arbeitsgegenstand einwirken. Bei direkter Einwirkung sind als Merkmale die Relativbewegung zwischen Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand sowie der zeitliche Eingriffsablauf (kontinuierlich, periodisch, impulsartig) von Interesse. Die indirekte Einwirkung wird vor allem durch die Art und die Wirkungsweise der Wirkmedien charakterisiert. Als stoffliche Wirkmedien werden eingesetzt:

pulverförmige Feststoffe, Flüssigkeiten unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung und Gase. Energetische Wirkmedien können sein: Elektronenströme, Plasma, elektromagnetische Strahlung, magnetische Felder. Auch bei der indirekten Einwirkung sind Relativbewegung und Eingriffsablauf interessierende Merkmale.

Die *energetischen Wirkbedingungen* werden durch folgende Komponenten erfasst:

- *Operationsenergieart*. Die in Stoffformungsverfahren zur Veränderung des Arbeitsgegenstandes genutzten Energiearten sind vor allem mechanische und thermische Energie, in zunehmendem Maße werden aber auch elektrische, chemische und Strahlungsenergie als Operationsenergie eingesetzt. Auch innerhalb der einzelnen Energiearten werden immer neue Bereiche für die stoffformende Bearbeitung erschlossen, so im Bereich der mechanischen Energie die hydromechanische Energie (z.B. Wasserstrahltrennen), Schallenergie (Ultraschallbearbeiten), Gasdruck (Explosivumformen) oder im Bereich der elektrischen Energie die Energie des elektromagnetischen Feldes (Magnetumformen).
- *Charakteristik der energetischen Umsetzung.* Für die meisten Stoffformungsverfahren gilt, dass die an die Wirkstelle herangeführte Operationsenergie dort in andere Energiearten umgewandelt oder innerhalb der zugeführten Energieart umgeformt und erst so prozesswirksam wird. Diese Wirkenergiepaarung ist ein charakteristisches Merkmal jedes Verfahrens. So wird die beim Punktschweißen zugeführte Elektroenergie als Wärmeenergie technologisch wirksam (elektrothermische Wirkenergiepaarung), beim Galvanisieren liegt eine elektrochemische Wirkenergiepaarung vor. Bei den spanenden Bearbeitungsverfahren ändert sich zwar die Energieart nicht, aber es ergibt sich aus der Paarung von Schnittkraft und Relativbewegung eine mechano-mechanische Wirkenergiepaarung. Angaben über den energetischen Wirkungsgrad und Verlustleistung können die Charakteristik der energetischen Umsetzung vervollständigen. Aus dem energetischen Wirkungsgrad lassen sich z.B. Anhaltspunkte für die Wahl günstiger Energieparameter ableiten. Unbeabsichtigte energetische Wirkungen, die durch die naturgesetzlich bedingte Verlustwärme entstehen, eröffnen das Verständnis für notwendige Kühleinrichtungen und nicht gewollte Gefügeänderungen im Material.
- *Wirkdimensionen in Raum und Zeit.* Diese Komponente macht Aussagen über das räumliche Wirken (punktuell, linienhaft, flächenhaft, räumlich) und das zeitliche Wirken (kontinuierlich, impulsartig) der Operationsenergie. Sie steht in engem Zusammenhang mit der Einwirkungsart des Arbeitsorgans.

Die Aussagenstruktur und inhaltliche Spezifik der *Wirkprinzipien stoffformender Verfahren* zeigt sich gegenüber der allgemeinen Formulierung in Kapitel 5.4. in folgenden Konkretisierungen:

Die *Benennung* des Wirkprinzips sollte auf die betreffende Verfahrensgruppe bezug nehmen (z.B. Wirkprinzip des Druckumformens, Wirkprinzip des Spanens). Damit wird zugleich der Platz des Verfahrens im Ordnungssystem der Stoffformungsverfahren bestimmt. Problematisch bleibt dabei allerdings, dass noch keine durchgängige, den Anforderungen der allgemeinen Technologie genügende Gruppeneinteilung der Verfahrenstypen existiert.

Die *technologische Zielstellung*, die grundsätzlich eine Formänderung mit dem Ziel der Gestalt- oder Eigenschaftsänderung ist, sollte durch Angaben über den Einfluss der Bearbeitung auf den Stoffzusammenhalt (vergrößern, beibehalten, vermindern, aufheben, schaffen) ergänzt werden.

Bei den Angaben über die Wirkfaktoren und ihre Wechselwirkung sind die Grundwirkform des Arbeitsorgans und die Wirkenergiepaarung von wesentlicher Bedeutung.

Als Beispiel analysieren wir im Folgenden die Struktur des Walzens und formulieren das Wirkprinzip. Wir folgen dabei dem in Kapitel 5.5. gegebenen Muster.

7.7. Verfahrensdarstellung „Walzen“

1. Verfahrenscharakteristik

Walzen ist ein Umformverfahren der Verfahrensgruppe rotierendes Druckumformen. Gegenläufig rotierende Walzen ziehen den Werkstoff durch den Walzspalt, dessen Höhe geringer ist als die Dicke des zu walzenden Materials. Das Walzgut wird durch Reibungskräfte mitgenommen. Im Walzspalt wirken Druckkräfte, die das Walzgut unter Dickenabnahme strecken und in geringem Maße breiten (Abb.7.3.).

Die Erreichung des gewünschten Querschnitts des Walzguts erfordert im Allgemeinen einen mehrmaligen Durchgang (Stich) durch die Walzen. Der Walzspalt wird bei jedem Stich verkleinert.

Das Walzgut kann in warmem oder kaltem Zustand gewalzt werden. Warm- und Kaltwalzen unterscheiden sich dadurch, dass das Walzgut oberhalb bzw. unterhalb der Rekristallisationstemperatur bearbeitet wird. Beim Warmwalzen kann sich das Kristallgefüge des Walzgutes immer wieder neu bilden. Beim Kaltwalzen treten dagegen Verfestigungen des Werkstoffgefüges auf.

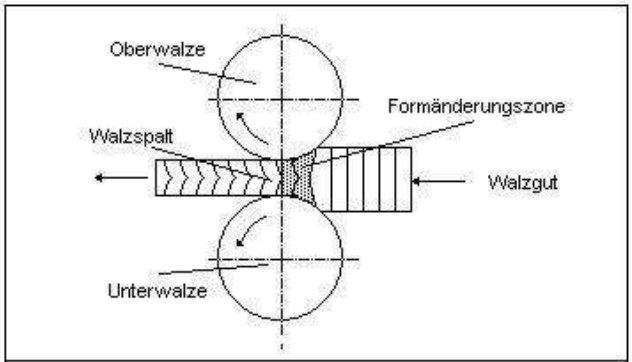


Abb. 7.3. Prinzip des Walzens

Durch Walzen können alle bildsamen Werkstoffe (Metalle, Thermoplaste, Gläser) umgeformt werden. Die große wirtschaftliche und technische Bedeutung des Walzens kommt darin zum Ausdruck, dass 80 bis 90% des erzeugten Stahls in Walzwerken weiterverarbeitet wird. Walzwerksprodukte sind vor allem Halbzeuge (Bleche, Profilstahl, Rohre, Draht).

2. Symboldarstellung

In Abbildung 7.4. wird das Warmwalzen dargestellt. Das Walzgut (S_1) wird in Form von Blöcken, Brammen, Platinen oder in Knüppeln in glühendem Zustand durch die Walzen geführt und zum Walzprodukt (S_2) in Form von Blechen, Draht, Rohren oder Formstahl umgeformt. Die an der Wirkstelle aufzubringende Operationsenergie (e_{mech}) ist mechanische Druckenergie. Sie muss größer sein als der Formänderungswiderstand des Walzgutes. Es treten hohe Wärmeverluste bei der Abkühlung des Werkstoffs auf (Q).

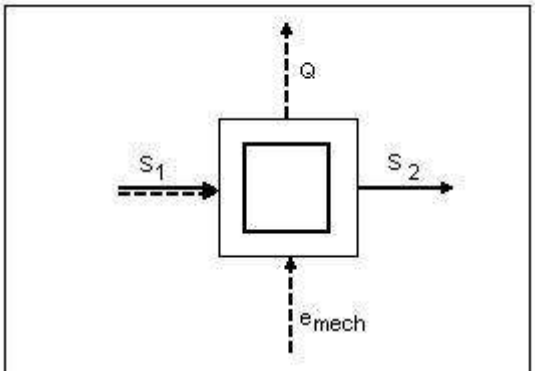


Abb. 7.4. Symboldarstellung des Warmwalzens

Beim Kaltwalzen wird das Walzgut (Rohbleche, Rohband) bei Raumtemperatur zu Blechen, Bändern und Folien verarbeitet. Der Fluss des Arbeitsgegenstandes wird dann ohne Energiesymbol dargestellt.

3. Grundbegriffe und naturwissenschaftliche Grundlagen

Ausgangsmaterialien des Walzens sind gegossene *Rohblöcke* verschiedener Abmessungen und Masse. Aus ihnen werden *Halbzeuge* gewalzt. Man unterscheidet:

- *vorgewalzte Blöcke* (quadratische Abmessungen über 115 mm),
- *Brammen* (Mindestbreite 115 mm, Mindestdicke 75 mm),
- *Knüppel* (quadratisch, 30 bis 115 mm),
- *Platinen* (Breite von 150 bis 300 mm, 8 bis 12 mm dick),
- *Bleche* (unter 5 mm dick),
- *Profile* verschiedenen Querschnitts (Abb.7.5.).

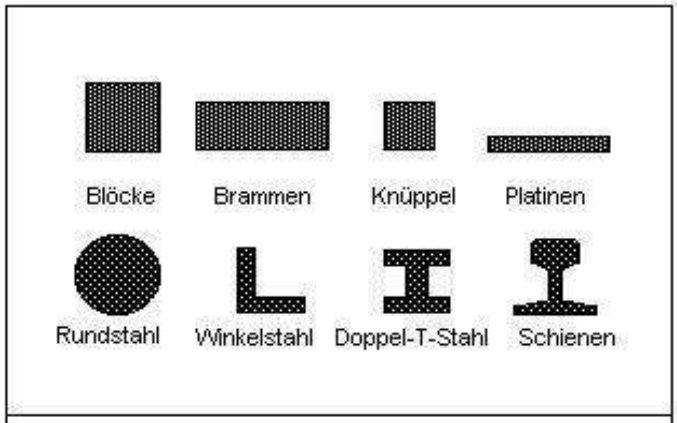


Abb.7.5. Walzprofile

Die Form und Größe der Öffnung zwischen zwei Walzen wird als *Kaliber* bezeichnet. Jeder Walzendurchgang des Walzgutes ist ein *Stich*.

Das Walzen ist ein ununterbrochener Druckvorgang, der in der Formänderungszone das Walzgut fortschreitend umformt. Das plastische Verhalten des Werkstoffs beim Bearbeitungsvorgang beruht auf der Ausbildung von Abgleitvorgängen innerhalb des Werkstoffgefüges unter dem Einfluss äußerer Druckkräfte. Entsprechend der Anordnung der Walzen fließt deshalb der Werkstoff vorwiegend in Walzrichtung und entgegengesetzt zu ihr (Streckung). Das Fließen quer zur Walzrichtung (Breitung) tritt demgegenüber zurück.
Da sich beim Walzen die Werkstoffdichte nur unwesentlich ändert, gilt das *Prinzip der Volumenkonstanz*, d.h. das Werkstoffvolumen ändert sich während der Bearbeitung nicht.

4. Wirkfaktor Verarbeitungseigenschaften des Walzgutes

Entscheidende Bedingung für die Walzbarkeit des Werkstoffes ist seine Bildsamkeit (Plastizität) (1). Die Plastizität eines Werkstoffes ist wesentlich bestimmt durch die Gitterstruktur kristalliner Werkstoffe. Die Temperatur hat ebenfalls erheblichen Einfluss auf die Plastizität, da die Bindungen zwischen den Atomen, Molekülen und Molekülgruppen mit zunehmender Temperatur gelockert werden (8,9). Bei thermoplastischen Polymeren werden während des Walzvorgangs die Makromoleküle gegeneinander verschoben.

Ein Werkstoff gilt als gut walzbar, wenn er über eine hohe Gleichmaßdehnung, eine große Bruchdehnung und eine niedrige Streckgrenze verfügt.

Die komplexe Verarbeitungseigenschaft, die allen Verfahren dieser Gruppe zugrunde liegt, wird Druckumformbarkeit genannt.

5.Wirkfaktor Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans

Die Grundwirkform des Arbeitsorgans ist das gegeneinander rotierende Walzenpaar (2). Es wirkt direkt, linear und flächig auf das Werkstück ein. Die spezifischen technologischen Parameter des Walzenpaares (Walzdruck, Walzspalt) werden von den Verarbeitungseigenschaften des Walzgutes und von den Produktanforderungen bestimmt.

Von wesentlichem Einfluss auf den Walzvorgang ist der Walzendurchmesser. Er soll möglichst gering sein, weil dann die Berührungsfläche zwischen Walzgut und Walzen klein ist. Damit ist eine Reihe von Vorteilen verbunden wie geringer Fließwiderstand des Werkstoffs (4,5), geringer Walzdruck und dadurch minimaler Energieaufwand (6, 7,), geringer Walzenverschleiß und hohe Streckung des Walzgutes.

Für die Walzgeschwindigkeit gilt die allgemeine Beziehung, dass sich mit der Erhöhung der Umformgeschwindigkeit die Umformfestigkeit des Walzgutes erhöht und die Beanspruchbarkeit geringer wird. Beim Kaltwalzen ist der Einfluss der Umformgeschwindigkeit jedoch wesentlich geringer als beim Warmwalzen.

Die Form des Walzgutes (sein Querschnitt) wird durch die Form des Walzspaltes bestimmt. Für Bleche verwendet man Flachwalzen, für Formstahl entsprechend profiliertem Walzenkörper.

6. Wirkfaktor Energetische Wirkbedingungen

Die Formänderung wird beim Walzen durch Druckkräfte und die Relativbewegung von Werkzeug und Walzgut erreicht (3). Die Walzen übertragen mechanische Energie an die Wirkstelle und überwinden den Formänderungswiderstand des Walzgutes. Mechanische Reibungskräfte bewirken den Transport durch die Walzen. Die Wirkenergiepaarung ist mechano-mechanisch.

7. Wirkprinzip

Dem Walzen liegt das Prinzip des Rotationsdruckumformens zugrunde. Mit ihm können druckumformbare Werkstoffe mittels gegenläufiger Walzenpaare bei rotierender Bewegung des Arbeitsorgans und translatorischer Bewegung des Arbeitsgegenstandes in Walzrichtung durch kontinuierliche lineare bzw. flächenförmige Druckeinwirkung in ihrer Form geändert werden. Die thermische Aufheizung beim Warmwalzen erleichtert den Umformvorgang.

8. Strukturschema (Abb.7.6.)

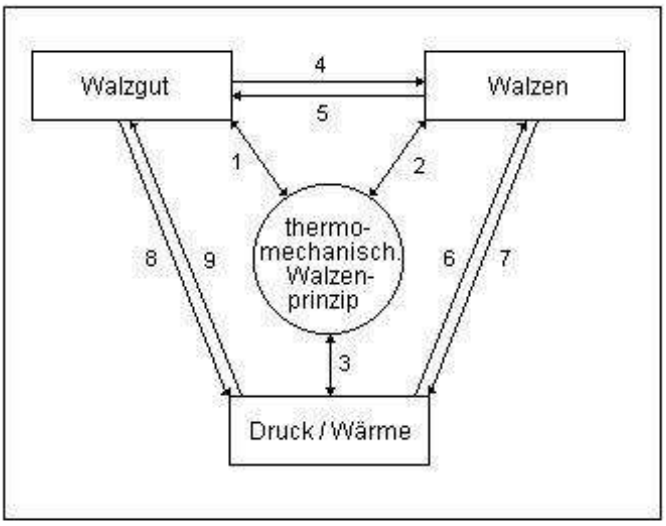


Abb. 7.6. Strukturschema des Walzens

7.8. Systematik der Stoffformungsverfahren

Die Systematisierung der Stoffformungsverfahren wurde bisher jeweils nur innerhalb der traditionellen Teilgebiete - in der Fertigungstechnologie, in der Verfahrenstechnologie und in der Verarbeitungstechnologie - vorgenommen. In ihrem Anwendungsbereich haben diese Ordnungssysteme volle Berechtigung und Gültigkeit. Aus der umfassenderen Sicht der allgemeinen Technologie können sie jedoch nicht befriedigen. Die jeweils mit den spezifischen Zielsetzungen und Methoden des betreffenden Fachgebietes durchgeführten Systematisierungen haben zu vielfältigen Überschneidungen, einem Nebeneinander von Begriffen und Bezeichnungen, von Betrachtungsweisen und unterschiedlichen Einteilungskriterien geführt, die sich hemmend auf die Entwicklung der technologischen Wissenschaft auswirken. In der Produktionspraxis resultiert daraus eine unzureichende universelle Nutzung der Erkenntnisse, Methoden und Erfahrungen der einzelnen Disziplinen.

Der fortschreitende Integrationsprozess in Produktion und Wissenschaft fordert, den engen Fachstandpunkt zu überwinden und stärker fachübergreifende allgemeintechnologische Betrachtungsweisen - insbesondere bei der Systematisierung der technologischen Verfahren - anzuwenden.

Ohne auf die Vielzahl der vorliegenden Systematisierungsvorschläge für die Fertigungsverfahren, die Verarbeitungsverfahren und die Grundoperationen der Verfahrenstechnologie im einzelnen einzugehen, wollen wir eine Sichtung der dabei angewandten Klassifizierungskriterien vornehmen und prüfen, welche sich für eine allgemeintechnologische Systematik der Stoffformungsverfahren eignen.

Das von O. KIENZLE für den Bereich der *Fertigungstechnologie* entwickelte Gliederungsschema ist sehr verbreitet und findet sich in abgewandelter Form in anderen Entwürfen wieder. Es lässt allerdings kein einheitliches Klassifizierungskriterium erkennen. I.M. PAWLOW legt seiner Einteilung den Einfluss des Bearbeitungsverfahrens auf die Veränderung der Masse des Arbeitsgegenstandes zugrunde. W. ENGELHARDT unterscheidet gestaltgebende, stoffzubereitende und veredelnde Verfahren, geht also vom Ziel der Bearbeitung aus. F. BREDENDICK führt als Klassifizierungskriterium den Einfluss des Fertigungsverfahrens auf die Stoffbindungen des Arbeitsgegenstandes ein und unterscheidet innerhalb der Verfahrenstypen zwischen Gestalt- und Stoffänderung (Abb.7.7.a bis d).

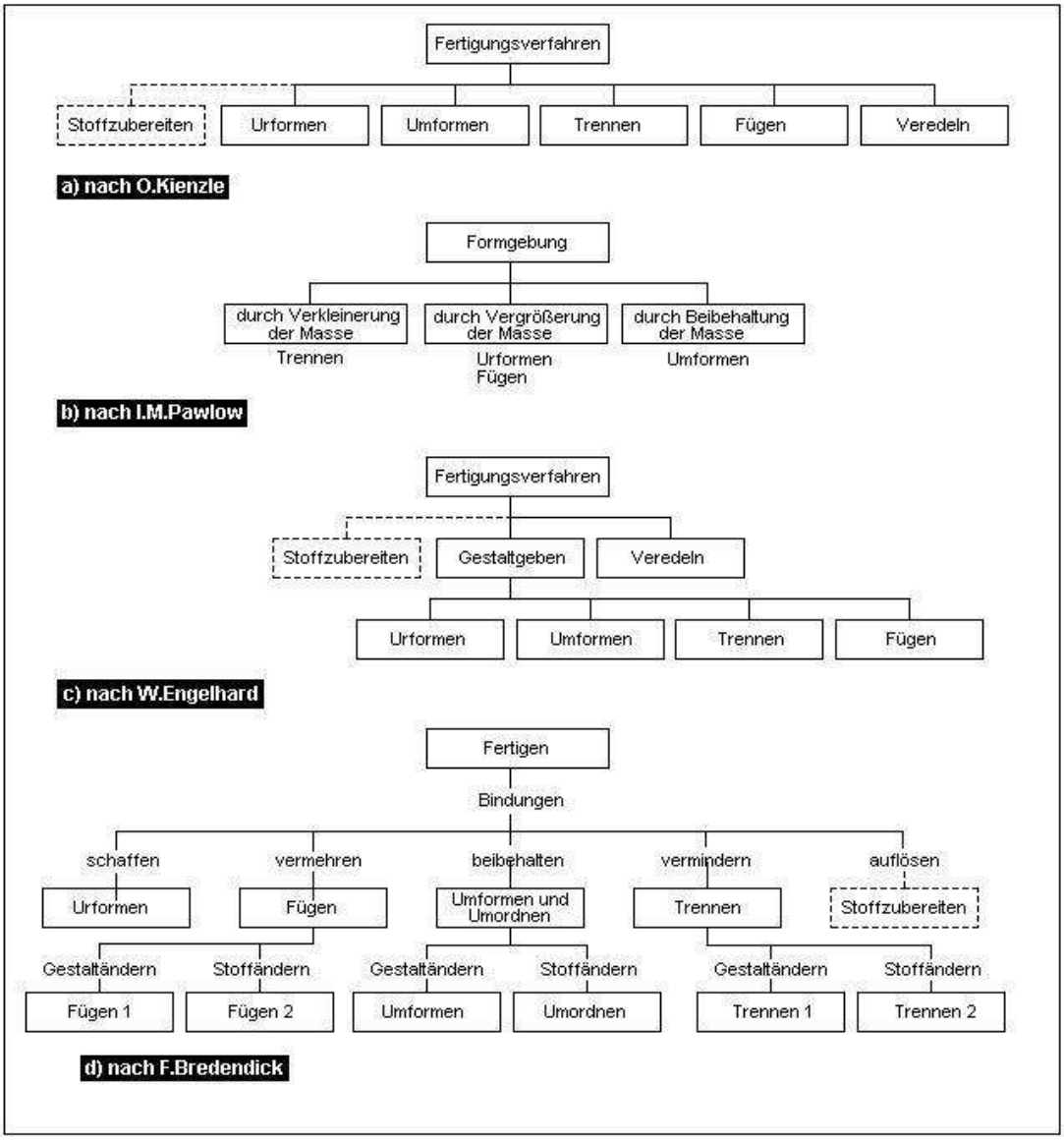


Abb. 7.7. Gliederungsschemata der Fertigungstechmologie

Die von BREDENDICK herausgearbeiteten Einteilungskriterien haben weite Verbreitung gefunden und bildeten auch die Grundlage für die ehemalige DDR-TGL 21 639 (Abb.7.8.).

Abb. 7.8. Einteilung der Fertigungsverfahren nach TGL 21 639

In der *Verfahrenstechnologie* werden die dort als Grundoperationen bezeichneten Grundverfahren nach rein pragmatischen Gesichtspunkten und ohne erkennbares einheitliches Ordnungskriterium in neun Hauptgruppen eingeteilt. Innerhalb der Hauptgruppe erfolgt die weitere Unterteilung nach dem Aggregatzustand der beteiligten Arbeitsgegenstände (Abb.7.9.)

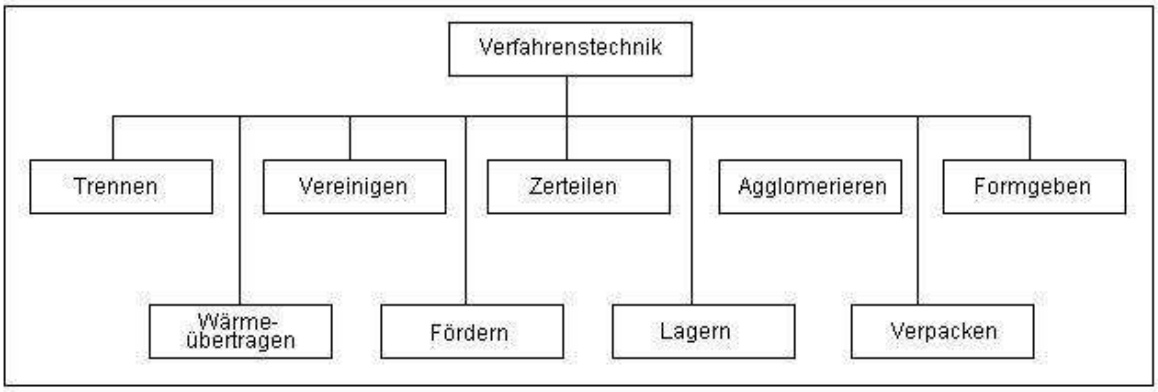


Abb. 7.9. Gliederungsschema der Verfahrenstechnologie

Bei einem Vergleich der für die einzelnen Hauptgruppen (Verfahrenstypen) gewählten Bezeichnungen zeigen sich gravierende Überschneidungen mit der Fertigungstechnologie, obgleich zum Teil grundsätzlich verschiedene Begriffsinhalte damit verbunden sind. So wird die Hauptgruppe "Trennen" in der Verfahrenstechnologie als Zerlegen eines Stoffgemisches oder -gemenges in einzelne Komponenten oder in Phasen innerhalb des betreffenden Stoffsystems definiert. Die Fertigungstechnologie bezeichnet dagegen als Trennen ein Fertigen durch Ändern der Form eines festen Körpers, wobei der Stoffzusammenhalt örtlich aufgehoben und im Ganzen vermindert wird. Ähnlich gravierende Unterschiede im Begriffsinhalt gelten für das Zerteilen.

Im Bereich der *Verarbeitungstechnologie* sind ebenfalls einige Ordnungssysteme bekannt geworden. Im Allgemeinen handelt es sich ähnlich wie bei der Verfahrenstechnologie um fachspezifische, nach pragmatischen Gesichtspunkten geordnete Übersichten zu den dort angewandten technologischen Grundverfahren. In der von H.HERRNSDORF vorgelegten Ordnung werden zunächst Arbeitsprinzipien genannt (Trennen, Absondern, Fügen, Formen usw.), die im Wesentlichen den Hauptgruppen der Fertigungstechnologie entsprechen. Diese werden dann einheitlich nach den "Formvarianten der Stoffe vor der Wirkstelle" in Grundverfahren untergliedert (Abb.7.10.).

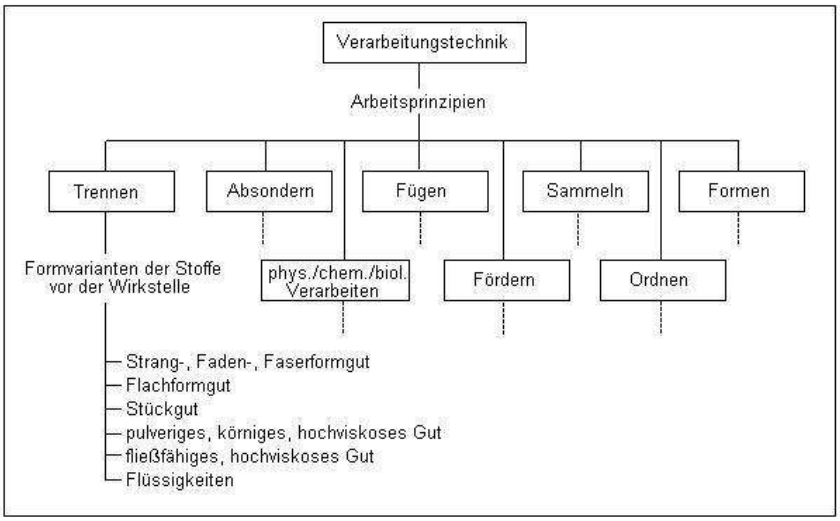


Abb. 7.10. Gliederungsschema der Verarbeitungstechnologie nach Herrnsdorf

!Syntaxfehler, GRUNDVERF Wollen wir ein allgemeintechnologisches System der Stoffformungsverfahren entwickeln, so muss von solchen Ordnungskriterien ausgegangen werden, die die stoffformenden Verfahren vollständig erfassen, unabhängig davon, ob sie im Bereich der Fertigungs-, der Verfahrens-, der Verarbeitungstechnologie oder in einem beliebigen anderen Bereich genutzt werden (z.B. in der Agrartechnologie oder der Energiewirtschaft).

Eine Analyse der verschiedenen in den vorgestellten Ordnungsvorschlägen angewandten Kriterien zeigt, dass die von BREDENDICK vorgeschlagenen Klassifizierungskriterien im Prinzip diesen Anforderungen genügen. Es sind dies:

- der Einfluss des Bearbeitungsvorgangs auf den Stoffzusammenhalt (Stoffbindungen),
- das Ziel der stoffformenden Bearbeitung.

Der Übergang vom begrenzten System der Fertigungsverfahren zum allgemeintechnologischen System der Stoffformungsverfahren kann dadurch erreicht werden, dass die Datenmengen des Matrixoperators *vollständig* erfasst werden und dass beide Kriterien konsequent und durchgängig angewendet werden.

Zur Datenmenge "Stoffzusammenhalt" gehören folgende Elemente:

- Zusammenhalt schaffen
- Zusammenhalt vergrößern
- Zusammenhalt beibehalten
- Zusammenhalt vermindern
- Zusammenhalt aufheben.

Die Datenmenge "Bearbeitungsziel" umfasst als Elemente:

- Gestaltändern
- Stoffeigenschaftsändern.

Die aus beiden Datenmengen gebildete Matrix ergibt das *System der Stoffformungsverfahren*. Es umfasst zehn Verfahrenstypen (Abb.7.11.)

Ziel \ Stoffzusammenhalt	schaffen	vermehren	beibehalten	vermindern	aufheben
Gestaltändern	Urformen	Fügen	Umformen	Trennen	Zerkleinern
Stoffeigenschaftsändern	urformendes Stoffeigenschaftsändern	Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen	Umlagern von Stoffteilchen	Aussondern von Stoffteilchen	zerkleinerndes Stoffeigenschaftsändern

Abb. 7.11. System der Stofformungsverfahren

Dieses System erfasst die Gesamtheit der Stoffformungsverfahren. Neben den fertigungstechnologischen lassen sich auch die verfahrenstechnologischen und verarbeitungstechnologischen Verfahren zwanglos in diesem System erfassen. Es ermöglicht darüber hinaus die allgemeine Definition der einzelnen Verfahrenstypen aus ihrer Stellung im Ordnungssystem. Fügen ist danach z.B. ein gestaltändernder Verfahrenstyp, der durch die Vergrößerung des Stoffzusammenhalts der Arbeitsgegenstände gekennzeichnet ist.

Das vorgeschlagene System der Stoffformungsverfahren bietet weiterhin die Möglichkeit, die bisher entworfenen Ordnungsschemata vollständig und unter Beibehaltung allgemein anerkannter Klassifizierungskriterien in sich aufzunehmen. Seine Anwendung braucht die spezifischen Aufgabenstellungen und Betrachtungsaspekte der einzelnen Teildisziplinen nicht aufzuheben. Es fördert die gegenseitige Nutzung von Arbeitsergebnissen und unterstützt den Integrationsprozess.

Die weitere Untergliederung der Verfahrenstypen in Verfahrensgruppen und Grundverfahren ist bisher noch unvollständig bearbeitet. Die in der traditionellen Fachliteratur verwendeten Übersichten gehen jeweils nur von *einem* Ordnungskriterium aus. Auch hier muss künftig angestrebt werden, Matrixoperatoren zu finden, die wesensbestimmende Verfahrensmerkmale der Gruppen als Datenmenge für eine zweidimensionale Verknüpfungsmatrix zur Grundlage haben.

7.9. Charakteristik der Verfahrenstypen

7.9.1. Der Verfahrenstyp Urformen

Das Urformen ist ein Verfahrenstyp, durch den stoffliche Arbeitsgegenstände aus einem formlosen Zustand in eine erste technisch verwertbare Form übergeführt werden. Das geschieht durch Schaffung des Stoffzusammenhaltes mittels Krafteinwirkung. Die Stoffeigenschaften des Arbeitsgegenstandes treten dabei bestimmbar in Erscheinung.

Unter formlosem Stoff werden in der einschlägigen Literatur Gase, Dämpfe, Flüssigkeiten, Lösungen, Schmelzen, Breie, Pasten, Pulver, Granulate, Körner, Fasern und ähnliche Zustandsformen der Stoffe verstanden.

Die offensichtliche Vielfalt "formloser" Arbeitsgegenstände, die im Produktionsprozess eine erste weiterverarbeitbare Form erhalten müssen, bedingt eine breite Palette von Urformverfahren und einen großen Anwendungsbereich dieser Verfahren in den verschiedensten Produktionszweigen. Wir finden sie sowohl in fertigungstechnologisch und verfahrenstechnologisch als auch in verarbeitungstechnologisch orientierten Produktionsprozessen. Die zweite Verarbeitungsstufe der Metallurgie bedient sich ebenso der Urformverfahren wie die metallverarbeitende, die holzverarbeitende und die plastverarbeitende Industrie. Aber auch in der Nahrungsgüterindustrie, in der Baustoffindustrie, bei der Erzeugung keramischer Produkte und in der Agrarproduktion werden Urformverfahren verbreitet genutzt.

Beim Vorgang des Urformens ist zwischen dem eigentlichen Formschaffen und der Fixierung der geschaffenen Form zu unterscheiden. Beide Teilvorgänge können zeitlich und örtlich zusammenfallen (z.B. beim Metallgießen oder bei der Galvanoplastik). Sie können aber auch getrennt voneinander ablaufen (Vergießen von Porzellanmassen in einer Form zur Formgebung und anschließendes Sintern im Brennofen zur Formfixierung). M. PERWITZSCHKY hat für diese Erscheinung den Begriff des "in Stufen vollzogenen technologischen Grundverfahrens" eingeführt (Lit.7.4. S.20 bis 26).

Diese Charakteristik der Urformverfahren ergibt sich aus der Tatsache, dass der formlose Ausgangsstoff zunächst in die gewünschte Form gebracht und dann die Stoffbindungen erzeugt und fixiert werden müssen.

Wichtige Stoffeigenschaften, die die Voraussetzung für die Anwendung von Urformverfahren darstellen, sind:

- Schmelzbarkeit des Stoffes
- Gießbarkeit des Stoffes
- Pressbarkeit des Stoffes
- Blasbarkeit des Stoffes
- Schäumbarkeit des Stoffes.

Hinsichtlich seiner Stellung im Produktionsprozess kann das Urformen eine Vorstufe für andere Bearbeitungsstufen darstellen (Herstellen von Gussteilen und Plasthalbzeugen, die weiterbearbeitet werden müssen) oder aber unmittelbar zu Fertigteilen führen (Herstellen von Galvanoplastiken und Bauteilen aus Plastmaterialien, Sintern von Bauteilen).

Die übliche Systematisierung der Urformverfahren geht vom Aggregatzustand des Ausgangsmaterials aus. Danach wird zwischen dem Urformen aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand, aus dem breiigen oder pastenförmigen Zustand und aus dem festen (z.B. körnigen oder pulverigen) Zustand unterschieden. Als besondere Verfahrensgruppe wird Urformen durch elektrolytische Abscheidung genannt.

Eine vergleichende Betrachtung der so konstituierten Verfahrensgruppen zeigt, dass das Ordnungskriterium "Ausgangszustand des Arbeitsgegenstandes" nicht durchgängig angewandt ist. Andererseits ergeben sich aus dieser Einteilung auch Überschneidungen, die keine eindeutige Zuordnung einzelner Grundverfahren zulassen. So wird das Pressen sowohl bei pulverförmigen Stoffen (z.B. Metallpulver) als auch bei flüssigen Werkstoffen (Metallschmelzen, Glasschmelzen) angewandt. Diese Schwierigkeiten sind nur durch die Einbeziehung weiterer Ordnungskriterien zu überwinden.

Der Ausgangszustand des Arbeitsgegenstandes ist für das Urformen ein wesentliches Kriterium, das beibehalten werden muss. Von weiteren sich anbietenden Kriterien für die Untergliederung der Urformverfahren in Verfahrensgruppen scheint die Art der Operationsenergie geeignet. Sie sollte entsprechend dem in zwei Stufen verlaufenden Vorgang als Wirkenergiepaarung angegeben werden

Beim Strangpressen wird die Form durch mechanische Energie geschaffen, die Formfixierung durch thermische Energie (Abkühlung), es liegt demnach eine mechano-thermische Energiepaarung vor. Der energetische Aspekt eignet sich aus der Sicht der allgemeinen Technologie auch deshalb besonderes als Klassifizierungskriterium, weil er eine Einteilung der Verfahren unabhängig von der Art des Stoffes gestattet und damit sowohl metallische als auch nichtmetallische Arbeitsgegenstände erfasst.

Stellt man aus beiden genannten Kriterien eine Verknüpfungsmatrix auf, so erhält man das in Tabelle 7.1. wiedergegebene *System der Urformverfahren.*

Ausgangs-zustand des AG	Operationsenergie E_1 / E_2			
	Mechano-thermisch	Mechano-chemisch	Elektro-chemisch	Thermo-chemisch
fest (körnig, pulverig, granuliert, Schnitzel)	Preßsintern Kalandrieren Strangpressen Sprotzgießen	Pressen von Duroplasten Brotbacken		Ziehen von Einkristallen
flüssig (geschmolzen, breiig, teigig, pastös, gelöst)	Gießen Blasen Tauchen	Schäumen Spinnen Betongießen Gießen von Gießharzen Stampfen	Galvanoplastik	Kristallisieren

Tabelle 7.1. System der Urformverfahren

Die einzelnen Felder stellen den Platz der Verfahrensgruppen dar. Die Zeileneingänge werden durch das Kriterium "Aggregatzustand des Arbeitsgegenstandes vor der urformenden Bearbeitung (Ausgangszustand

des AG)" gebildet. Die Spalteneingänge kennzeichnen die Wirkenergiepaarungen, die in den beiden Stufen des jeweiligen Verfahrens (Formgeben und Formfixieren) nacheinander oder gleichzeitig wirken (E_1/E_2). Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass innerhalb der einzelnen Stufen oft mehrere Energiearten gleichzeitig wirken. So ist die chemische Formfixierung beim Pressen von Duroplasten mit der Anwendung von Wärmeenergie verbunden.

Die Bezeichnung der einzelnen Verfahrensgruppen ergibt sich aus den zugehörigen Elementen der Klassifizierungskriterien, z.B. mechano-chemisches Flüssigkeitsurformen, mechano-thermisches Festoffurformen. In die Gruppenfelder der Matrix wurden anstelle der Gruppenbezeichnungen ausgewählte Beispiele von Grundverfahren eingetragen.

Abbildung 7.12. gibt eine Übersicht und veranschaulicht typische Urformverfahren.

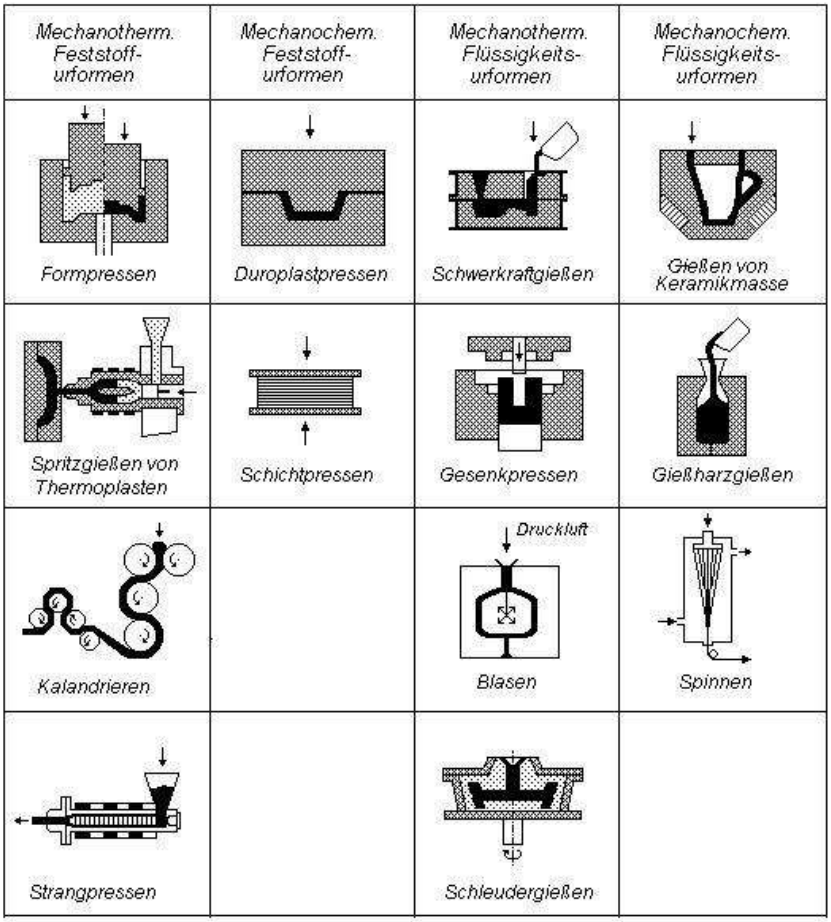


Abb. 7.12. Grundverfahren des Urformens

7.9.2. Der Verfahrenstyp Fügen

Das Fügen hat als Verfahrenstyp der Stoffformung das Zusammenbringen (Verbinden) einzelner Werkstückteile zu einem funktionellen Ganzen zum Ziel. Beim Fügevorgang wird der Stoffzusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt.

Das Fügen umfasst eine große Zahl und Vielfalt von Grundverfahren. Sie werden sowohl in der Vorphase, in der Hauptphase und auch in der Schlussphase verschiedenartigster Produktionsprozesse eingesetzt. Sie sind ebenso charakteristisch für fertigungstechnologische wie für verarbeitungstechnologische Produktionszweige.

Die Einteilung der Fügeverfahren erfolgt nach der Art und Weise wie der örtliche Stoffzusammenhalt geschaffen wird. Es werden folgende Verfahrensgruppen unterschieden:

- Fügen durch Zusammenlegen
- Fügen durch Füllen
- Fügen durch An- und Einpressen
- Fügen durch Urformen

- Fügen durch Umformen
- Fügen durch Stoffverbinden.

Obwohl diese Einteilung für die Fertigungstechnologie aufgestellt wurde, entspricht sie auch den Bedürfnissen der allgemeinen Technologie. Die Einteilung nach der Art des Zustandekommens der örtlichen Stoffbindungen abstrahiert von der Art des Arbeitsgegenstandes und ermöglicht es deshalb, auch Verfahren der Textiltechnologie, wie Nähen, Stricken und Weben, die der technologischen Charakteristik des Fügens entsprechen, zu erfassen. Das gilt ebenso für die Verpackungstechnologie (z.B. Einwickeln von Schokolade) oder für die Zigarettenherstellung (z.B. Umhüllen des Tabakstrangs mit Zigarettenpapier).

Im Sinne der allgemeinen Technologie muss aber jeweils berücksichtigt werden, dass das Ziel des Fügens die *gestaltändernde* Stoffformung ist. Das Beschichten eines Werkstücks mit einer Lackschicht oder einem Metallüberzug wird zwar auch durch örtliche Vergrößerung des Stoffzusammenhalts charakterisiert, Ziel dieser Verfahren ist jedoch die Stoffeigenschaftsänderung des Arbeitsgegenstandes (Korrosionsbeständigkeit, Aussehen).

Für die Schaffung des örtlichen Stoffzusammenhalts kann eine Vielzahl von physikalischen und chemischen Effekten genutzt werden, von denen bisher vor allem für die Kohäsion, die Adhäsion und die Haftreibung technische Lösungen gefunden wurden.

Beim *Fügen durch Zusammenlegen* werden verschiedene Teile zur Erfüllung einer technischen Funktion durch Ineinanderschieben, Einhängen, Einrenken, Einlegen von Passfedern u. a. passend zusammengefügt. Beispielsweise werden Werkstücke auf zueinander passenden Führungsbahnen ineinandergeschoben, damit sie auf bestimmten Flächen gegeneinander gleiten können. Rundlaufende Teile (Zahnräder auf Wellen) lassen sich durch Einlegen von Passfedern verbinden. Das Einwickeln (Umhüllen) von Bonbons geschieht ebenfalls durch Zusammenlegen. Das Wickeln von Zigaretten ist im technologischen Sinn auch ein "Zusammenlegen".

Weitere Grundverfahren dieser Gruppe sind Wickeln, Bündeln, Spulen und Stapeln.

Allen diesen Verfahren ist außer dem Zusammenlegen gemeinsam, dass es sich um feste Stoffe handelt.

Die zweite Verfahrensgruppe ist das *Fügen durch Füllen.* In ihr wird das Zusammenbringen von festen mit flüssigen und gasförmigen Stoffen erfasst. Beispiele sind das Einfüllen von Milch in Flaschen und Dosen, von Pasten in Tuben, von Gasen in Leuchtstoffröhren und von Gasen (Sauerstoff, Kohlendioxid, Propan) in Stahlflaschen.

Beim *Fügen durch An- und Einpressen* werden Reibungs- und Druckkräfte zur Verbindung der zu fügenden Teile genutzt. Wichtige Grundverfahren sind Verschrauben, Klemmen, Klammern, Keilen, Verstiften und Nageln.

Fügen durch Urformen ist ein Verbinden von Fügeteilen durch einen hinzugefügten formlosen Stoff. In diese Gruppe gehören Grundverfahren wie Vergießen, Umgießen, Ausgießen und Einschmelzen. Das aluminothermische Schweißen ist ein typisches Beispiel für das Umgießen. Es wird u. a. zum Verbinden von Schienen eingesetzt. Über der Fügestelle wird ein Thermitgemisch in einem Tiegel zur Zündung gebracht. Der entstehende flüssige Thermitstrahl fließt in den Zwischenraum zwischen beiden Schienen, füllt ihn aus und verbindet die beiden Schienenenden miteinander.

In der Verfahrensgruppe *Fügen durch Umformen* werden die Fügeteile örtlich oder auch ganz umgeformt. Die Verbindung wird im Allgemeinen durch Formschluss erreicht. Wichtige Grundverfahren sind das Nieten, Falzen, Bördeln, Weiten, Sicken, Flechten, Weben, Spleißen, Verdrillen und das Verknoten.

Fügen durch Stoffverbinden führt zu unlösbaren Verbindungen der Fügeteile durch adhäsive und kohäsive Kräfte. Die Fügeteile können aus gleichartigen oder chemisch unterschiedlichen Stoffen bestehen. Als Operationsenergie werden vor allem Wärme und/oder Druck angewendet. Die Verbindung kann ohne oder mit Zusatzwerkstoffen geschaffen werden. Beispiele für Grundverfahren dieser Gruppe sind Schweißen, Löten, Kleben und Kitten.

Abbildung 7.13. gibt eine Übersicht über wichtige Fügeverfahren.

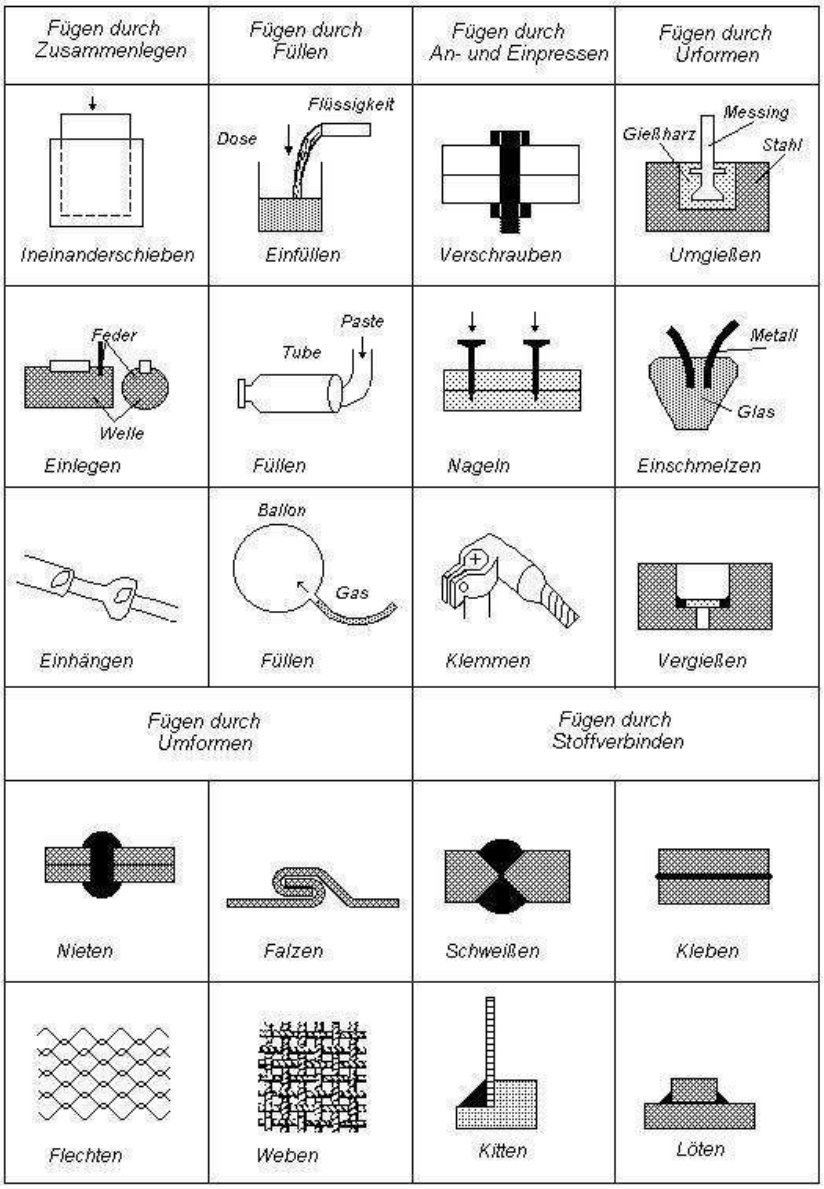


Abb. 7.13. Grundformen des Fügens

7.9.3. Der Verfahrenstyp Umformen

Die Umformverfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass die Gestaltänderung des (festen) Arbeitsgegenstandes durch plastische Verformung infolge äußerer Krafteinwirkung herbeigeführt wird. Dabei bleiben die Masse des Arbeitsgegenstandes und der Stoffzusammenhalt erhalten. Umformverfahren besitzen gegenüber anderen gestaltändernden Stoffformungsverfahren eine Reihe von Vorzügen, die ihnen eine ständig wachsende Bedeutung für die Herstellung von Halbzeugen und Fertigerzeugnissen gibt:

- Charakteristisch sind kurze Bearbeitungszeiten; es ist z.B. möglich bei jedem Arbeitshub einer Umformmaschine den Umformvorgang vollständig zu vollziehen (Gesenkschmieden in einer Stufe).
- Die Endform des Arbeitsgegenstandes ist weitgehend im Arbeitsmittel gespeichert.
- Der Werkstoff geht praktisch vollständig in das Produkt ein (geringe Werkstoffverluste).
- Die Werkstoffeigenschaften bleiben erhalten oder werden durch Kaltverfestigung bzw. Homogenisieren des Gefüges verbessert.

Die Anwendung der Umformverfahren ist nicht auf die Metallverarbeitung beschränkt. Eine Vielzahl weiterer Werkstoffe wie Thermoplaste, Holz, Leder, Papier, Karton besitzen Eigenschaften, durch die sie umformend bearbeitet werden können. Voraussetzung für das Umformen ist die Verarbeitungseigenschaft Umformbarkeit. Sie beruht auf der Fähigkeit des Werkstoffs, unter Einwirkung äußerer Kräfte bleibende Formänderungen zu ertragen, ohne dass dabei der Stoffzusammenhalt verloren geht. Die Grundlage für die Um-

formbarkeit liegt im atomaren, molekularen bzw. intermolekularen Aufbau der Werkstoffe. Bei metallischen Werkstoffen mit kristalliner Struktur verschieben sich bei Überschreiten einer Grenzbeanspruchung durch äußere Krafteinwirkung kleinste Werkstoffteilchen, ohne dass die Stoffbindungen aufgehoben werden. Es treten Gleitvorgänge im Werkstoffgefüge auf, die oft als Fließlinien an der Oberfläche umgeformter Werkstoffe sichtbar werden. Thermoplaste bauen sich aus kettenförmigen Makromolekülen auf. Bei Erwärmung lockern sich die zwischenmolekularen Bindungskräfte, die Plastwerkstoffe erweichen und ihre Fadenmoleküle lassen sich gegeneinander verschieben. Nach Abkühlung erstarren die Thermoplaste wieder und behalten die neue Form bei.

Die Werkstoffeigenschaften bilden jedoch nur eine Komponente des bildsamen Zustandes. Ebenso bedeutsam sind die Umformbedingungen. Der Umformbereich des Werkstoffes liegt zwischen der Fließgrenze (dem Übergang vom elastischen zum plastischen Werkstoffverhalten) und der Bruchgrenze (dem Übergang von plastischer Formänderung zur Werkstofftrennung). Metallische Werkstoffe können im kalten oder warmen Zustand umgeformt werden. Durch Kaltumformung werden die Härte und die Zugfestigkeit erhöht, während die Dehnung verringert wird. Durch die mit dem Umformvorgang verbundene Deformation der Kristallite entsteht eine Verfestigung des Werkstoffs. Dieser Zustand kann durch die Erwärmung des Materials wieder aufgehoben werden (Rekristallisation). Bei der Warmumformung tritt die Materialverfestigung nicht auf, weil die Rekristallisation und die Materialerholung während des Umformvorgangs erfolgt.

Beim Umformvorgang muss durch entsprechende äußere Kräfte der Formänderungswiderstand im Werkstoff überwunden werden. Der Formänderungswiderstand ist abhängig von der Härte des Werkstoffs, der Umformtemperatur und von der Umformgeschwindigkeit.

In den konventionellen Umformverfahren (Schmieden, Pressen, Ziehen) wurde ausschließlich mechanische und thermische Energie angewandt. Mit der Tendenz zu immer höheren Umformgeschwindigkeiten werden zunehmend auch andere Energiearten genutzt. So erreicht man bei der elektrohydraulischen Umformung durch Entladung hoher elektrischer Energien über eine Unterwasserfunkenstrecke Schockwellengeschwindigkeiten von 6000 ms^{-1}. Ähnliche Umformgeschwindigkeiten treten bei der Magnetumformung auf, bei der Schockwellen durch die Entladung hoher elektrischer Energien über eine Magnetfeldspule hervorgerufen werden. Noch höhere Geschwindigkeiten kennzeichnen das Explosivumformen (durch dosierte Detonation von Sprengstoffen), bis 8000 ms^{-1}.

Für die *Untergliederung der Umformverfahren* bieten sich als Ordnungskriterien die "Art der Beanspruchung in der Umformzone" mit den Elementen Druck, Zug und Druck, Zug, Biegen und Schub sowie die "Art der Hauptbewegung" (d.h. die durch die Kraftwirkung erzwungene Relativbewegung zwischen den Elementen des Arbeitsorgans) an. Die aus diesen Kriterien gebildete Ordnungsmatrix enthält 10 Felder, die die Verfahrensgruppen des Umformens darstellen (Tabelle 7.2.).

Beanspruchung	Hauptbewegung	
	Translatorisch	Rotierend
Druck	Translatorisches Druckumformen	Rotations-Druckumformen
Zug und Druck	Translatorisches Zug-Druck-Umformen	Rotations-Zug-Druck-Umformen
Zug	Translatorisches Zugumformen	Rotations-Zugumformen
Biegen	Translatorisches Biegeumformen	Rostations-Biegeumformen
Schub	Translatorisches Schubumformen	Rotations-Schubumformen

Tabelle 7.2. Verfahrensgruppen des Umformens

Beispiele für Grundverfahren des Umformens gibt Abb.7.14.

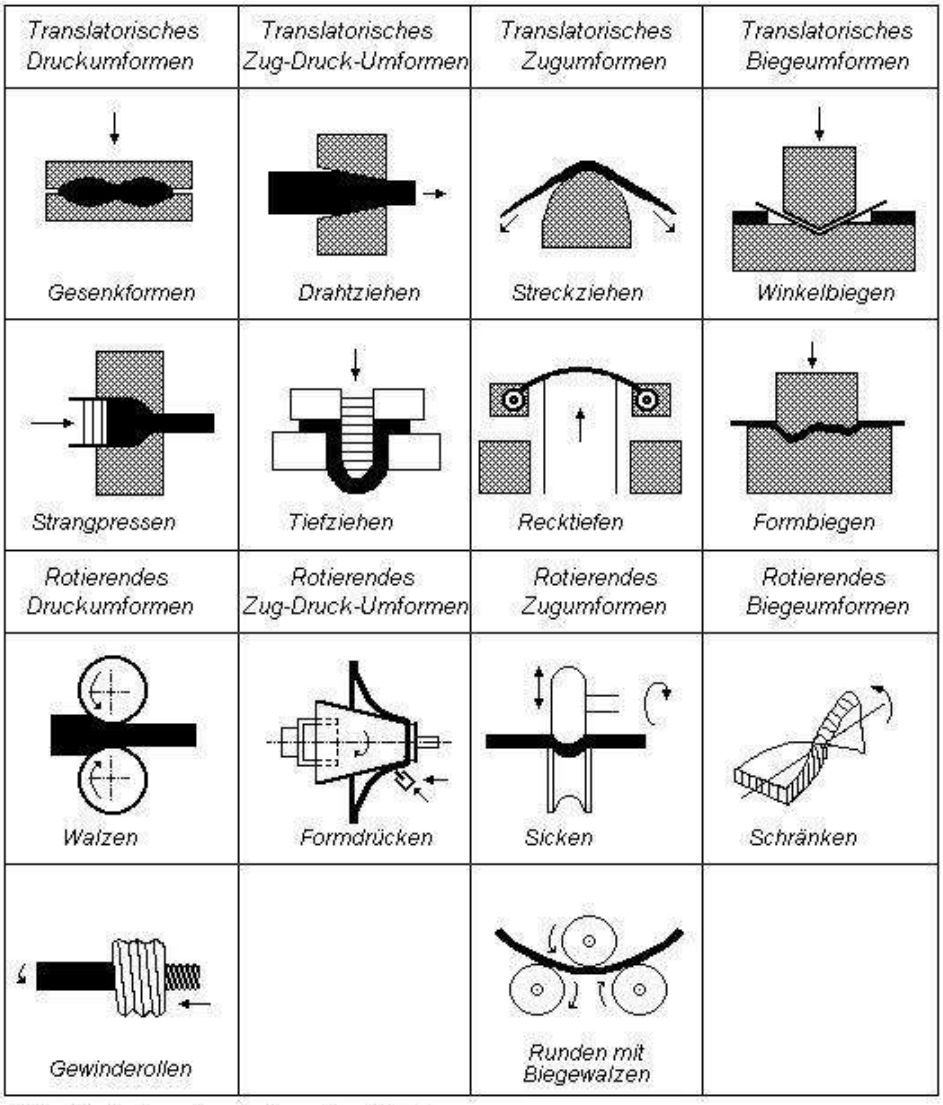


Abb. 7.14. Grundverfahren des Umformens

7.9.4. Der Verfahrenstyp Trennen

Das Trennen ist ein Verfahrenstyp, der die Form fester Arbeitsgegenstände durch örtliches Aufheben des Stoffzusammenhalts ändert. Die Endform des Produkts ist in der Ausgangsform enthalten.

Typisch für Trennverfahren ist die allgemein geringe Formspeicherung der Werkzeuge (des Arbeitsorgans). Das hat den Vorteil, dass mit den Werkzeugen sehr unterschiedliche Formen hergestellt und die Werkzeuge bei eingetretenem Verschleiß nachgestellt werden können. Andererseits ist ein komplizierter Bewegungsablauf notwendig, um die verschiedenartigen Formen aus dem Arbeitsgegenstand herausarbeiten zu können.

Mit Trennverfahren lässt sich eine hohe Formgenauigkeit und Oberflächengüte der Werkstücke erreichen. Sie werden deshalb überall dort eingesetzt, wo durch Urformen oder Umformen die geforderte Genauigkeit oder die gewünschten Formen nicht wirtschaftlich erreicht werden können.

Die Aufhebung des Stoffzusammenhalts kann durch Schneiden des Werkstoffs, durch Spanabheben oder durch Abtragen kleinerer oder größerer Werkstoffteilchen erfolgen. Als Operationsenergie wurde dazu in der Vergangenheit fast ausschließlich mechanische Energie eingesetzt. In immer stärkerem Maße werden aber jetzt auch elektrische, elektrochemische, chemische, strahlungsthermische und hydromechanische Energiearten genutzt, insbesondere dort, wo es darum geht, sehr harte und spröde Werkstoffe trennend zu bearbeiten, für die klassische mechanische Verfahren nicht eingesetzt werden können.

Eine allgemein befriedigende Systematik der Trennverfahren ist gegenwärtig noch nicht ausgearbeitet. In der Fertigungstechnologie wird allgemein wird zwischen Zerteilen, Spanen, Abtragen, Zerlegen, Reinigen

und Evakuieren als Verfahrensgruppen unterschieden. Problematisch daran ist, dass alle nichtmechanischen Trennverfahren dabei unterschiedslos dem Abtragen zugeordnet werden. Die Einteilung erfasst auch nicht nur gestaltändernde Verfahren, sondern bezieht auch Verfahren des Eigenschaftsänderns (Reinigen, Evakuieren) ein.

Aus der Sicht der allgemeinen Technologie erscheint es deshalb zweckmäßig, entsprechend dem gegenwärtigen technologischen Entwicklungsstand folgende Verfahrensgruppen zu unterscheiden:

- *Zerteilen* ist mechanisches Trennen fester und breiiger Werkstoffe oder Materialien unabhängig von der Form und ohne Entstehen eines formlosen Stoffes. Das Zerteilen des Stoffes kann durch zwei sich gegeneinander bewegende Schneiden (Scherschneiden), durch eine Schneide (Keilschneiden), durch Reißen oder Brechen bewirkt werden.
- Die Verfahrensgruppe *Spanen* ist mechanisches Trennen fester Werkstoffe unter Abtrennung von Spänen zur Änderung ihrer Form. Spannende Verfahren nehmen gegenwärtig noch einen breiten Raum in der Werkstoffbearbeitung ein, sowohl in der Grob- als auch in der Feinbearbeitung. Die Grundwirkform der spanenden Werkzeuge ist der Keil. Die einzelnen Grundverfahren unterscheiden sich durch die typische Schneidenform des Werkzeugs (Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide bzw. mit geometrisch unbestimmter Schneide) und die Hauptbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück (Verfahren mit geradliniger Hauptbewegung und mit rotierender Hauptbewegung).
- *Zerlegen* ist mechanisches Trennen gefügter Werkstücke, die dabei in ihre Einzelteile ohne Werkstoffzerstörung ganz oder teilweise zerlegt werden. In diese Gruppe gehören Demontageverfahren wie Abschrauben, Auseinanderlegen und Abklemmen.
- *Elektrothermisches Abtragen* (Elektroerodieren) ist eine Verfahrensgruppe des Trennens, bei der die elektrische Energie unmittelbar die Veränderung am Arbeitsgegenstand bewirkt. Je nach der Art der elektrischen Wirkung unterscheidet man zwischen funkenerosivem Abtragen und lichtbogenerosivem Abtragen (Plasmastrahltrennen).
- *Strahlungsthermisches Abtragen* nutzt stark gebündelte hochenergetische Elektronenstrahlen (Elektronieren) oder Photonenstrahlen (Laserstrahl-Abtragen) zum örtlichen Schmelzen und Verdampfen des Werkstoffs an der Trennstelle.
- *Chemisches Trennen* wird auf der Basis dreier unterschiedlicher Prinzipien realisiert: Beim thermochemischen Trennen wird der Werkstoff durch eine Gasflamme bis zur Schmelztemperatur erhitzt, durch einen auf die Trennstelle gerichteten Sauerstoffstrahl verbrannt und damit getrennt (Brennschneiden). Elektrochemisches Abtragen (Elysieren) beruht auf dem örtlichen Abtragen von leitenden und halbleitenden Werkstoffen durch Elektrolyse. Arbeitsorgan und Werkstoff werden als Elektroden geschaltet und in eine Elektrolytlösung gebracht. Bei Stromfluss wird der Werkstoff abgetragen. Chemisches Abtragen (Ätzen) geschieht durch Ätzflüssigkeiten (Säuren, Laugen, Salzlösungen). Der Werkstoff wird teilweise mit einer Schutzschicht überzogen. Die freibleibenden Stellen werden beim Eintauchen in die Ätzflüssigkeit abgetragen.

Eine Übersicht über ausgewählte Grundverfahren des Trennens gibt Abb.7.15.

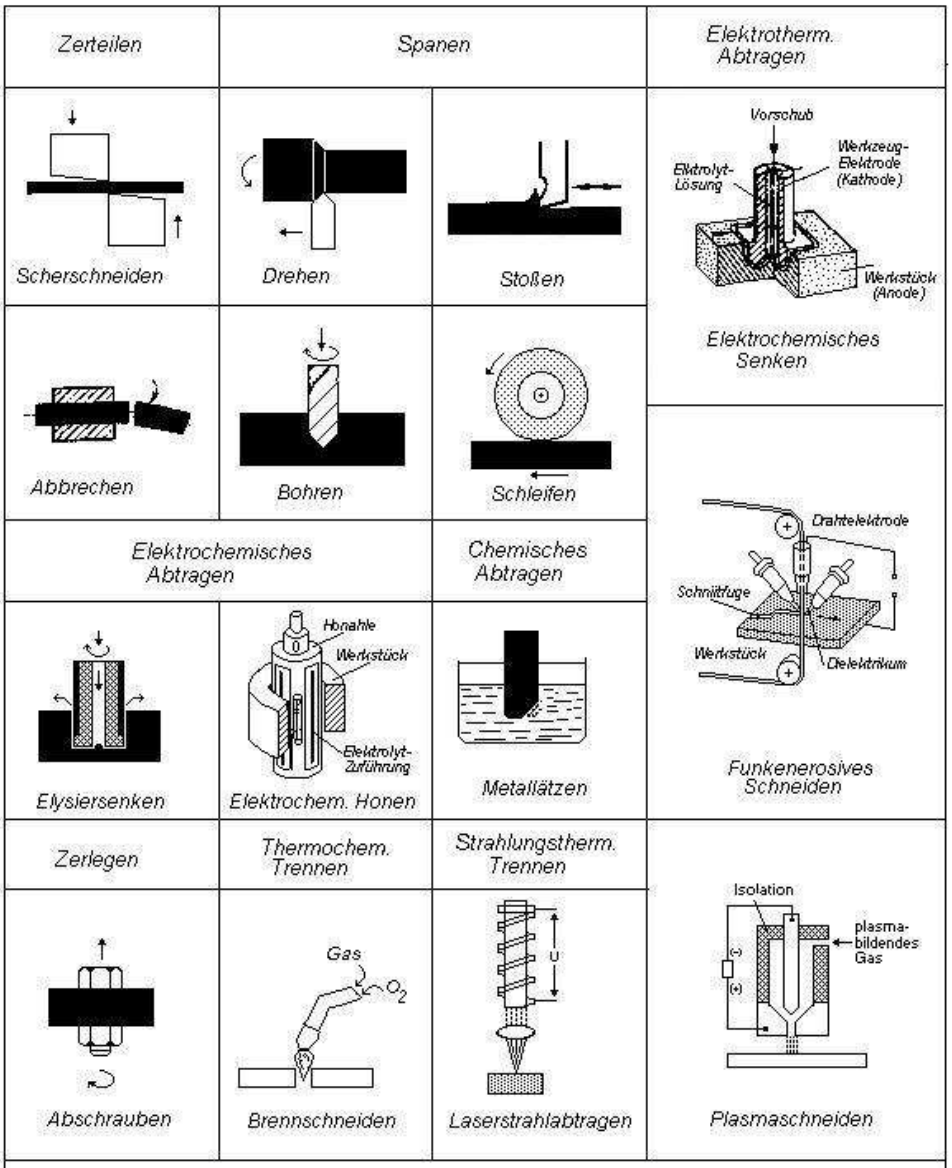


Abb. 7.15. Grundverfahren des Trennens

7.9.5. Der Verfahrenstyp Zerkleinern

Das Zerkleinern ist ein gestaltändernder Verfahrenstyp der Stoffformung, bei dem der stoffliche Zusammenhalt des Arbeitsgegenstandes durch äußere Krafteinwirkung weitgehend aufgehoben wird. Im Gegensatz zum Trennen erfolgt die Aufhebung der Stoffbindungen nicht nur örtlich, sondern am Arbeitsgegenstand insgesamt.

Die Grundverfahren dieses Typs dienen vor allem der Rohstoffaufbereitung und werden vorwiegend in der chemischen Industrie, in der Baumaterialienindustrie und im Bergbau angewandt. Innerhalb der Fertigungstechnologie werden sie nicht erfasst, sie gehören zur Verfahrenstechnologie. Arbeitsgegenstände der Zerkleinerungsverfahren sind ausschließlich Feststoffe. Die Wirkenergie ist mechanische Energie, die als Druck-, Schlag- und Prallenergie oder über Scher-, Knick- und Reibekräfte auf den Arbeitsgegenstand einwirkt. Meist wirken in den verschiedenen Zerkleinerungsverfahren mehrere dieser Kräfte gleichzeitig.

Die Art des Zerkleinerungsverfahrens wird durch Teilchengröße und die Eigenschaften (Härte, Sprödigkeit, Spaltbarkeit) des zu zerkleinernden Materials sowie den zu erreichenden Zerkleinerungsgrad bestimmt.

Die in der Literatur übliche Einteilung der Zerkleinerungsverfahren nach der Härte der zu zerkleinernden Feststoffe in Hart-, Mittelhart- und Weichzerkleinern oder nach dem zu erreichenden Zerkleinerungsgrad in Brechen, Schroten und Mahlen bietet nicht die Möglichkeit, den einzelnen Verfahrensgruppen ein einheitliches Wirkprinzip zuzuordnen. Für die allgemeine Technologie scheint deshalb eine Systematik zweckmäßi-

ger, die von der Art der Energieübertragung zur Aufhebung des Stoffzusammenhalts ausgeht. Danach lassen sich als Verfahrensgruppen unterscheiden:

- Festkörpermechanisches Zerkleinern
- Hydromechanisches Zerkleinern
- Pneumatomechanisches Zerkleinern

Bei den festkörpermechanischen Verfahren werden die Ausgangsstoffe durch keil-, stempel-, walzen- oder flächenförmige Arbeitsorgane zerkleinert. Den hydromechanischen Verfahren ist gemeinsam, dass die Stoffbindungen durch einen unter hohem Druck stehenden Flüssigkeitsstrahl (bis 4000 bar) als Wirkmedium aufgehoben werden. In pneumatomechanischen Verfahren üben expandierende Gase diese Funktion aus.

Eine Übersicht ausgewählter Zerkleinerungsverfahren gibt Abb.7.16.

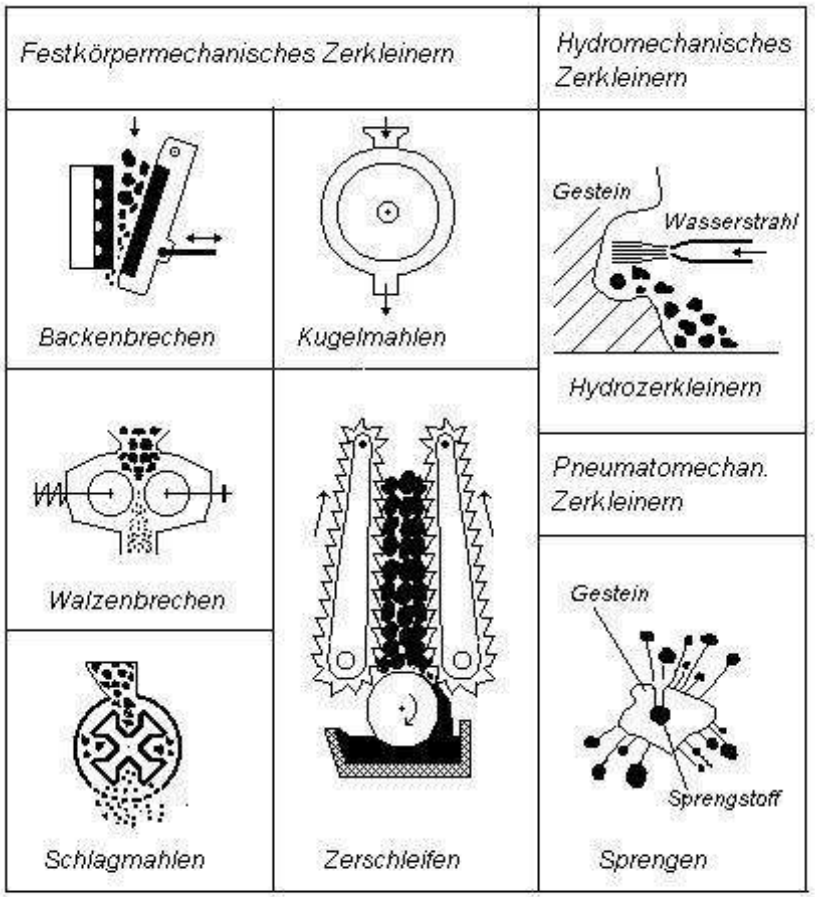


Abb. 7.16. Grundverfahren des Zerkleinerns

7.9.6. Die stoffeigenschaftsändernden Verfahrenstypen der Stoffformung

Die bisher dargestellten Verfahrenstypen der Stoffformung dienten dem Ziel, den Arbeitsgegenstand in eine bestimmte geometrische Gestalt zu bringen. Soweit sie von einer Änderung der Stoffeigenschaften begleitet waren, handelte es sich um sekundäre Erscheinungen, die nicht in der Absicht des Bearbeitungsverfahrens lagen, wenngleich sie technologisch durchaus bedeutsam sein können (z.B. Gefügeverfestigung beim Walzen).

Neben den gestaltändernden Stoffformungsverfahren finden wir in der Werkstoffbearbeitung eine Vielzahl von technologischen Grundverfahren, deren Ziel die Stoffeigenschaftsänderung des Arbeitsgegenstandes ist. Diese Änderungen werden durch Schaffen, Vergrößern, Umlagern, Vermindern und Aufheben des Stoffzusammenhalts, also durch stoffformende Bearbeitung, erreicht. Gegenüber den Stoffwandlungsprozessen, bei denen die Stoffeigenschaften ebenfalls geändert werden, sind sie nicht mit einer durchgreifenden Veränderung der chemischen Struktur des Werkstoffs verbunden.

Wie bei den gestaltändernden Verfahrenstypen lassen sich auch fünf eigenschafts-ändernde Verfahrenstypen unterscheiden:

- Urformendes Eigenschaftsändern
- Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen
- Umlagern von Stoffteilchen
- Aussondern von Stoffteilchen
- Zerkleinerndes Stoffeigenschaftsändern.

Das *urformende Stoffeigenschaftsändern* wird dadurch charakterisiert, dass aus formlosem Stoff mittels urformender Bearbeitungsvorgänge bestimmte Werkstoffeigenschaften hervorgebracht werden. Dass der Werkstoff dabei auch eine Gestalt erhält, ist ein sekundäres Merkmal und für das Verfahren nicht wesensbestimmend.

Verfahren dieses Typs sind bisher wenig verbreitet. Ein typisches Grundverfahren dieser Gruppe ist das Erschmelzen von Einkristallen aus verschiedenen chemischen Elementen und Verbindungen wie Silizium, Germanium, Kohlenstoff, Aluminiumoxid u. a., die wichtige Materialien für die Halbleiter- und Lasertechnik sind. Aus pulverförmigem Einsatzmaterial wird unter Schaffung des Stoffzusammenhalts eine erste Form des Werkstoffs erzeugt. Die entstehende geometrische Form ist aber nicht das eigentliche Ziel der Bearbeitung, sondern die neuen (elektrischen, optischen u. a.) Eigenschaften des erzeugten Kristalls. Das Ausgangsmaterial erfährt dabei keine gravierende chemische Veränderung.

Der Verfahrenstyp *Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen* weist eine Vielzahl von verbreitet in verschiedenen Produktionszweigen angewandten Grundverfahren auf. Sie verfolgen zum einen das Ziel, solche Werkstoffeigenschaften zu erzeugen, wie sie für die weitere Verarbeitung gefordert werden, zum anderen bezwecken sie eine Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Produkten.

Die Vielfalt der Verfahren ergibt sich insbesondere aus der Vielfalt der zur Zweckrealisierung angewandten Wirkprinzipien. So finden wir Verfahren zur Oberflächenbeschichtung fester Werkstoffe mit metallischen und nichtmetallischen Überzügen zur Herstellung funktionsbedingter Oberflächeneigenschaften, zum Korrosionsschutz und zur Schaffung eines dekorativen Aussehens. Die Eigenschaftsänderung kann auch dadurch erreicht werden, dass Stoffteilchen dotiert in oberflächennahe Schichten fester Werkstoffe eingebracht werden. Zu diesem Verfahrenstyp gehören auch Verfahren durch die Stoffteilchen aller Phasenzustände in Flüssigkeiten und Gase zu ihrer Eigenschaftsänderung eingebracht werden.

Eine Aufgliederung des Verfahrenstyps in Gruppen geht zweckmäßigerweise vom Aggregatzustand der Stoffe aus , in die die Stoffteilchen einzubringen sind und fasst das Aufbringen von Stoffteilchen, das naturgemäß ausschließlich auf Festkörper angewandt wird, in einer besonderen Gruppe zusammen (Tabelle 7.3.)

Verfahrensgruppen	Beispiele für Grundverfahren
Aufbringen von Stoffteilchen	Anstreichen, Aufsprühen, Wirbelsintern, Plattieren, Emaillieren, Feuerverzinken, Vakuumaufdampfen, elektrophoretisches Abscheiden, kathodisches Abscheiden (Verchromen, Vernickeln), anodische Oxydation, Explosionsbeschichten
Einbringen von Stoffteilchen in Feststoffe	Mischen, Kneten,Tränken, Nitrieren, Phosphatieren, Aufkohlen, Chromieren, Silizieren, Kadmieren
Einbringen von Teilchen in Flüssigkeiten	Lösen, Legieren, Emulgieren
Einbringen von Teilchen in Gase	Versprühen, Vernebeln, Verstäuben

Tabelle 7.3. Verfahrenstyp Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen

Das *Umlagern von Stoffteilchen* bezweckt unter Beibehaltung der geometrischen Form des Werkstoffs und ohne Eingriff in den Stoffzusammenhalt eine Veränderung der Eigenschaften. Durch äußere Energieeinwirkung wird dabei das Werkstoffgefüge verändert, was sich in geänderten Werkstoffeigenschaften äußert.

Entsprechend den angewandten Wirkenergien lassen sich fünf Verfahrensgruppen unterscheiden (Tabelle 7.4.).

Verfahrensgruppen	Beispiele für Grundverfahren
Mechanisches Umlagern	Hämmern, Festwalzen
Thermisches Umlagern	Anlassen, Härten, Glühen, Abschrecken
Chemisches Umlagern	Altern, Vulkanisieren
Strahlungsumlagern	Strahlungshärten
Elektrisches (Magnetisches) Umlagern	Magnetisieren

Tabelle 7.4. Verfahrenstyp Umlagern von Stoffteilchen

Der Verfahrenstyp *Aussondern von Stoffteilchen* weist die breiteste Palette von Grundverfahren unter den eigenschaftsändernden Bearbeitungsvorgängen auf. Sie dienen der Trennung von Stoffgemischen, wobei die einzelnen Komponenten in sehr unterschiedlicher Konzentration vorliegen können. In diese Gruppe gehören auch Verfahren zur Abtrennung unerwünschter Stoffe von der Oberfläche fester Arbeitsgegenstände. Die Arbeitsgegenstände können in allen drei Phasenzuständen und ihren Kombinationen in Stoffgemischen vorliegen. Als Operationsenergie werden praktisch alle Energiearten angewandt.

Die genutzten Energien ergeben auch das zweckmäßige Kriterium für die Gruppeneinteilung dieses Verfahrenstyps (Tabelle 7.5.).

Verfahrensgruppen	Beispiele für Grundverfahren
Mechanisches Aussondern	Scheuern, Kratzen, Bürsten, Klopfen, Sandstrahlen
Siebtrennen	Sieben, Filtieren, Dialysieren, Diffundieren
Absetzen	Sichten, Sedimentieren, Dekantieren Zentrifugieren, Zyklonieren, Flotieren
Thermisches Aussondern	Abdampfen, Destillieren, Rektifizieren, Kristallisieren, Flotieren
Magnetisches Aussondern	Magnetscheiden
Chemisches Aussondern	Ausfällen, Windfrischen, Abbeizen
Aussondern durch Lösen	Lösen, Waschen, Extrahieren

Tabelle 7.5. Verfahrenstyp Aussondern von Stoffteilchen

Verfahren des *zerkleinernden Stoffeigenschaftsänderns* bewirken durch Aufheben des Stoffzusammenhalts eine Eigenschaftsänderung des Werkstoffs. Sie haben in den letzten Jahren insbesondere im Zusammenhang mit der Entwicklung der Mechanochemie eine zunehmende Bedeutung gewonnen (vgl. Kapitel 8.10.5.).

Durch intensive mechanische Einwirkung beim Zerkleinern von Roh- und Werkstoffen wird nicht nur deren geometrische Form weitgehend aufgehoben, sondern es werden auch ihre Eigenschaften charakteristisch verändert. Insbesondere lässt sich die chemische Reaktionsfähigkeit wesentlich erhöhen. Durch Mahlen von Zement in Schwingmühlen kann man die Druckfestigkeit des Betons stark erhöhen. Ebenso lassen sich die mechanischen und die thermochemischen Eigenschaften des Polyethylens durch zerkleinernde Bearbeitung während des Polymerisationsprozesses gravierend verbessern.

Literatur

7.1. D. Hammerschmidt: Zur Theorie technologischer Vorgänge der Stoffformung, Diss.B, Martin-Luther-Univ., Halle(Saale) l990
7.2. F. Blume: Einführung in die Fertigungstechnik, Berlin 1975
7.3. Autorenkollektiv: Fachkunde der Plastverarbeitung, Technologische Grundverfahren, Teil I und II, Leipzig 1983
7.4. W. Engelhard: Systematik der bildsamen Formung von Metallen, Fertigungstechnik, Hefte 8 und 9/1958, Berlin
7.5. I.M. Pawlow: Grundlagen der Metallverformung durch Druck
7.6. DIN 8580: Begriffe der Fertigungsverfahren, Herausg. vom Deutschen Institut für Normung (DIN), Berlin 1963
7.7. -DDR-Standard TGL 21 639 Fertigungsverfahren, Berlin 1965
7.8. - DDR-Standard TGL 25000 Verfahrenstechnik, Entwurf 1970
7.9. F. Bredendick: Zur Gesamteinteilung der Fertigungsverfahren, Wiss.Zeitschr. der TH Dresden 1959/60. Nr.4
7.10. M. Quarg / W. Gabschiel /W.Hübner/R.Timler: Nomenklatur der Grundoperationen der Chemieindustrie, Chemische Technik, Berlin 3/1963, Sonderbeilage
7.11. M. Perwitzschky: Zur Struktur technischer Systeme zum Urformen, Diss.A, Martin-Luther-Univ., Halle(Saale) 1973, Band I, Berlin 1956
7.12. O. Kienzle: Die Grundpfeiler der Fertigungstechnik, Werkstattstechnik und Maschinenbau, Berlin, Heft 5/1956
7.13. W.R. Vauck / H.A. Müller: Grundoperationen der Verfahrenstechnik, Leipzig 1962
7.14. Autorenkollektiv: Verarbeitungstechnik, Leipzig 1978
7.15. Autorenkollektiv: Fertigungstechnik in der lederverarbeitenden Industrie, Leipzig 1980
7.16. H. Eigler / W. Beyer: Einführung in die Technologie der Elektrotechnik - Elektronik, Berlin 1981
7.17. G. Gruhn / W. Fratzscher / K. Krug: Einführung in die Verfahrenstechnik, Leipzig 1979

8. Stoffwandlungsprozesse

8.1. Allgemeine Charakteristik der Stoffwandlungsprozesse

Stoffwandlungsprozesse sind eine Klasse technologischer Vorgänge, die sich dadurch auszeichnen, dass sie die Struktur stofflicher Arbeitsgegenstände verändern. Diese Strukturänderung drückt sich in einer durchgreifenden Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Arbeitsgegenstände aus.

Ein charakteristisches Beispiel für einen Stoffwandlungsprozess ist die Erzeugung von Roheisen aus Eisenerz im Hochofenprozess. Unter entsprechenden, im Reaktionsraum des Hochofens künstlich geschaffenen Bedingungen werden die oxydischen Verbindungen des Eisens im Erz chemischen Reaktionen unterworfen und in Roheisen übergeführt Auch die nichteisenhaltigen Begleitstoffe des Erzes, die Bestandteile der Gangart, erfahren im Hochofenprozess eine chemische Umwandlung. Sie werden zu Schlacke, einem wichtigen Rohstoff für die Zementindustrie. Die Produkte des Hochofenprozesses unterscheiden sich von den eingesetzten Rohstoffen grundsätzlich in ihrer chemischen Zusammensetzung. Sie haben eine qualitativ andere chemische Identität.

Stoffwandlungsprozesse sind charakteristisch für alle Zweige der chemischen Produktion, für die auch häufig der Begriff der stoffwandelnden Industrien gebraucht wird. Charakteristisch sind sie in dem Sinne, dass die Hauptphase der Produktionsprozesse (vgl. Kapitel 10), in der der Arbeitsgegenstand seine im Hinblick auf das gewünschte Produkt entscheidende Veränderung erfährt, durch Stoffwandlungsprozesse bestimmt wird. Neben diesen stoffwandelnden Bearbeitungsvorgängen gibt es in jedem chemischen Produktionsprozess auch stoffformende Vorgänge wie Brechen, Granulieren, Mischen, Destillieren, Filtrieren u. a. Sie sind den Stoffwandlungsprozessen jeweils vor-, zwischen- oder nachgeschaltet und haben die Aufgabe, optimale Bedingungen für die Stoffwandlung zu schaffen oder Rohprodukte aufzuarbeiten.

Zu den stoffwandelnden Industrien gehören die chemische Industrie, die Metallurgie, die Baustoffindustrie, die keramische Industrie, die Glasindustrie und Teile der Nahrungsgüterindustrien (z.B. die Gärungsindustrien).

Der Einsatzbereich der Stoffwandlungsprozesse ist jedoch nicht auf die chemische Produktion beschränkt. In neuerer Zeit finden sie auch in schnell wachsendem Umfang in andere Produktionszweige Eingang und werden hier mit dem Ziel der Form- bzw. Eigenschaftsänderung von Arbeitsgegenständen eingesetzt. In der stoffformenden Produktion (z.B. im Maschinenbau, im elektronischen Gerätebau) haben Verfahren des chemischen Metallabtragens, des Galvanisierens, des Ätzens gedruckter Schaltungen u. a. in vielen Fällen traditionelle Stoffformungsverfahren ersetzt. Diese Entwicklungstendenz, Stoffwandlungsprozesse universell auch im Bereich der stoffformenden Industrien, der Bauwirtschaft, der Agrarproduktion und anderen Wirtschaftszweigen technologisch zu nutzen, ist ein Kennzeichen der fortschreitenden Chemisierung der Produktion.

8.2. Chemisierung der Produktion

Die Chemisierung ist - ähnlich wie die Mechanisierung und Automatisierung - eine der Hauptrichtungen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts. Sie wird im Wesentlichen durch zwei Merkmale charakterisiert:

- durch die immer breitere *Einführung stoffwandelnder Bearbeitungsvorgänge* in alle Wirtschaftszweige,
- durch das *Eindringen einer immer größeren Zahl und Menge von Chemieprodukten* in alle Bereiche des Wirtschaftslebens.

Die Grundlage dafür bilden einerseits die rasche Entwicklung der chemischen Wissenschaft und die unmittelbare Nutzung ihrer Ergebnisse in der Produktion sowie der wachsende Bedarf an Chemieprodukten andererseits. Chemische Wirkprinzipien erschließen neue Möglichkeiten der Stoffbearbeitung, und die umfassende produktive Nutzung von Chemieerzeugnissen ermöglicht die Erweiterung der Werkstoffbasis, produktivere Bearbeitungstechnologien, höhere Produktqualität und neue konstruktive Lösungen.

Die schnelle Chemisierung der Volkswirtschaft hat ihre entscheidende Ursache vor allem darin, dass Stoffwandlungsprozesse in vielen Fällen sehr rationelle Verfahren zur Rohstoff- und Werkstoffbearbeitung dar-

stellen und sich durch eine hohe Produktivität auszeichnen. Wichtige Aspekte dieser hohen Produktivität des Einsatzes stoffwandelnder Prozesse und chemischer Produkte sind:

- Stoffwandlungsprozesse erfordern im Allgemeinen einen geringeren Aufwand an lebendiger Arbeit als andere Bearbeitungsvorgänge. Das gleiche gilt für die Anwendung chemischer Produkte.
- Stoffwandlungsprozesse ermöglichen eine vollständigere Nutzung der Rohstoffe und die Rückführung von Abfallprodukten als Sekundärrohstoffe in den Produktionskreislauf.
- Chemieprodukte besitzen einen hohen Veredlungsgrad. Mittels der Stoffwandlungsprozesse können aus billigen Rohstoffen hochwertige Veredlungsprodukte geschaffen werden.
- Stoffwandlungsprozesse können den Produktionszyklus wesentlich verkürzen, weil sie im Allgemeinen mit hoher Geschwindigkeit verlaufen und ihr Einsatz oft mit dem Wegfall ganzer Produktionsstufen verbunden ist.

Die Chemisierung der Volkswirtschaft ist ein technisch-ökonomischer Prozess der alle Wirtschaftsbereiche tangiert. Suchen wir nach Gründen für die hohe Produktivität stoffwandelnder Bearbeitungsvorgänge, so finden wir sie in dem grundlegenden Unterschied zwischen stoffformenden und stoffwandelnden Prozessen. In chemischen Produktionsprozessen lässt der Mensch keine Werkzeuge, wie Bohrer, Säge oder Meißel auf den Arbeitsgegenstand einwirken, sondern er lässt Naturvorgänge selbst wirken. Er sorgt mit technischen Mitteln für geeignete Reaktionsbedingungen und lenkt sie in die gewünschte Richtung.

Es darf allerdings nicht übersehen werden, dass mit der zunehmenden Chemisierung der Produktion auch eine Reihe schwerwiegender Probleme - insbesondere eine zunehmende Umweltbelastung - verbunden ist. Sie sind zum einen eine Folge der bei Stoffwandlungsprozessen häufig zwangsweise anfallenden Nebenprodukte, der toxischen Belastung der Abwässer und der Emission gas- und staubförmiger Schadstoffe. Zum anderen wirkt sich der wachsende Einsatz bestimmter Klassen von Chemieprodukten (Stickstoffdünger, Herbizide, Fungizide, phosphathaltige Waschmittel, Antiklopfmittel, Fluorkohlenwasserstoffe u. ä.) außerordentlich schädigend auf die Umwelt aus. Wege zur Lösung dieser unerwünschten Wirkungen der Chemisierung sind die Weiterentwicklung chemischer Produktionsprozesse unter ökologischen Kriterien, die Ablösung umweltschädigender Stoffe durch andere, biologisch leicht abbaubare und die Entwicklung sowie der Einsatz von Stoffwandlungsprozessen für die Umweltsanierung.

8.3. Grundbegriffe

Die stofflichen Arbeitsgegenstände unterliegen bei Stoffwandlungsprozessen spezifischen Zustandsänderungen. Die charakteristische Form dieser Zustandsänderung ist die chemische Reaktion.

Die *chemische Reaktion* ist eine durch energetische Aktivierung ausgelöste Änderung der molekularen Struktur der Reaktionsteilnehmer durch Neuordnung der Atome. Im Verlauf der Reaktion ändert sich die Gesamtenergie des Systems.

Der *Stoffwandlungsprozess* als technologischer Vorgang ist die zur Erzeugung bestimmter Stoffe von Menschen genutzte und gelenkte chemische Reaktion. Stoffwandlungsprozesse werden in *Reaktionsapparaten* (Reaktoren, Stoffumsetzern) durchgeführt.

Die Gesamtheit der in einem chemischen Reaktionssystem auftretenden Stoffe bezeichnen wir als *Reaktionsmasse* (Tabelle 8.1.). Diese besteht aus verschiedenen Komponenten. Die unmittelbar an der Reaktion beteiligten Stoffe heißen *Reaktionsteilnehmer*. Dabei können wir zwischen *Ausgangsstoffen* (Stoffe, die vor der Reaktion vorliegen), *Zwischenprodukten* und *Reaktionsprodukten* (Stoffe, die im Verlauf der Umsetzung entstehen) unterscheiden.

Hilfsstoffe sind Komponenten der Reaktionsmasse, die für den Ablauf einer Reaktion notwendig sind oder den Ablauf einer Reaktion wesentlich beeinflussen, ohne jedoch in das Reaktionsprodukt einzugehen (Lösungsmittel, Flussmittel, Katalysatoren).

Reaktionsmasse	Reaktionsteilnehmer	Ausgangsstoffe Reaktionspartner
		Reaktionsprodukte
	Hilfsstoffe	Lösungsmittel
		Flußmittel
		Katalysatoren
	Inertstoffe	Nicht an der Reaktion beteiligte Begleitstoffe

Tabelle 8.1. Zusammensetzung der Reaktionsmasse

Schließlich treten *Inertstoffe* in der Reaktionsmasse auf, die in keiner Weise an der Reaktion beteiligt sind.

Nach der Art der an der Reaktion beteiligten Phasen unterscheidet man *homogene* (alle Reaktionsteilnehmer liegen in der gleichen Phase vor) und *heterogene* (die Reaktionsteilnehmer befinden sich in verschiedenen Phasen) *Reaktionen.*

Nach dem Verlauf des Stoffwandlungsprozesses gliedert man in:

- *vollständig verlaufende Reaktionen*, wenn der in der geringsten Menge vorhandene Ausgangsstoff vollständig in das Reaktionsprodukt übergeführt wird,
- *unvollständig verlaufende Reaktionen*, wenn sich im Verlaufe der chemischen Reaktion ein chemisches Gleichgewicht einstellt und alle Reaktionsteilnehmer in der Reaktionsmasse vorhanden bleiben.

Die in einen Reaktor in der Zeiteinheit eingesetzte bzw. austretende Stoffmenge wird als *Durchsatz* bezeichnet. Sie wird in Tonnen pro Tag, Kubikmeter pro Stunde usw. angegeben. Unter *Umsatz* verstehen wir den Bruchteil der im Reaktor zu Reaktionsprodukten umgesetzten Ausgangsstoffe. Die *Ausbeute* bezeichnet das Verhältnis der Menge des Reaktionsprodukts zur Menge der eingesetzten Ausgangsstoffe. Es wird zwischen theoretischer und technischer Ausbeute unterschieden. Die *Leistung eines Reaktors* ist das Produkt aus Durchsatz und Ausbeute.

8.4. Spezifische Merkmale der Stoffwandlungsprozesse

Über die eingangs gegebene allgemeine Charakteristik hinaus weisen Stoffwandlungsprozesse eine Reihe spezifischer Merkmale auf, die ihr Wesen im Einzelnen bestimmen. Das auffälligste Charakteristikum gegenüber den stoffformenden Bearbeitungsvorgängen besteht darin, dass die Arbeitsgegenstände, die Rohstoffe, nicht durch die unmittelbare Einwirkung eines Arbeitsorgans oder eines Wirkmediums verändert werden, sondern dass die *Arbeitsgegenstände selbst in Wechselwirkung treten* und im Verlaufe dieser Wechselwirkung (der chemischen Reaktion) stofflich umgewandelt werden. In Stoffwandlungsprozessen erfolgt die Veränderung durch die Einwirkung der Arbeitsgegenstände aufeinander.

Der *Reaktionsapparat* als technisches System, in dem der Prozess abläuft, erfüllt dabei die Funktion, Bedingungen zu gewährleisten, unter denen der Stoffwandlungsprozess optimal in der vom Menschen gewollten Weise ablaufen kann.

Bei der Herstellung von Superphosphat wird z.B. Rohphosphat mit Schwefelsäure zur Reaktion gebracht, in deren Verlauf das gewünschte Produkt entsteht. Der Aufschlusskeller (so wird der aus Eisenbeton und säurefestem Mauerwerk bestehende wannenförmige Reaktor genannt) nimmt lediglich die Rohstoffe auf und sichert die zur Reaktion notwendigen Bedingungen.

Bei Stoffwandlungsprozessen wirkt immer ein ganzes System von Stoffen zusammen. Daraus ergibt sich in vielen Fällen der Zwangsanfall von (zum Teil unerwünschten) Nebenprodukten und das Problem ihrer Verwertung. Aufgabe der Technologie ist es, eine solche Prozessführung zu ermöglichen, bei der möglichst alle anfallenden Produkte wirtschaftlich verwertbar sind.

Eine zweite Möglichkeit zur Herbeiführung von Stoffwandlungsprozessen besteht darin, dass die *Umwandlung der Rohstoffe durch unmittelbare Energieeinwirkung* (Wärme, Elektroenergie) erzwungen wird. Das ist vor allem dann der Fall, wenn nicht mehrere verschiedene Ausgangsstoffe in den Prozess eingehen, sondern *ein* Stoff chemisch zerlegt wird und die entstehenden Komponenten die gewünschten Produkte darstellen.

Ein Beispiel für diesen Typ der Stoffwandlungsprozesse ist die elektrolytische Zerlegung von geschmolzenem Aluminiumoxid zur Gewinnung von Aluminium. Unter Vernachlässigung der komplizierten Entladungsvorgänge in der Schmelze lässt sich feststellen, dass im Prinzip die in der Schmelze befindlichen Aluminium- und Sauerstoffionen an den Elektroden durch Aufnahme bzw. Abgabe von Elektronen, d.h. durch die zugeführte Operationsenergie, entladen und damit chemisch in Aluminium und Sauerstoff umgewandelt werden.

Aber auch durch Wärme- oder Strahlungsenergie können Stoffwandlungsprozesse bewirkt werden. Die Herstellung von Branntkalk beruht auf der thermischen Aufspaltung des Kalziumkarbonats. Die dafür notwendige Operationsenergie wird durch die Verbrennung von Koks freigesetzt, der dem Kalkstein beigemischt wird. Der Koks geht in diesem Fall nicht in die chemische Reaktion mit dem Kalkstein ein, sondern erfüllt lediglich die Funktion des Energielieferanten.

Ein zweites Spezifikum betrifft die technischen Systeme, mit denen Stoffwandlungsprozesse durchgeführt werden, die *Reaktoren* (Reaktionsapparate, Stoffumsetzer). Sie entsprechen den Werkzeugmaschinen bei Stoffformungsverfahren. Während jedoch bei diesen das jeweilige Werkzeug (Fräser, Drehmeißel, Pressenstempel) das Arbeitsorgan bildet, ist es bei den Reaktoren der *Reaktionsraum*. Er nimmt die Reaktionsmasse auf, sichert ausreichende Durchmischung und Verweilzeit der Reaktionsmasse im Reaktor sowie die energetischen Bedingungen für einen optimalen Prozessablauf.

Es muss zwischen Reaktionsraum und Reaktionsort unterschieden werden (Abb.8.1.). Nur bei einem Teil der Stoffwandlungsprozesse erfolgt die Umsetzung im gesamten Volumen des Reaktionsraumes (z.B. bei der alkoholischen Gärung in den Gärbottichen der Bierbereitung oder bei der Vinylchlorid-Polymerisation in Rührkesseln). Wir sprechen dann von einer *Raumreaktion*. In Reaktionstürmen und -rohren herrschen dagegen *Schichtreaktionen* vor. Hier erfolgt die Reaktion in bestimmten Schichten des Reaktors. Wirbelschichtreaktoren zur Kohlevergasung oder zur Erzröstung sind typische Beispiele dafür. Im Hochofen zur Roheisengewinnung finden wir ähnliche Verhältnisse vor. Allerdings finden hier zahlreiche unterschiedliche Reaktionen gleichzeitig in verschiedenen Schichten statt. Danach kann man mehrere Reaktionsorte in den einzelnen Schichten unterscheiden (z.B. Kohlungszone, Reduktionszone u. a.). Im Extremfall schrumpft der Reaktionsort auf eine sehr schmale Zone zusammen (*Zonenreaktion*). Im Reaktor für die Chlorwasserstoffsynthese aus den Elementen erfolgt die Reaktion nur unmittelbar an der in den Reaktionsraum hineinragenden Verbrennungsdüse.

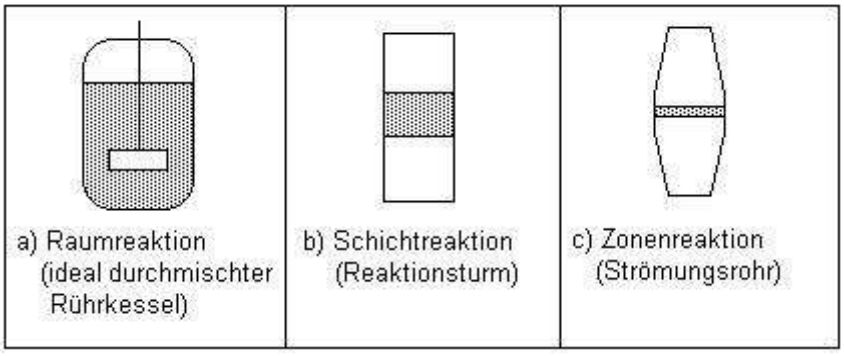


Abb. 8.1. Reaktionsraum und Reaktionsort

In den Reaktionsräumen finden wir oft technische Einrichtungen zur Durchmischung der Reaktionspartner (Rührwerke, Füllkörper), zur Führung des Stoffstromes (Etagenböden, Einsatzrohre), zur Energiezu- und -ableitung (Heiz- und Kühlschlangen) und weitere apparative Einbauten vor, die der Reaktionsführung dienen. Sie entsprechen den Positionierungs- und Übertragungsorganen in Stoffformungssystemen.

Die auf den ersten Blick wenig überschaubare Vielfalt der Reaktoren lässt sich im Prinzip auf zwei Grundformen zurückführen: auf das Rohr und auf die Schale. Weitere Einteilungskriterien leiten sich von den zu realisierenden Reaktionsbedingungen ab, wobei die Art der Operationsenergie und das Temperatur- und

Druckregime wesentliche Ordnungsgesichtspunkte sind. Die Gesamtheit der Reaktoren teilt man in fünf Reaktortypen:

- Thermochemische Reaktoren (Reaktionsgefäße und -öfen)
- Elektrochemische Reaktoren (Elektrolysezellen)
- Biochemische Reaktoren (Fermenter)
- Strahlungschemische Reaktoren
- Mechanochemische Reaktoren

Eine dritte Besonderheit der Stoffwandlungsprozesse ist, dass sie immer mit einem *Energieumsatz* verbunden sind. Sie äußert sich in einer positiven oder negativen Wärmetönung des Prozessablaufes. Wird bei einem Prozess Wärme frei, spricht man von einer exothermen Reaktion. Wird zugeführte Operationsenergie während der Reaktion im Reaktionsprodukt gebunden, handelt es sich um eine endotherme Reaktion. Zur Aufrechterhaltung optimaler Prozesstemperaturen sind deshalb in den Reaktoren oder gekoppelt mit ihnen entsprechende Einrichtungen zum intensiven Wärmeaustausch erforderlich.

Charakteristisch für Stoffwandlungsprozesse ist weiterhin das Vorhandensein einer *Aktivierungsschwelle* (Abb.8.2.). Jede Reaktion muss durch die Zufuhr von Aktivierungsenergie "angestoßen" werden. Durch diesen Mehrbetrag an Energie werden die Moleküle der Reaktionspartner aktiviert und in einen reaktionsfähigen Zustand versetzt. Ist die Reaktion in Gang gekommen, verläuft sie entsprechend ihren thermodynamischen Bedingungen. Die Aktivierung weiterer Moleküle erfolgt bei exothermen Reaktionen durch die freiwerdende Prozessenergie, bei endothermen Vorgängen durch die weitere Zufuhr von Operationsenergie.

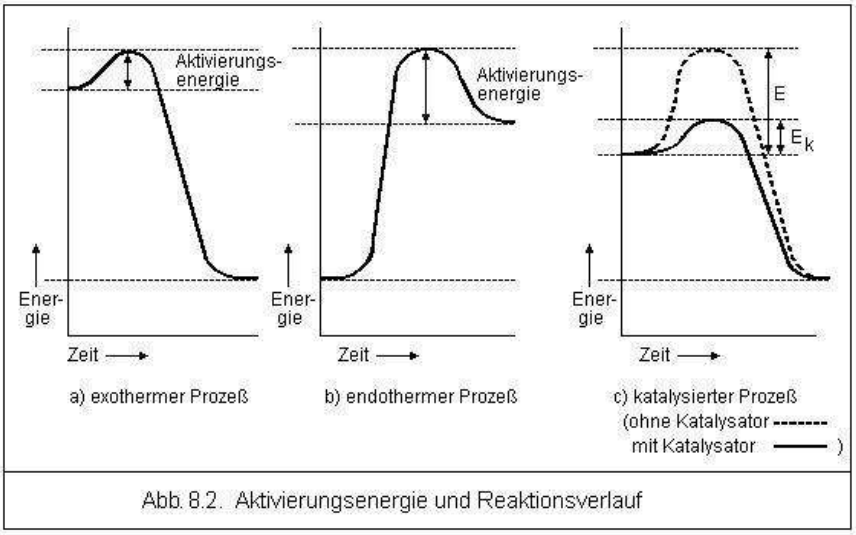


Abb. 8.2. Aktivierungsenergie und Reaktionsverlauf

In den meisten Fällen wird die Aktivierungsenergie als Wärmeenergie zugeführt. Die Aktivierung kann aber auch durch Strahlungsenergie, mechanische Energie (Schlag, Druck, Reibung) oder elektrische Energie erfolgen. Die Größe der Aktivierungsenergie ist für jede Reaktion spezifisch.

Von eminenter Bedeutung für die Prozessgestaltung und die Wirtschaftlichkeit stoffwandelnder Verfahren ist die Tatsache, dass sie *stöchiometrisch* verlaufen, d.h. dass für einen optimalen Prozessverlauf bestimmte Mengenverhältnisse der einzelnen Komponenten in engen Grenzen eingehalten werden müssen. Das bedingt in allen Verfahrensstufen entsprechende Dosierungseinrichtungen.

Ein wesentliches Merkmal der Stoffwandlungsprozesse ist die in weiten Grenzen beeinflussbare *Reaktionsgeschwindigkeit*. Sie ist für die technische Durchführung des Stoffwandlungsprozesses von entscheidender Bedeutung, weil seine Wirtschaftlichkeit durch sie wesentlich bestimmt wird. Die Moleküle der Stoffe, die umgewandelt werden sollen, müssen bei der Reaktion zusammenstoßen. Die Zusammenstöße führen aber nur zur Reaktion, wenn die Bewegungsenergie der Moleküle groß genug ist, um die Aktivierungsschwelle zu überwinden. Mit steigender Temperatur erhöht sich die Bewegungsgeschwindigkeit der Moleküle und damit die Zahl der Zusammenstöße sowie die Wahrscheinlichkeit der Reaktion. Als Faustregel gilt, dass sich bei einer Temperaturerhöhung um 10 K die Reaktionsgeschwindigkeit verdoppelt bis verdreifacht.

Von Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit ist weiterhin die *Konzentration* der zur Reaktion kommenden Stoffe. Das ist leicht einzusehen, denn je mehr Teilchen sich in einer Volumeneinheit befinden, umso

höher ist die Wahrscheinlichkeit ihres Zusammentreffens. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist deshalb der Konzentration der an der Reaktion beteiligten Stoffe direkt proportional.

Schließlich kann die Reaktionsgeschwindigkeit durch die Herabsetzung der Aktivierungsenergie positiv beeinflusst werden. Das geschieht durch den *Einsatz von Katalysatoren.* Die Katalysatoren liegen nach der Reaktion praktisch unverändert vor.

Stoffwandlungsprozesse verlaufen nicht immer vollständig nach dem Schema

$$A + B \rightarrow C + D.$$

In vielen Fällen tritt auch gleichzeitig die Umkehrung der Reaktion durch den Zerfall der Reaktionsprodukte ein

$$A + B \Longleftrightarrow C + D.$$

Wenn die Bildungsgeschwindigkeit von C und D gleich der Zerfallsgeschwindigkeit von C und D wird, stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein. Die Reaktion kommt zu einem scheinbaren Stillstand. Das Mengenverhältnis der einzelnen Stoffe innerhalb des chemischen Systems bleibt konstant. Der erreichte Gleichgewichtszustand wird für eine bestimmte Temperatur durch eine Konstante, die Gleichgewichtskonstante K, charakterisiert.

Im *Massenwirkungsgesetz* haben wir einen mathematischen Ausdruck für die Konzentration der Reaktionsteilnehmer im Gleichgewichtszustand:

$$K = \frac{[C] * [D]}{[A] * [B]}$$

Die Lage des chemischen Gleichgewichts lässt sich durch die Reaktionsbedingungen wesentlich beeinflussen. Im Einzelnen gilt:

- die Erhöhung der Konzentration eines Ausgangsstoffes verbessert die Ausbeute an Reaktionsprodukten,
- wird ein Produkt laufend aus dem Reaktionsraum abgeführt, so wird das Gleichgewicht durch vermehrte Umsetzung der Ausgangsstoffe wieder eingestellt und damit die Ausbeute an Reaktionsprodukten erhöht,
- Temperaturerhöhung begünstigt endotherme Reaktionen und beeinflusst exotherme Prozesse ungünstig,
- Gleichgewichtsreaktionen in der Gasphase, die unter Volumenverminderung verlaufen, können durch Druckerhöhung begünstigt werden.

Zu den spezifischen Merkmalen der Stoffwandlungsprozesse gehört, dass die *Reaktionsrichtung*, d.h. die Art der entstehenden Produkte, in vielen Fällen von den Reaktionsbedingungen abhängt. Aus einem Gemisch von Kohlenmonoxid und Wasserstoff können sehr unterschiedliche Produkte entstehen (Methan, Benzin, Paraffin, Methanol, Isoparaffine, aromatische Kohlenwasserstoffe, Naphthene u. a.). Die Ausgangsstoffe können also sehr verschiedenartige Reaktionen miteinander eingehen. Durch die Wahl eines bestimmten Katalysators, einer bestimmten Reaktionstemperatur oder eines bestimmten Druckes lässt sich die Reaktion so lenken, dass das gerade gewünschte Produkt entsteht (Tabelle 8.2.).

Mit dieser Besonderheit hängt eng zusammen, dass aus ein und denselben Ausgangsstoffen sehr unterschiedliche Reaktionsprodukte gewonnen werden können. Umgekehrt ist es auch möglich, aus unterschiedlichen Ausgangsstoffen gleichartige Produkte zu erhalten. So gibt es verschiedene großtechnische Verfahren zur Schwefelsäureherstellung, die als Ausgangsstoffe Elementarschwefel, sulfidische Erze, Sulfate oder Schwefelwasserstoff verwenden

Reaktionsmasse	Reaktionsbedingungen	Produkte
$CO + H_2$	200-280°C, Ni-Kat.	Methan
	375°C, ZnO / Cr_2O_3- Kat. 220 at	Ethylalkohol
	250°C, Co / ThO_2- Kat., 5 - 15 at	Höhere Kohlenwasserstoffe
	190°C, Fe - Kat.,	Alkohole (C_9- C_{20})
	115 - 140°C, Co - Kat., 20 at	Verzweigte Aldehyde

Tabelle 8.2. Möglichkeiten der Kohlenmonoxyd-Wasserstoff-Synthesen

8.5. Arbeitsgegenstände der Stoffwandlungsprozesse

Auf Grund der Universalität der Reaktionsmöglichkeiten lässt sich durch Stoffwandlungsprozesse aus einer verhältnismäßig geringen Zahl von Ausgangsstoffen eine fast unübersehbare Vielzahl von Chemieprodukten erzeugen. Das ermöglicht es, Rohstoffvorkommen universell zu nutzen. Die Struktur der stoffwandelnden Industrien eines Landes wird deshalb auch weitgehend von der gegebenen Rohstoffbasis mitbestimmt.

Ausgangsstoffe der stoffwandelnden Industrien können sowohl *Rohstoffe* der Bergbauindustrien, Produkte der Land- und Forstwirtschaft sowie der Wasserwirtschaft sein. Rohstoffe sind aus dem Erdganzen gelöste Naturstoffe, die außer dem Aufwand für ihre Gewinnung noch keine weitere vergegenständlichte Arbeit enthalten. Eine zweite wesentliche Quelle für die Ausgangsstoffe der Stoffwandlungsprozesse ist die chemische Produktion selbst, sie liefert die für viele Prozesse notwendigen *Grundchemikalien*..

Im Wesentlichen lassen sich 4 Gruppen von Ausgangsstoffen unterscheiden. Das sind:

- *Bergbauprodukte*: Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle, Steine und Erden, Salze, Erze, Phosphate, Schwerspat
- *Luft und Wasser*
- *Agrarprodukte* : Holz, Stroh, Stärkepflanzen, pflanzliche Fette, Zuckerrüben, Harz
- *Chemieprodukte* : Schwefelsäure, Salzsäure, Soda, Ätznatron, Calciumkarbid, Chlor, Wasserstoff, Ammoniak, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Methanol, Phenol.

Neben den Ausgangsstoffen erfordert die Durchführung der Stoffwandlungsprozesse eine Reihe von *Hilfsstoffen*. Die wichtigsten sind:

- *Lösungsmittel* : Wasser, Äthanol, Benzol, Trichlormethan, Kohlenstoffdisulfid
- *Flussmittel* : Kryolith, Kalk, Feldspat
- *Katalysatoren* : Platin, Eisen-, Vanadium- und Kobaltverbindungen, Stickstoffoxide

Hilfsstoffe, die nicht unmittelbar zur Reaktionsmasse zählen, sind:

- *Wärmeträger* : Wasser, Luft, Salzlösungen und –schmelzen
- *Kühlmittel* : Wasser, Luft, Ammoniak, Fluorkohlenwasserstoffe

8.6. Symboldarstellung von Stoffwandlungsprozessen

Auf der Grundlage der in Abschnitt 6.5. getroffenen prinzipiellen Vereinbarungen für die Symboldarstellung technologischer Grundvorgänge wollen wir die Symboldarstellung von Stoffwandlungsprozessen an charakteristischen Beispielen demonstrieren.

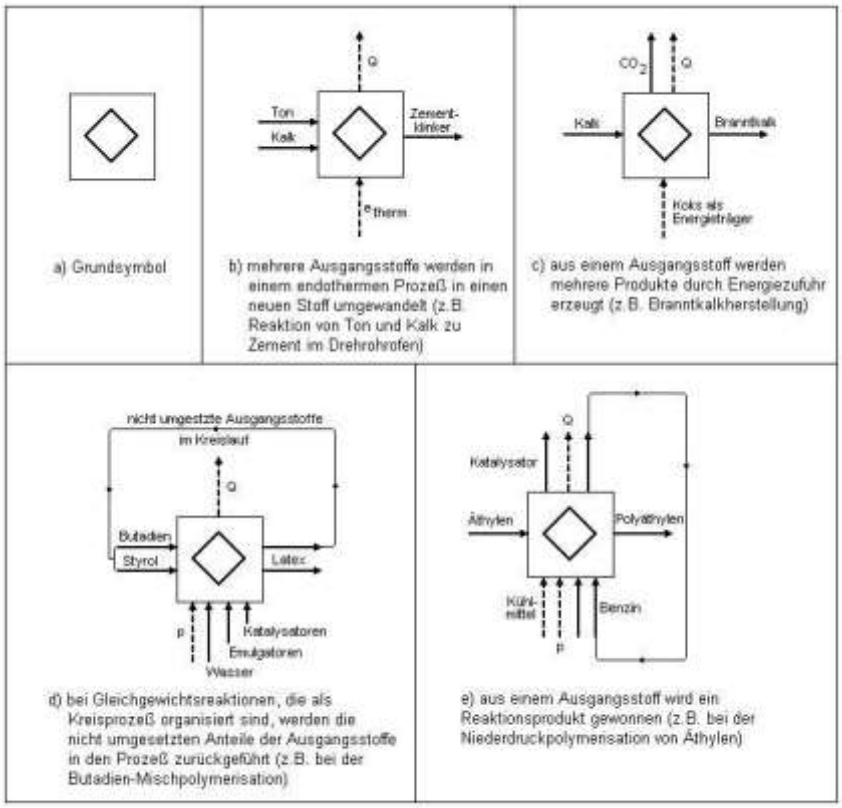


Abb. 8.3. Symbole für Grundprozesse der Stoffwandlung

Das *Grundsymbol* für Stoffwandlungsprozesse ist das Quadrat mit einem eingezeichneten auf der Spitze stehenden Quadrat (Abb.8.3.a).

Die einzelnen Linien werden voll gezeichnet. Die Ausgangsstoffe werden von links zugeführt, die Reaktionsprodukte rechts ausgeführt. Die Reaktionsbedingungen (Aktivierungsenergie, Einsatz von Katalysatoren, Anwendung erhöhten Drucks, Zuführung von Operationsenergie, Einsatz von Hilfsstoffen usw.) erscheinen als Hilfsflüsse, die von unten zugeführt werden. Nicht weiterverwertete Nebenprodukte (Abfallprodukte) und abzuführende Wärmeenergie werden oben aus dem Symbol ausgeführt.

Da in vielen Fällen (bei exothermen Prozessen) keine Operationsenergie von außen zugeführt wird, entfällt bei diesen die symbolische Darstellung der Energiezufuhr.

Einige Beispiele sollen diese Grundsätze veranschaulichen:

- Mehrere Ausgangsstoffe werden in einem endothermen Prozess in einen neuen Stoff umgewandelt. Ein solcher Fall ist die Umwandlung von Ton und Kalk im Zement im Drehrohrofen (Abb.8.3.b).
- Aus einem Ausgangsstoff werden mehrere Produkte durch thermische Spaltung erzeugt. Diese Situation liegt bei der Branntkalkherstellung vor (Abb.8.3.c).
- Bei Gleichgewichtsreaktionen, die als Kreisprozess organisiert sind, werden die nicht umgesetzten Anteile der Ausgangsstoffe in den Prozess zurückgeführt, z.B. bei der Butadien-Mischpolymerisation (Abb.8.3.d).
- Aus einem Ausgangsstoff wird *ein* Reaktionsprodukt gewonnen, z.B. Niederdruckpolymerisation von Ethen (Abb.8.3.e).

8.7. Struktur und Wirkprinzipien von Stoffwandlungsprozessen

Struktur und Wirkprinzipien von Stoffwandlungsprozessen sind im Rahmen der allgemeinen Technologie bisher wenig untersucht. Trotzdem lassen sich eine Reihe von Aussagen zur Spezifik der Wirkfaktoren und des Wirkprinzips dieser Klasse technologischer Vorgänge machen. Zunächst fällt auf, dass die einzelnen Elemente der Wirkfaktoren große Gemeinsamkeiten mit den zugrunde liegenden Naturvorgängen und Naturgesetzen haben und die technische Spezifik deshalb häufig nicht offensichtlich ist. Das erklärt sich aus dem Wesen der Stoffwandlungsprozesse. In ihnen wirken stoffliche Arbeitsgegenstände aufeinander ein. Die gewollte Veränderung wird nicht direkt durch technische Mittel erreicht, sondern durch das unmittelbare Wirken von Naturvorgängen. Die technischen Mittel (die Reaktortechnik) dienen dazu, im Reaktionsraum, der die Reaktionsmasse aufnimmt, solche thermodynamischen Bedingungen zu schaffen, dass die gewünschten chemischen Prozesse (Naturprozesse) ausgelöst und in Richtung und Geschwindigkeit beherrscht und gesteuert werden können.

Für den Reaktionsablauf und die zu schaffenden technischen Bedingungen sind besonders folgende Komponenten der *Verarbeitungseigenschaften der Reaktionsmasse* zu beachten:

- Der Phasenzustand der Reaktionsmasse. Durch sie werden die thermodynamischen Reaktionsbedingungen und die Form des Reaktionsraumes wesentlich beeinflusst.
- Der Zerteilungsgrad der Reaktionspartner.
- Die Mischbarkeit der Reaktanden.

Als *Funktionseigenschaften des Reaktionsraumes* stehen im Vordergrund:

- Die Grundform des Reaktors.
- Die Art der Zwangsführung der Reaktionsmasse durch den Reaktionsraum. Von ihr werden die Durchmischung der Reaktanden, die Verweilzeit der Reaktionsmasse im Reaktionsraum und die Prozessorganisation stark bestimmt.
- Die Prozessorganisation (kontinuierliche bzw. periodische Arbeitsweise).

Die *energetischen Wirkbedingungen* konzentrieren sich auf:

- Die Reaktionsenthalpie (exotherme - endotherme Prozesse). Sie bestimmt das Operationsenergie-Regime, d.h. die Zuführung von Operationsenergie bzw. die Ableitung entstehender Prozesswärme.
- Die Aktivierungsenergie.
- Die thermodynamischen Prozessbedingungen (Anwendung erhöhter Temperatur und erhöhten Drucks, Katalysatoreinsatz)

Die Angaben zum *Wirkprinzip* stützen sich hinsichtlich der Zweckangabe auf die wesensbestimmende chemische Reaktion (z.B. Hydrierung, Polymerisation, biochemische Aufspaltung). Sie sollten weiterhin Aussagen zur Art der Aktivierungsenergie, zur Reaktionsenthalpie und den thermodynamischen Reaktionsbedingungen enthalten. Angaben zum Phasenzustand der Reaktionsmasse und zum Reaktionsort sind ebenfalls von Bedeutung.

Am Beispiel der Strukturanalyse der Chlorwasserstoffsynthese sollen diese Angaben veranschaulicht werden.

8.8. Prozessdarstellung CHLORWASSERSTOFFSYNTHESE

1. Verfahrenscharakteristik

Die Chlorwasserstoffsynthese ist ein thermochemischer Prozess der Prozessgruppe exotherme Gasreaktionen. In ihm werden die Elemente Chlor und Wasserstoff zu Chlorwasserstoff vereinigt. Die Aktivierung der Reaktion erfolgt durch eine ständig im Reaktor brennende Zündflamme, die das Gasgemisch sofort wieder entzündet, wenn die Flamme durch unregelmäßige Gaszufuhr erlöschen sollte.

2. Symboldarstellung (Abb.8.4.)

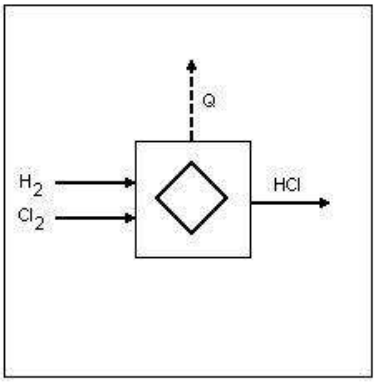


Abb.8.4. Symboldarstellung der Chlorwasserstoffsynthese

3. Grundbegriffe und naturwissenschaftliche Grundlagen

Chlorknallgas ist ein hochexplosives Gemisch von Wasserstoff und Chlor. Zur Absorption des entstehenden Chlorwasserstoffgases werden sog. *Korobonkühler* eingesetzt, das sind Plattenkühler, bei denen der Gasraum von jeweils zwei kühlwasserdurchflossenen Räumen eingeschlossen ist. Korobon ist ein Werkstoff aus Graphit, dessen Poren mit einem chemikalienbeständigen Plast ausgefüllt sind. Er hat eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit.

Die Chlorwasserstoffsynthese aus den Elementen verläuft nach der Reaktionsgleichung

$$H_2 + Cl_2 \text{ ----> } 2\ HCl \quad + 44\ kcal$$

Die Reaktion verläuft sehr heftig. Chlorwasserstoff ist ein Gas. Es löst sich sehr gut in Wasser (bei Atmosphärendruck 450 Raumteile in einem Raumteil Wasser) unter starker Wärmeentwicklung. Von technischem Interesse ist, dass Chlorwasserstoff bei Glühhitze mit Metallen unter Wasserstoffentwicklung reagiert.

4. Wirkfaktor Verarbeitungseigenschaften der Reaktionsmasse

Die Reaktionspartner liegen in der Gasphase vor, auch das Produkt ist gasförmig. Die hohe Reaktionsfähigkeit von Chlor-Wasserstoff-Gemischen verlangt eine genaue stöchiometrische Dosierung der Reaktionspartner (1). Chlorüberschuss würde zu Explosionen im Abgassystem führen. Zur Sicherung einer stabilen Reaktionsführung wird deshalb mit einem Wasserstoffüberschuss von 2 bis 10% gefahren.

5. Wirkfaktor Funktionseigenschaften des Reaktionsraums

Das Arbeitsorgan des Syntheseofens ist ein zylinderförmiger Verbrennungsraum, in den ein Quarzbrenner hineinragt (2). Der Prozess ist eine Zonenreaktion. Wegen der großen Reaktionsfähigkeit werden die Reaktionspartner getrennt bis an die Düse des Brenners herangeführt (4,5) und erst dort vermischt, wobei unmittelbar die Reaktion erfolgt. Der Brenner ist so gestaltet, dass das Chlor in eine Wasserstoffatmosphäre eingeleitet wird. Man erreicht damit eine gleichmäßig ablaufende Reaktion und verhindert Explosionen (4).

Die hohe chemische Aggressivität der Reaktionspartner erfordert eine säurefeste Ausmauerung des Verbrennungsraumes.

6. Wirkfaktor Energetische Wirkbedingungen

Der Prozess verläuft exotherm, deshalb erübrigt sich die Zufuhr von Operationsenergie (3, 8,9). Die sehr niedrige Aktivierungsschwelle erfordert für den Reaktionsanstoß nur ein kurzes Zünden des Reaktionsgemisches.

Eine bedeutsame energetische Komponente ist jedoch die notwendige Abführung der Reaktionsenergie. Sie erfordert, dass der Reaktionsraum in ein spezielles Kühlsystem eingebettet ist. Die Verbrennungswärme wird durch Verdampfen des Kühlwassers abgeführt und damit die metallische Wandung des Reaktionsraumes vor Überhitzung geschützt (6,7).

Die hohe Reaktionsenergie verlangt weiterhin, dass die Brennerdüse, in der die Reaktionspartner zusammengeführt werden, aus hoch hitzebeständigem Material besteht. Es werden dafür Quarzbrenner eingesetzt (7).

7. Wirkprinzip

Die Chlorwasserstoffsynthese ist eine exotherme Gasphasen-Hydrierung. Sie ist eine Zonenreaktion unter Normaldruck. Wie alle Gasphasenprozesse kann sie nur nach dem Fließprinzip technisch realisiert werden.

8. Strukturschema (Abb.8.5.)

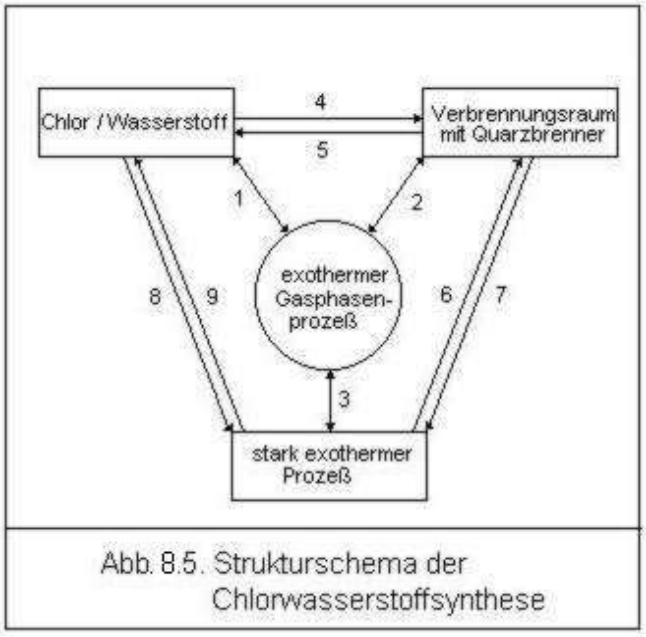


Abb. 8.5. Strukturschema der Chlorwasserstoffsynthese

8.9. Systematik der Stoffwandlungsprozesse

Eine systematische Ordnung der Stoffwandlungsprozesse bereitet wegen der großen Vielfalt der Reaktionsmöglichkeiten und der Vielzahl der wirkenden Reaktionsbedingungen einige Schwierigkeiten. Zwar liegt eine ganze Reihe von Systematisierungsvorschlägen vor, doch hat keiner bisher eine umfassende Lösung gebracht. Es werden jeweils nur einzelne Kriterien als Ordnungsprinzipien verwendet, ohne ein hierarchisches Vorgehen zu nutzen. Das führte bisher zu relativ einseitigen, in sich oft widersprüchlichen Ordnungsschemata, die insbesondere den Bedürfnissen der allgemeinen Technologie nicht entsprechen.

Eine Analyse des vorliegenden Materials lässt zwei Gruppen von Ordnungssystemen der Stoffwandlungsprozesse erkennen. Die erste Gruppe stützt sich wesentlich auf die *stofflichen Eigenschaften der Reaktionsmasse* und ihre *chemischen Umsetzungen*. Geht man vom Chemismus des Prozesses aus, kommt man zu etwa 25 grundlegenden Prozessen, wie Oxydieren, Hydrieren, Reduzieren, Nitrieren, Polymerisieren, Verestern, Neutralisieren und Hydrolysieren. Da sie unter sich eine Reihe von Gemeinsamkeiten aufweisen, lassen sich die grundlegenden Prozesse in übergeordneten Gruppen zusammenfassen (Abb.8.6.).

Weitere Kriterien, unter denen innerhalb dieser Gruppe Ordnungssysteme aufgestellt wurden, sind:

- die Art der entstehenden Stoffe (Salz-, Säure-, Basenbildungsreaktionen),

- Die Anzahl der Ausgangsstoffe und/oder der Reaktionsprodukte (einfache Umsetzung, doppelte Umsetzung)
- die Art der an der Reaktion beteiligten Teilchen (Ionenreaktion, Molekülreaktion, Radikalaustausch),
- der gewollte Effekt (Fällungsreaktion, Verdrängungsreaktion, Farbreaktion).

Die Stärke dieser angeführten Ordnungssysteme besteht in ihrer engen Beziehung zum chemischen Geschehen. Ein prinzipieller Nachteil ist jedoch darin zu sehen, dass kaum Relationen zur technologischen Durchführung der Prozesse bestehen und dass eine Zuordnung bestimmter Reaktortypen zu den Grundprozessen oder Prozessgruppen kaum möglich ist, wie das bei den Stoffformungsverfahren und den Werkzeugmaschinen durchgängig geschehen konnte.

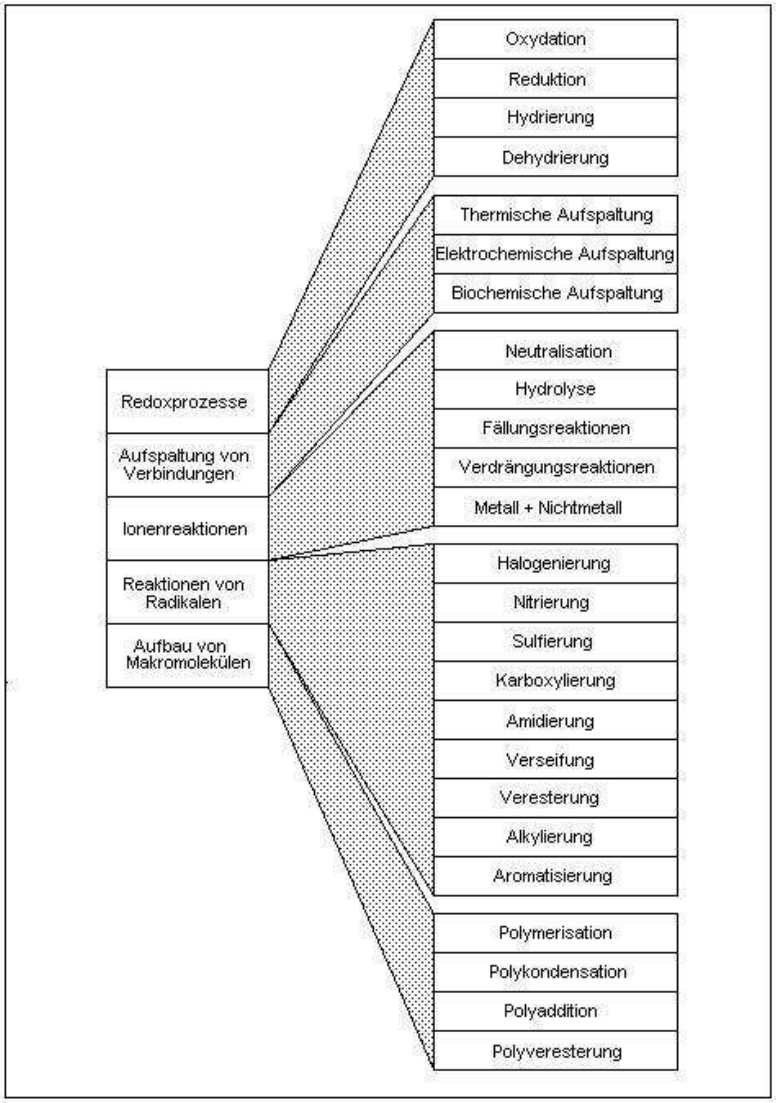


Abb. 8.6. Ordnungssystem der Stoffwandlungsprozesse unter chemischem Aspekt

Will man zu einer Systematik gelangen, die die Art der technologischen Durchführung der Stoffwandlungsprozesse und damit das Typische und Gemeinsame der technologischen Grundprozesse betont, so muss man die Reaktionsbedingungen und typischen Verfahrensweisen in Relation zu ihrer technologischen Realisierung zum Ausgangspunkt der Systematisierung machen. Damit würden auch enge Beziehungen zu den Reaktoren hergestellt, denn die Reaktionsbedingungen bestimmen den Apparatetyp.

Hieran knüpft die zweite Gruppe von Systematisierungsvorschlägen an. Begründet wurde diese Richtung 1926 durch H.H.FRANCK. Er legte seiner Systematik typische Verfahrensweisen zugrunde (wie Elektroly-

se, Kontaktreaktionen) und gab für jeden Prozesstyp ein bestimmtes technologisches Schema an (Lit.8.6., S.135 ff.).

Etwas später entwickelte J.W.MÜLLER eine Systematik, die sich auf die verschiedenen Aggregatzustände der Ausgangsstoffe und der Reaktionsprodukte und ihre möglichen Phasenkombinationen stützt (Lit.8.12.,S.333). Die Ausgangsstoffe können in folgenden Phasenkombinationen miteinander reagieren:

1. fest + fest
2. fest + flüssig
3. fest + gasförmig
4. flüssig + flüssig
5. flüssig + gasförmig
6. gasförmig + gasförmig
7. fest + flüssig + gasförmig.

Jeder der sieben Reaktionstypen kann seinerseits wieder zu sieben Phasenkombinationen der Reaktionsprodukte führen. Für den ersten Typ (fest + fest) ergeben sich die in Tabelle 8.3. zusammengestellten Kombinationen.

Art der Reaktion	Beispiele
fest + fest → fest + fest	Zementbrennen
fest + fest → fest + flüssig	-
fest + fest → fest + gasförmig	Kalkbrennen
fest + fest → flüssig + flüssig	Glasherstellung
fest + fest → flüssig + gasförmig	Kalziumkarbiderzeugung
fest + fest → gasförmig + gasförmig	Sprengstoffexplosion
fest + fest → fest + flüssig + gasförmig	-

Tabelle 8.3. Phasenkombinationen der Reaktionsprodukte von Feststoffreaktionen

Diese Systematik ist insofern universell, als sie alle möglichen Grundprozesse vollständig erfasst. Sie berücksichtigt allerdings nur *einen* Prozesscharakterisierenden Faktor und bleibt deshalb einseitig.

Eine umfassende Übersicht über weitere Systematisierungsmöglichkeiten finden wir bei D.W.van KREVELEN (Lit.8.7., S.124 ff.). Solche Möglichkeiten sind:

- Systematik nach Durchführungsformen(absatzweise und kontinuierliche Prozesse, Gleichstrom-, Querstrom-, Gegenstromprozesse),
- Systematik nach Reaktionstypen (einfache, reversible, konsekutive, simultane Reaktionen, Kettenreaktionen)
- Systematik nach der Art der Aktivierungsenergie (thermische, elektrochemische, biochemische Prozesse)

Von besonderer Bedeutung für die Systematisierung der Stoffwandlungsprozesse sind die Arbeiten von E.WICKE (Lit.8.9., S.460 bis 470). Er bemühte sich um die komplexe Erfassung der wesentlichen Faktoren der technologischen Reaktionsführung und kommt damit zu einer qualitativ neuen Stufe der Betrachtung.

Als Ordnungskriterien verwendet er:

- Die Abgrenzung des Reaktionsraumes und die Sicherung einer ausreichenden Verweilzeit der Reaktanden im Reaktionsraum,
- Die Mischung und Förderung der Reaktionsmasse im Reaktionsraum
- Die Beherrschung der Wärmewirtschaft und der Temperaturhaltung im Reaktor
- Die Überwindung energetischer Reaktionshemmungen und ungünstiger Gleichgewichtsverhältnisse.

Der letzte Aspekt, die Art und Weise der Überwindung der Aktivierungsschwelle, liefert ihm das erste Kriterium zur Aufteilung der Gesamtheit der Stoffwandlungsprozesse in Hauptgruppen (Prozesstypen), und zwar in thermische, elektrochemische, biochemische und mechanochemische Verfahren.

Die weitere Untergliederung kann dann entsprechend den konkreten Bedingungen und Zielen durch eine zweckmäßige Kombination der anderen genannten Kriterien in einer hierarchisch gegliederten Systematik erfolgen.

Wir knüpfen bewusst an diesen Ansatz an, weil er voll und ganz der allgemein-technologischen Betrachtungsweise entspricht. Er ermöglicht eine schrittweise, den hierarchischen Stufen folgende Systematik, wie wir sie schon bei den Stoffformungsverfahren praktiziert haben. Unter Berücksichtigung neuerer Arbeitsergebnisse aus eigenen Untersuchungen ergeben sich folgende Klassifizierungskriterien:

- Für die erste Systematisierungsebene, die Aufgliederung der Klasse der Stoffwandlungsprozesse in Prozesstypen, ist das bestimmende Kriterium die Art der Überwindung der Reaktionsschwelle, d.h. die Aktivierungsenergie. Dieses Kriterium hat fünf Elemente (thermische, elektrische, biologische, mechanische und Strahlungsenergie), woraus sich fünf Prozesstypen ableiten (Tabelle 8.4.).

- Für die nächste Gliederungsebene, die Aufteilung der Prozesstypen in Prozessgruppen stehen als Ordnungskriterien zur Verfügung:
  - die Reaktionsenthalpie (mit den Elementen exotherme, endotherme, autotherme, thermoneutrale Prozesse),
  - der Phasenzustand der Reaktionsmasse (mit 7 Elementen, die sich aus den Phasenkombinationen ergeben),
  - die Lage des Reaktionsgleichgewichts, von dem das Druck- und Temperaturregime wesentlich abhängt.

  Welches dieser Kriterien jeweils angewandt wird, muss für jeden Prozesstyp gesondert bestimmt werden.

- Für die dritte Ordnungsebene, die Aufgliederung der Prozessgruppen in Grundprozesse, können die Besonderheiten der Wirkfaktoren als Kriterien herangezogen werden. Solche sind:
  - die Eigenschaften der Reaktionspartner,
  - die Art der Beeinflussung des Reaktionsverlaufs,
  - charakteristische Merkmale des Arbeitsorgans.

Aktivierungsenergie	Prozeßtyp
Wärmeenergie	Thermochemische Prozesse
Elektrische Energie	Elektrochemische Prozesse
Biochemische Energie	Biochemische Prozesse
Strahlungsenergie	Strahlungschemische Prozesse
Mechanische Energie	Mechanochemische Prozesse

Tabelle 8.4. Prozeßtypen der Stoffwandlung

8.10. Charakteristik der Prozessgruppen

8.10.1 . Der Prozesstyp Thermochemische Prozesse

Thermochemische Prozesse werden durch die Anwendung von Wärmeenergie zur Überwindung der Reaktionsschwelle charakterisiert. Dabei ist es gleichgültig, ob die Aktivierungsenergie durch direkte oder indirekte Aufheizung der Ausgangsstoffe, durch Verbrennungswärme oder elektrothermische Energie hervorgebracht wird. Da die Höhe der Mindesttemperatur, die zur Auslösung der Reaktion nötig ist, oft durch die Reaktionsbedingungen (Druckanwendung, Katalysatoreinsatz, Konzentrationsänderung der Reaktionsmasse) beeinflusst werden kann, werden zahlreiche thermochemische Prozesse durch diese Bedingungen wesentlich mitbestimmt.

Wesentliche Unterschiede bestehen bei Prozessen dieses Typs hinsichtlich der Operationsenergie zwischen den exothermen und den endothermen Prozessen. Für die endothermen Prozesse ist charakteristisch, dass während des gesamten Prozessverlaufs ständig thermische Operationsenergie zugeführt werden muss, um den Prozess in Gang zu halten. Die Zuführung der thermischen Operationsenergie kann durch direkte Aufheizung der Reaktionsmasse erfolgen (mittels Heizgas, Dampf, elektrischem Lichtbogen oder durch feste Brennstoffe in der Reaktionsmasse). Es wird aber auch die indirekte Beheizung über Wärmeaustauscher und Wandheizungen verbreitet angewendet. Bei exothermen Prozessen wird im Prozessablauf Wärmeenergie freigesetzt, so dass die Zufuhr von Operationsenergie entfällt. Es muss aber dafür gesorgt werden, dass die freiwerdende Prozesswärme durch geeignete technische Einrichtungen und technologische Maßnahmen abgeführt wird, um die optimale Reaktionstemperatur einzuhalten.

Die weitaus größte Zahl der gegenwärtig großtechnisch betriebenen Stoffwandlungsprozesse gehört zu den thermochemischen Prozessen.

Die Aufgliederung der thermochemischen Prozesse in Prozessgruppen wird durch die Anwendung der Ordnungskriterien "Phasenverhältnisse in der Reaktionsmasse" und "Reaktionsenthalpie" erreicht. Sie sind für die Prozesse und ihre technologische Durchführung wesensbestimmend. Demgegenüber treten andere Merkmale wie Reaktionstemperatur, Druckanwendung und Katalysatoreinsatz zurück. Diese Kriterien werden innerhalb der Prozessgruppen berücksichtigt.

Mit den beiden genannten Kriterien lässt sich eine Verknüpfungsmatrix aufbauen, die die thermochemischen Prozesse in zehn Prozessgruppen untergliedert (Tabelle 8.5.).

Phasenverhältnisse	Reaktionsenthalpie Exotherm	Endotherm
Gasförmig / gasförmig	exotherme Gasreaktionen	endotherme Gasreaktionen
Gasförmig / flüssig	exotherme Gas-Flüssigkeits-Reaktionen	endotherme Gas-Flüssigkeits.Reaktionen
Gasförmig / fest	exotherme Gas- Feststoff-Reaktionen	endotherme Gas-Feststoff-Reaktionen
Flüssig - flüssig	exotherme Flüssigkeits-Reaktionen	endotherme Flüssigkeits-Reaktionen
Flüssig - fest	exotherme Flüssigkeits-Feststoff-Reaktionen	endotherme Flüssigkeits-Feststoff-Reaktionen
Fest - fest	exotherme Feststoff-Reaktionen	endotherme Feststoff-Reaktionen
Fest / flüssig / gasförmig	exotherme Drei-Phasen-Reaktionen	endotherme Drei-Phasen-Reaktionen

Tabelle 8.5. Prozeßgruppen thermochemischer Prozesse

Im Folgenden sollen einige ausgewählte *Prozessgruppen* kurz charakterisiert werden.

Exotherme Gasreaktionen sind in der chemischen Produktion sehr verbreitet. Man unterscheidet zwischen homogenen Gasreaktionen und heterogen katalysierten Gasreaktionen. Bei letzteren wird der Reaktionsmasse ein (meist fester) Katalysator zugesetzt.

Bei exothermen homogenen Gasreaktionen werden im Allgemeinen beträchtliche Wärmemengen frei, die abgeführt werden müssen. Da die Gemische der Reaktionspartner oft in weiten Grenzen explosiv sind, muss im Reaktor dafür gesorgt werden, dass die Reaktion unmittelbar beim Zusammentreffen erfolgt (Brennersysteme).

Heterogen katalysierte exotherme Gasreaktionen unterscheiden sich vor allem durch die Anordnung des Katalysators im Reaktionsraum und durch die Gleichgewichtsverhältnisse bei der Reaktion von den homogenen Gasreaktionen. Heterogene Kontakte können in Röhren (Röhrenkontaktofen), in einzelnen Schichten (Etagenofen, Wirbelschichtreaktor) oder als Suspensionen (Blasenreaktor) eingesetzt werden.

Gasreaktionen können großtechnisch nur nach dem Fließprinzip realisiert werden (kontinuierliche Arbeitsweise).

Tabelle 8.6. gibt eine Übersicht über technisch bedeutsame exotherme Gasreaktionen.

Prozeß	Reaktionsteilnehmer	Temp. (°C)	Reaktions-enthalpie	Katalysator
Homogen katakysiert				
Methanchlorierung	$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$	440	- 105 kJ	-
Chlorwasserstoff-synthese	$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2\ HCl$	600-800	-184 kJ	-
Heterogen katalysiert				
Ammoniaksynthese	$N_2 + 3\ H_2 \rightleftharpoons 2\ NH_3$	450-500	- 46 kJ	Fe_3O_4 / K_2O / Al_2O_3
Ammoniakoxydation	$4\ NH_3 + 5\ O_2 \rightleftharpoons 4\ NO + 6\ H_2O$	800-900	-113 kJ	Pt / Rh
Methansynthese	$CO + H_2 \rightleftharpoons CH_3OH$	350-400	- 92 kJ	ZnO / Cr_2O_3
Schwefeldioxid-oxydation	$2\ SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2\ SO_3$	450-500	-193 kJ	V_2O_5

Tabelle 8.6. Wichtige exotherme Gasreaktionen

Endotherme Gasreaktionen benötigen die ständige Zufuhr von thermischer Operationsenergie. Die Reaktoren enthalten deshalb Wärmeaustauscher (Röhrenofen, Regenerativofen). Die notwendige Wärmeenergie kann direkt auf die Reaktionspartner übertragen werden, aber auch durch die Beimengung flüssiger oder gasförmiger Wärmeträger zugeführt werden. Für extrem hohe Aufheizungstemperaturen leitet man einen der Reaktionspartner oder auch das Reaktionsgemisch durch einen elektrischen Lichtbogen (Wasserstoff-Lichtbogen-Pyrolyse, Fluom-Prinzip). Es lassen sich so Temperaturen von 1500 bis 2000 °C erreichen.

Bei heterogen katalysierten endothermen Gasreaktionen werden die gleichen Aufheizungsprinzipien angewendet. Der Kontakt wird wie bei den exothermen Gasreaktionen in Röhren, im Wanderbett oder in der Wirbelschicht angeordnet. Technisch bedeutsame endotherme Gasreaktionen sind in Tabelle 8.7. zusammengestellt.

Prozeß	Reaktionsteilnehmer	Temperatur (°C)	Reaktionsenthalpie	Katalysator
Homogen				
Pyrolyse zur Olefinerzeugung	Niedere Alkane → Ethen + H_2	700-900	+ 105 kJ	-
1.2.Dichloräthanpyrolyse zu Vinylchlorid	$CH_2Cl\text{-}CH_2Cl$ → $CH_2{=}CHCl + HCl$	450-550	+ 71 kJ	-
Hochtemperaturpyrolyse zur Äthinerzeugung	2 CH_4 → $CH{\equiv}CH + 3\ H_2$	1500-2500	+ 398 kJ	-
Blausäureerzeugung aus Methan und Ammoniak	$CH_4 + NH_3$ → $HCN + 3\ N_2$	1600	+ 251 kJ	-
Hetrogen katalysiert				
Katalytische Reformierung von Schwerbenzin	Schwerbenzin → Benzin	450-500		Pt / Al_2O_3
Dehydrierung von Äthylbenzol zu Styrol	Äthylbenzol → Styrol + H_2	500-600		Fe_3O_4
Butan-Buten-Dehydrierung	Butan → Buten + H_2	500-550		Cr_2O_3 / Al_2O_3

Tabelle 8.7. Wichtige endotherme Gasreaktionen

Ergänzend muss zu den Gasreaktionen bemerkt werden, dass man durch Kopplung von endothermen und exothermen Reaktionen eine *autotherme Prozessführung* erreichen kann, so dass eine Wärmezu- und -abführung von außen entfällt. Man koppelt z.B. die Dehydrierung von Methanol zu Formaldehyd mit der Oxydation des entstehenden Wasserstoffs:

$$CH_3OH \longrightarrow HCHO + H_2 \qquad H = +\ 84\ kJ$$
$$2\ H_2 + O_2 \longrightarrow 2\ H_2O \qquad H = -\ 486\ kJ$$

Gemeinsam mit Methanol wird Luft in den Reaktor eingeblasen. Durch entsprechende Dosierung der Luftmenge kann ein Gleichgewicht zwischen entstehender und verbrauchter Wärmemenge eingestellt werden.

Eine Reihe von Gasreaktionen verläuft praktisch ohne Wärmetönung (Kohlenwasserstoff-Isomerierung, Disproportionierung von Toluol zu Benzol und Xylolen). Sie werden als *thermoneutrale Prozesse* bezeichnet.

Eine weitere technisch bedeutsame Prozessgruppe sind die *exothermen Flüssigkeitsreaktionen*. Sind die flüssigen Reaktionspartner unbegrenzt mischbar, sprechen wir von homogenen Reaktionen. Oft sind beide jedoch nicht oder nur begrenzt mischbar (zweiphasige Flüssigkeitsreaktionen). Dann muss technisch für eine ständige intensive Durchmischung gesorgt werden. Typische Reaktoren für Flüssigkeitsreaktionen sind Rührkessel, Glockenbodenreaktor und Dünnschichtreaktor.

Flüssigkeitsreaktionen sind meist nur gering exotherm. Sie werden normalerweise im Temperaturbereich bis 200^{o}C durchgeführt. Die Reaktionswärme wird durch Kühlmäntel oder Kühlschlangen aus dem Reaktionsraum abgeführt.

Endotherme Flüssigkeitsreaktionen haben bisher kaum technische Bedeutung erlangt. In Tabelle 8.8. sind einige technisch bedeutsame Flüssigkeitsreaktionen zusammengestellt.

Prozeß	Reaktionsteilnehmer	Temperatur (°C)	Druck (MPa)	Katalysator
Homogene Prozesse	Harnsstoff			
Massenpolymerisation von Styrol	Styrol → Polystyrol	80-120	0,1	-
Harnstoffkondensation	Harnstoff + Formaldehyd → Aminoplast	50-120	0,1	H +
Aldolkondensation	Acetaldehyd → Aldol	30-60	0,1	OH -
Heterogene Prozesse				
Verseifung von Fetten	Fette + NaOH → Seife	150-200	0,5-2,5	-
Nitrierung von Aromaten	Benzol + NH_3 + H_2SO_4 → Nitrobenzol	50-60	0,1	-
Emulsionspolymerisation von Vinylchlorid	Vinylchlorid → Polyvinylchlorid	50-100	0,1-1,0	Peroxide
Emulsionspolymerisation von Butadien mit Styrol	Butadien + Styrol → Buna	0-60	0,1-1,0	Peroxide

Tabelle 8.8. Wichtige exotherme Flüssigkeitsreaktionen

Exotherme Gas-Flüssigkeits-Reaktionen sind in der stoffwandelnden Industrie weit verbreitet (Tabelle 8.9.). Typische Realisierungsformen sind die Umsetzung im Blasenreaktor, im Glockenbodenreaktor, im Rieselturm und im Sprühreaktor (Abb.8.7.).

Prozeß	Katalysator	Temperatur (°C)	Druck (MPa)
Paraffinoxydation	Mn^{++} / CO^{--}	100 - 160	0,1 - 1,0
Alkylierung von Benzol mit Äthylen / Propylen	$AlCl_3$	90 - 100	0,1
Fetthärtung	Ni / Cu	200	1,0
Hydratisierung von Äthin	$HgSO_4$ / H_2SO_4	90 - 100	0,1
Cumoloxydation	Ni	120 - 135	0,3 - 1,0
Niederdruckpolymerisation von Äthylen	$TiCl_4$ / $Al(C_2H_5)_3$	50 - 120	0,1
Windfrischen von Roheisen	-	1300 - 1600	0,1
Ammoniak-Soda-Prozeß	-	30 - 70	0,1

Tabelle 8.9. Wichtige Gas-Flüssigkeitsreaktionen

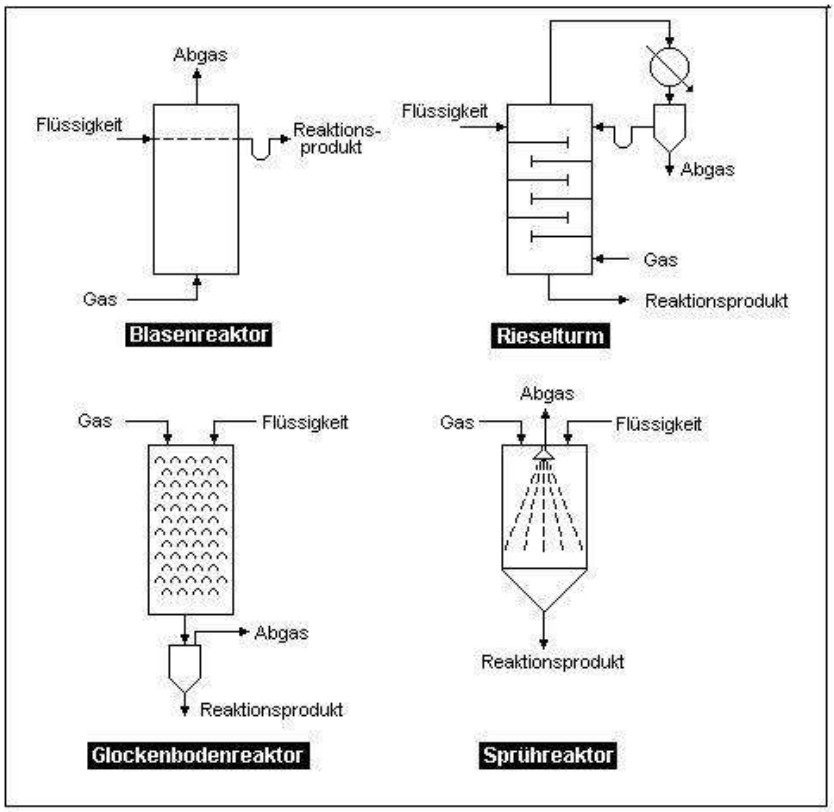


Abb. 8.7. Technologische Durchführungsformen von Gas-Flüssigkeits-Reaktionen

Katalysatoren zur Beschleunigung der Reaktion können in der Flüssigkeit gelöst oder fein verteilt sein. Sie werden nach der Reaktion abgetrennt.

Die frei werdende Wärmeenergie lässt sich mit den entstehenden gasförmigen Produkten oder durch Kühleinrichtungen abführen. Bei autothermer Prozessführung kann die Wärme durch Verdampfen eines flüssigen Reaktionsprodukts dem System entzogen werden.

Im Blasenreaktor durchströmt der gasförmige Reaktionspartner die flüssige Komponente und wird dabei umgesetzt. Dabei wird meist kontinuierlich gearbeitet. Eine kontinuierliche Prozessführung gestattet die Anwendung des Kaskadenprinzips, das im Glockenbodenreaktor realisiert ist. Das Gas passiert nacheinander die einzelnen Flüssigkeitsschichten.

Bei schnell verlaufenden Prozessen (und wenn kein festes Produkt entsteht) setzt man Rieseltürme ein. Die Flüssigkeit rieselt an Füllkörpern herab. Das Gas wird im Gleichstrom oder im Gegenstrom durch den Reaktor geführt.

Sprühreaktoren finden bei sehr hohen Umsetzungsgeschwindigkeiten Verwendung.

Exotherme Gas-Feststoff-Reaktionen haben große Bedeutung in der stoffwandelnden Produktion (Tabelle 8.10). Ihre Durchführung erfolgt in Schachtöfen, Etagenöfen, Drehrohröfen und Wirbelschichtöfen. Die gasförmige Komponente der Reaktionspartner wird meist im Gegenstrom durch das feste Reaktionsgut geführt.

Endotherme Gas-Feststoff-Reaktionen (Tabelle 8.10.) werden ähnlich wie die exothermen Prozesse durchgeführt. Besondere Schwierigkeiten bereitet die Zuführung der Operationsenergie. Indirekte Beheizungen durch wärmeaustauschende Flächen sind wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit der Feststoffkomponente nicht zweckmäßig. Deshalb führt man heiße Verbrennungsgase durch das Reaktionsgut oder mischt die Feststoffe mit Kohle, die bei der Verbrennung die Operationsenergie liefert. Die Reaktortypen entsprechen denen der exothermen Gas-Feststoff-Reaktionen.

Prozeß	Reaktions-enthalpie	Temperatur (°C)
Rösten sulfidischer Erze	- 427 kJ	650 - 850
Koksvergasung	- 218 kJ	800 - 1100
Kalzinierung von $NaHCO_3$		170 - 200
Brennen von Kalk	+ 163 kJ	900 - 1000
Reduktion von Eisenerzen	+ 490 kJ	1300 - 1600
Gewinnung von SO_2 aus Anhydrit	+ 306 kJ	1000 - 1400
Herstellung von Phosphor aus Kalziumphosphaten	+ 1441 kJ	1200 - 1400
Kalkstickstoffherstellung	+ 302 kJ	950 - 1150

Tabelle 8.10. Wichtige Gas-Feststoff-Reaktionen

Feststoffreaktionen entsprechen in ihren Merkmalen den Gas-Feststoff-Reaktionen. Wichtigstes technologisches Beispiel ist das Zementbrennen im Drehrohrofen

Für *Flüssigkeits-Feststoff-Reaktionen* sind Rührbottiche, Rührkessel, Drehtrommeln, Umlaufreaktoren, Kneter und Wirbelschichtreaktoren typische Reaktionsapparate (Abb.8.8.). Sie werden sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich betrieben. Entsprechende Einbauten im Reaktionsraum sichern die Durchmischung beider Phasen (Rührer, Kneter, Schnecken). Sie kann aber auch durch Umwälzpumpen oder Rotation der Reaktoren gewährleistet werden. In Tabelle 8.11. sind technisch bedeutsame Reaktionen dieser Prozessgruppe aufgeführt.

Prozeß	Temperatur (°C)	Druck (MPa)
Bauxitaufschluß mit NaOH	150 - 180	0,6 - 0,8
Apatitaufschluß mit H_2SO_4	100 - 160	0,1
Äthinerzeugung aus CaC_2	100 - 120	0,1
Holzschliffaufschluß mit $Ca(HCO_3)_2$	100 - 150	0,4 - 0,6
Xanthogenatbildung aus Alkalizellulose mit CS_2	25 - 30	0,1
Ammonsulfatbildung aus Anhydrit	40 - 60	0,1

Tabelle 8.11. Wichtige Flüssigkeits-Feststoff-Reaktionen

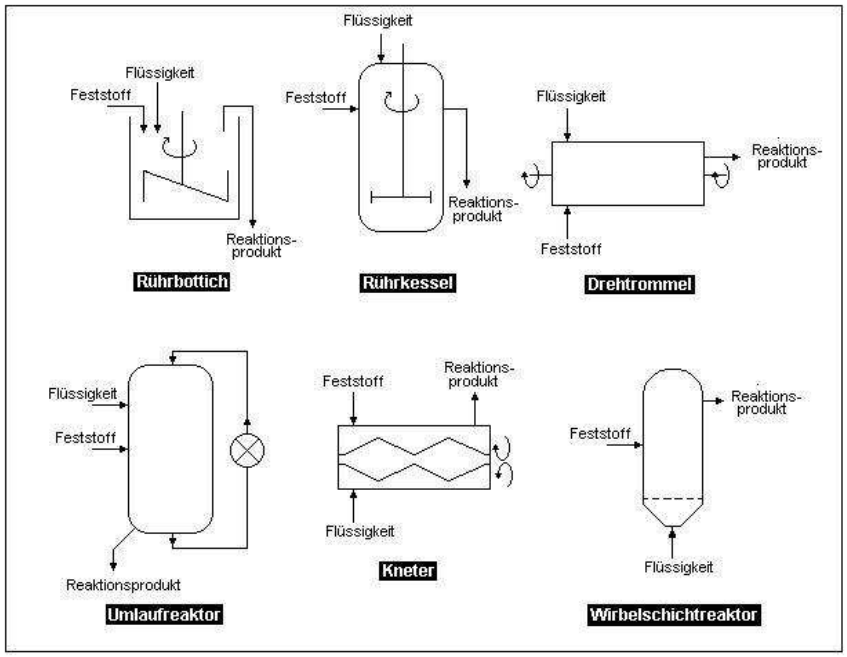


Abb. 8.8. Technologische Durchführungsformen von Flüssigkeits-Feststoff-Reaktionen

8.10.2. Der Prozesstyp Elektrochemische Prozesse

Elektrochemische Prozesse verlaufen unter direkter Einwirkung des elektrischen Stromes. Sie können nur zur Stoffwandlung solcher Stoffe angewandt werden, die als Elektrolyte vorliegen.

Elektrolyte sind wässrige Lösungen und Schmelzen von Stoffen, die in flüssiger Phase ganz oder teilweise in frei bewegliche Ionen zerfallen.

Werden in Elektrolyte zwei Elektroden getaucht, an denen eine Gleichspannung anliegt, so fließt ein elektrischer Strom. Dabei wird der Elektrolyt chemisch verändert. Im Prinzip laufen dabei folgende Vorgänge ab. Unter dem Einfluss des elektrischen Feldes wandern die positiv geladenen Ionen zur Kathode (Kationen) und nehmen dort Elektronen auf. Die negativ geladenen Ionen wandern zur Anode (Anionen) und geben dort Elektronen ab. Durch die Abgabe bzw. Aufnahme von Elektronen wird die Elektronenhülle der Ionen umgebaut und damit ihre chemische Umwandlung herbeigeführt.

Die bei der Entladung der Ionen (Primärreaktion) entstehenden neutralen Atome bzw. Radikale gehen sofort Sekundärreaktionen ein, die von der Natur der abgeschiedenen Stoffe, der Stromdichte und der übrigen Reaktionsmasse abhängen. Die entstandenen Atome vereinigen sich zu Molekülen und scheiden sich an den Elektroden ab. Sie können aber auch mit dem Lösungsmittel, dem Elektrolyten oder mit den Elektroden reagieren. Werden an der Anode komplexe Ionen entladen (z.B. OH^-, SO_4^{--}), so reagieren sie miteinander, wobei meist elementarer Sauerstoff frei wird.

Der Gesamtprozess der elektrochemischen Stoffwandlung wird *Elektrolyse* genannt. Elektrochemische Prozesse werden in *Elektrolysezellen* durchgeführt. Das sind im Allgemeinen rechteckige Wannen, in die Elektroden hineinragen. Die weiteren konstruktiven Merkmale werden von den Reaktionsbedingungen bestimmt.

Für elektrochemische Prozesse werden hohe Forderungen an die Reinheit der Ausgangsstoffe gestellt, um unerwünschte Nebenreaktionen zu vermeiden. Dem eigentlichen elektrochemischen Prozess sind deshalb meist aufwendige Reinigungsverfahren vorgeschaltet. Um die Ionen entladen zu können, muss eine Spannung angelegt werden, die sog. Zersetzungsspannung. Sie ist für jedes Ion spezifisch und beträgt nur wenige Volt. Die Betriebsspannung einer Elektrolysezelle liegt jedoch deutlich höher als die Zersetzungsspannung, weil ein erheblicher Teil der Spannung zur Überwindung des elektrischen Widerstandes der Zelle verbraucht wird. Diese Energie setzt sich in Wärme um und wird in manchen Fällen genutzt, um den Elektrolyten geschmolzen zu halten.

Die Art und Form der *Elektroden* sind weitere wichtige Bedingungen für die elektrochemische Stoffwandlung. Die Elektroden müssen eine hohe Leitfähigkeit für den elektrischen Strom besitzen und sollen möglichst beständig gegenüber dem Elektrolyten und den Reaktionsprodukten sein. Elektrodenwerkstoffe sind

Metalle, Kohle, Graphit und Metalloxide. Die Form und Anordnung der Elektroden soll einen geringen elektrischen Widerstand und eine große Oberfläche gegenüber den Elektrolysebädern sichern. Für die Elektrolyse von Lösungen haben sie deshalb meist Plattenform und werden dicht nebeneinander angeordnet.

Die Elektrolysezellen enthalten häufig Vorrichtungen, die die Abwanderung der Elektrolyseprodukte zur Gegenelektrode und damit unerwünschte Nebenreaktionen verhindern sollen. Solche Diaphragmen zwischen den Elektroden gestatten den Durchlass des Elektrolyten, halten aber die Entladungsprodukte zurück.

Elektrochemische Prozesse weisen folgende allgemeinen technisch-ökonomischen Merkmale auf:

- der Gesamtprozess weist wenig Verfahrensstufen auf,
- es werden hohe Umsetzungsgrade und damit eine hohe Rohstoffausbeute erreicht,
- die Prozesse haben eine hohe Selektivität,
- sie sind relativ leicht regulierbar und damit automatisierungsfreundlich,
- Elektrolysen in wässriger Lösung arbeiten bei niedriger Temperatur und weisen eine günstige Energieausbeute (>90%) auf
- Elektrolyseprozesse haben eine geringe Raum-Zeit- Ausbeute bedingt durch die geringe Leitfähigkeit der Elektrolyte und geringe Stromdichten an den Elektroden,
- Schwierigkeiten treten hinsichtlich der Entwicklung dimensionsstabiler Elektroden und der Trennung der Elektrolyseprodukte im Reaktionsraum auf.

Die elektrochemischen Stoffwandlungsprozesse können untergliedert werden durch die Anwendung von zwei Einteilungskriterien:

- die Art des Elektrolyten (Lösung oder Schmelze) und
- der Aufbau der Elektrolysezelle (mit oder ohne Diaphragma).

Daraus ergibt sich eine Matrix, die die elektrochemischen Prozesse im Prozessgruppen gliedert (Tabelle 8.12.).

Art des Elektrolyten	Zellenaufbau Ohne Diaphragma	Mit Diaphragma
Elektrolyse von Lösungen	Elektrolysen ohne Diaphragmen	Elektrolysen mit Diaphragmen
Elektrolyse von Schmelzen	Schmelzfluß-elektrolysen	-

Tabelle 8.12. Gliederung elektrochemischer Prozesse

Eine Übersicht über technologisch wichtige Prozesse und ihre Durchführungsbedingungen gibt Tabelle 8.13.

Produkt	Hauptbestand-teil des Elektrolyten	Elektroden	Zellen-spannung (V)	Anoden-strom ($A \cdot m^{-2}$)	Strom-verbrauch ($kWh \cdot t^{-1}$)
Natronlauge + Chlor	Na^+ / Cl^-	Graphit/ Eisen	3,8	900	2 400
Natronlauge + Chlor	Na^+ / Cl^-	Quecksilber	4,4		3 100
Fluor	K^+ / F^-	Ni / Fe	10	1 000	
$NaClO_3$	$Na^+ / Cl^- / Cr_2O_7^{--}$	Graphit/ Eisen	3,4	3 400	6 700
MnO_2	Mn^{++} / SO_4^{--}	Blei	3,3 - 4	500	2 200
Aluminium	Al^{+++} / O^{--}	Graphit	1,7	7 000	15 000
Magnesium	Mg^{++} / O^{--}	Graphit / Fe	7	5 000	17 000
Natrium	Na^+ / Cl^-	Graphit / Fe	7		10 000
Calcium	Ca^{++} / Cl^-	Graphit	25	10 000	40 000
Wasserstoff / Sauerstoff	$H^+ / OH^- / K^+$	Eisen /Nickel	2,2	2 500	

Tabelle 8.13. Elektrochemische Stoffwandlungsprozesse

8.10.3. Der Prozesstyp Biochemische Prozesse

Biochemische Prozesse sind Stoffwandlungsprozesse, in denen Mikroorganismen (insbesondere Pilze, Hefen, Bakterien, einzellige Algen und neuerdings auch Zellkulturen von Pflanzen und Tieren) oder Zellbestandteile (z.B. Enzyme, Fermente, Hormone) in spezifischen Reaktoren unter Ausnutzung von Stoffwechselprozessen zur Produkterzeugung in industriellem Maßstab eingesetzt werden.

Diese traditionell in Bereichen der Nahrungsgüterproduktion (Bier-, Wein-, Essigbereitung, Brot-, Käse-, Butterherstellung, Sauergemüseerzeugung) zum Teil seit Jahrtausenden genutzten Prozesse erfuhren in der 2.Hälfte des 19.Jahrhunderts durch die Entstehung der Mikrobiologie und die Aufklärung des Wesens der Fermentationsprozesse einen wesentlichen Aufschwung und eine industrielle Ausweitung (Produktion von Back- und Futterhefe, Zitronensäure, Glyzerin). Gegenwärtig erleben biochemische Prozesse eine qualitativ neue Phase ihrer umfassenden produktiven Nutzung. Die bedeutenden Fortschritte auf dem Gebiet der biotechnologischen Verfahrens- und Apparatetechnik - wie die Einführung der Sterilfermentation, die Entwicklung von Großfermentern, die Züchtung leistungsfähiger Mikrobenstämme und die Anwendung gentechnischer Methoden - haben biochemische Prozesse in den Rang von Schlüsseltechnologien erhoben. Sie werden in diesem Zusammenhang allerdings als Biotechnologien bezeichnet (vgl. Kapitel 4.4.).

1. Etappe - Unbewußte Nutzung von Mikroorganismen

*	10 000 v.u.Z.	Weinherstellung
*	8 000 v.u.Z.	Essigherstellung
*	6 000 v.u.Z.	Bierherstellung in Babylon
*	3 000 v.u.Z.	Käse und Sauermilchprodukte, Branntwein
*	450 v.u.Z.	Sauerteig in Ägypten

2. Etappe - Aufdeckung des Wesens der Fermentation und der Rolle der Mikroorganismen

*	1881	Milchsäureherstellung
*	1907	Industriealkohol aus Sulfitablauge
*	1914	Industrielle Produktion von Back- und Futterhefe
*	1914/18	Glyzerin, Azeton, Butanol
*	1942	Großtechnische Produktion von Penicillin

3. Etappe - Schaffung der wissenschaftlichen Grundlagen für die biotechnologische Verfahrens- und Apparatetechnik

*	ab 1942	Einführung der Sterilfermentation
*	1947	Großtechnische Einführung des Submersverfahrens zur mikrobiellen Enzymproduktion
*	ab 1949	Breite großtechnische Erzeugung von Enzymen, Antibiotika, Vitaminen und organischen Säuren
*	1957	Herstellung von Glutaminsäure

4. Etappe - Wissenschaftliche Entwicklungsetappe auf der Basis der Genetik und qualitativ neuer Arbeitstechniken

*	1975	Erste Herstellung monoklonaler Antikörper
*	1977	Labormäßige Genmanipolationen
*	1980	Übergang zu rechnergestützten Bioreaktoren und zur automatisierten Produktion

Tabelle 8.14. Entwicklungsetappen der Biotechnologie

Eine Übersicht über die historischen Entwicklungsetappen der Biotechnologie gibt Tabelle 8.14.

Biotechnologien sind Produktionsprozesse, die durch biochemische Stoffwandlung gekennzeichnet sind. Sie haben in gewissem Sinne eine Brückenfunktion zwischen der klassischen chemischen Technologie und der Agrartechnologie, weil sie einerseits wie die Agrarproduktion lebende Organismen als Produktionsmittel nutzen und andererseits wie die chemische Produktion durch Stoffwandlungsprozesse in Reaktoren charakterisiert werden. Ihre Funktion als Schlüsseltechnologien in der wissenschaftlich-technischen Revolution ergibt sich vor allem aus dem hohen Effektivitätspotential, das die produktive Nutzung von Mikroorganismen bietet. Biochemische Prozesse erschließen in breitem Maße neue Naturkräfte der produktiven Nutzung, sie besitzen eine große volkswirtschaftliche Anwendungsbreite und eine hohe Produktivität. Die Produkte weisen gegenüber den eingesetzten Rohstoffen eine hohe Veredlungsstufe auf, sie lassen sich gut mit klassischen Technologien kombinieren und sind Schrittmacher der Ökologisierung von Produktionsprozessen.

Biochemische Prozesse weisen eine Reihe spezifischer Merkmale innerhalb der Klasse der Stoffwandlungsprozesse auf.

Die Reaktionsmasse ist das *Nährmedium*. Es besteht zu mehr als 90% aus Wasser, in dem das *Substrat* gelöst oder fein verteilt enthalten ist. Das Substrat ist der eigentlich umzuwandelnde Rohstoff, es bildet die Kohlenstoff- und Energiequelle für den Stoffwechsel und das Wachstum der Mikroorganismen. Daneben enthält das Nährmedium meist noch Stickstoffquellen, Mineralsalze und Vitamine als notwendige Stoffwechselkomponenten. Aus technologischen Gründen werden dem Nährmedium Antischaummittel zugesetzt.

Biochemische Prozesse werden in *Fermentern* (Bioreaktoren) durchgeführt. Diese Reaktoren sind kesselförmige Behälter sehr unterschiedlichen Volumens. Sie nehmen die Nährlösung auf und sichern optimale Wachstumsbedingungen für die Mikroorganismen (Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffversorgung, sterile Reaktionsbedingungen, ständige Durchmischung der Reaktionsmasse). Deshalb ist für Fermenter die Ausrüstung mit Rührsystemen, Belüftungseinrichtungen, Heiz- und Kühlmantel und leistungsfähiger Mess- und Regelungstechnik charakteristisch (Abb.8.9.).

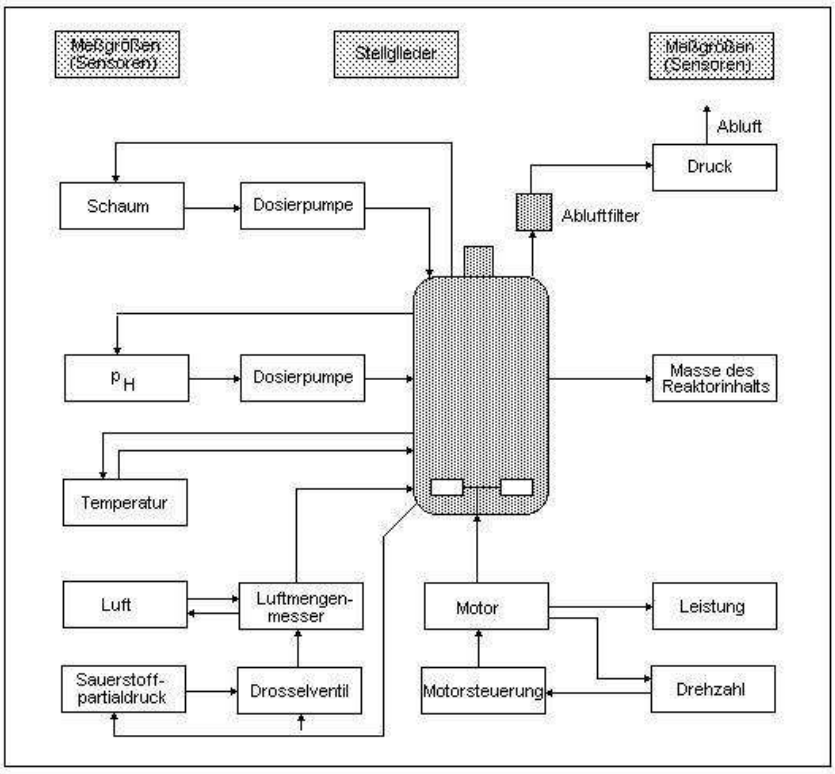


Abb. 8.9. Meß- und Regelgrößen an einem Bioreaktor

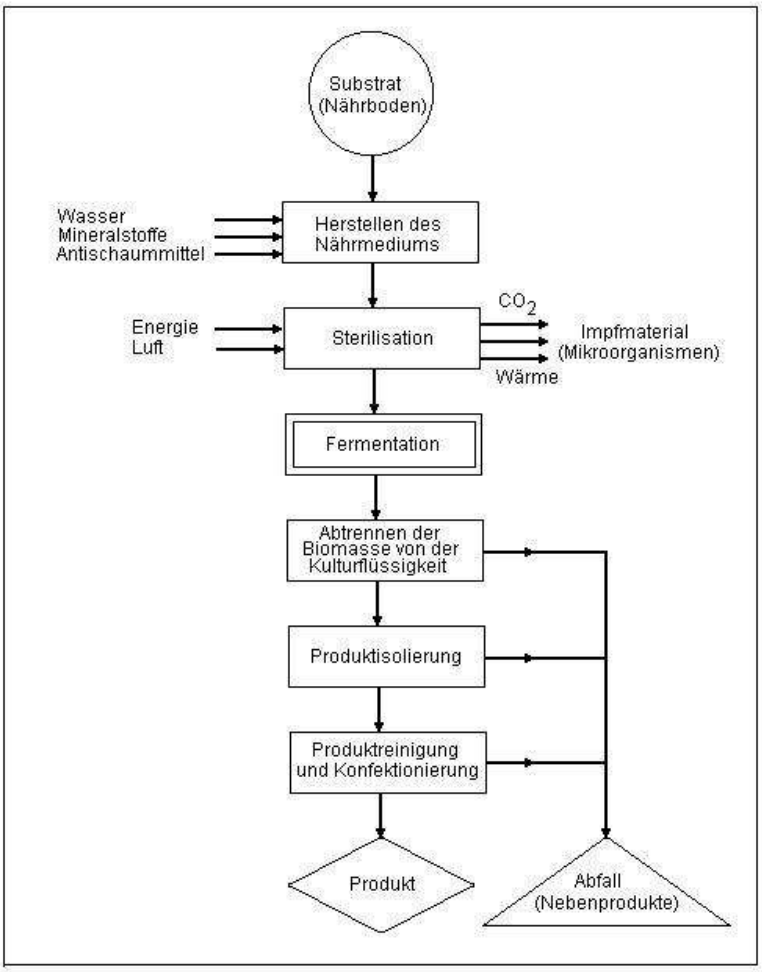


Abb. 8.10. Ablauf eines biotechnologischen Verfahrens

Der technologische Prozess im Fermenter wird als *Fermentation* bezeichnet. Dieser Begriff fasst die Vielfalt biochemischer Prozesse zusammen. Ihrem Wesen nach sind sie biokatalytische Kettenreaktionen, die in den Zellen der Mikroorganismen genetisch gesteuert ablaufen und das Substrat schrittweise in das Produkt überführen. Bei den Gärungsprozessen bewirken von Mikroorganismen ausgeschiedene Fermente die Substratumwandlung.

Fermentationsprozesse verlaufen unter Normaldruck und Temperaturen zwischen 20 und 40 °C. Der daraus resultierende geringe Energieaufwand wird allerdings durch den relativ hohen Aufwand für Belüftung und Rühren der Reaktionsmasse weitgehend kompensiert. Die erfolgreiche Produktion erfordert sterile Arbeitsbedingungen im Reaktor.

Die Prozesse weisen eine hohe Spezifität und damit eine hohe Reinheit der Produkte auf, weil das System der Biokatalysatoren in der Regel jeweils nur eine einzige, genau definierte Reaktion in einer langen Synthesekette katalysiert und damit ein ganz spezifisches Produkt entstehen lässt. Die Prozesse sind allgemein abproduktarm. Sie können darüber hinaus in vielfältiger Weise Abfallprodukte und Sekundärrohstoffe als Ausgangsmaterial nutzen. Weil die Nährlösungen im Allgemeinen nur Substratkonzentrationen weit unter 50% aufweisen, werden hohe Anforderungen an die Trennverfahren gestellt, was aufwendige Trennanlagen für die Produktaufbereitung verlangt.

Pharmazeutische Industrie

* Herstellung von Antibiotika
* Vitaminherstellung (B 12)
* Gewinnung von monoklonalen Antikörpern
* Gewinnung von Vakzinen, Seren und Interferonen

Lebensnittelindustrie

* Klassische biotechnologische Produkte
  Bier, Wein, Essig, Käse, Butter, Sauergemüse
* Backhefeproduktion
* Herstellung von Genußsäuren (Zitronen-, Wein-, Milchsäure)
* Herstellung von Aromen
* Enzymatische Stärkespaltung zu Fruktose
* Zartmachen von Rindfleisch durch das Ferment Protease
* Enzymeinsatz bei der Herstellung von Obst- und Gemüsesäften zur Erhöhung der Ausbeute und Qualität

Chemische Industrie

* Fermentative Äthanolgewinnung (bei Einsatz von Kohlehydraten und Sulfitablaugen)
* Gewinnung organischer Zwischenprodukte (Butanol, Azeton)
* Produktion von Biotensiden zur Ablösung phophathaltiger Waschmittel
* Mikrobielle Erzlaugung (Haldenlaugung, Untertagelaugung) zur Anreicherung nicht abbauwürdiger Erze (Kupfer, Uranium)

Landwirtschaft

* Produktion und Einsatz von Rhizobiumpräparaten (Knöllchenbakterien) zur Aktivierung der Luftstickstoffbindung bei Leguminosen
* Mikrobielle Verwertung landwirtschaftlicher Abprodukte (Kompostierung, Pilzproduktion, Biogaserzeugung)
* Gewinnung und Einsatz von Wachstumsregulatoren aus Kulturfiltraten von Pilzen und Bakterien
* Biotechnologische Futtereiweißherstellung durch Molkeverhefung, mikrobieller Strohaufschluß
* Futtersilierung

Umweltschutz

* Biotechnologische Abwasseraufbereitung zur Schadstoffbeseitigung
* Enzymatische Schlammstabilisierung zur Erhöhung der Wirksamkeit der Abwasserreinigung
* Biologische Abluftreinigung

Tabelle 8.15. Anwendungsgebiete biochemischer Prozesse

Innerhalb der biochemischen Produktionsprozesse können zwei Prozessgruppen unterschieden werden:

- die *Zelltechnologie*, durch die eine Biomasseproduktion aus einfachen Rohstoffen und Abprodukten durch Stoffwechselprozesse in den eingesetzten Mikroorganismen erfolgt,
- die *Enzymtechnologie*, bei der die Stoffwandlung durch Biokatalysatoren (Biokatalyse) erreicht wird, die von den Mikroorganismen ausgeschieden wurden.

Den Ablauf eines biotechnologischen Produktionsprozesses zeigt Abb. 8.10.

Aus dem Fließschema ist ersichtlich, dass die Fermentation der Hauptprozess im Verfahrensablauf ist aber eine Vielzahl weiterer Verfahrensschritte für die Produktgewinnung durchlaufen werden müssen.

Tabelle 8.15. gibt eine Übersicht über die Anwendungsbreite biochemischer Prozesse.

8.10.4. Der Prozesstyp Strahlungschemische Prozesse

Ähnlich wie durch thermische Energie können Stoffwandlungsprozesse auch durch Strahlungsenergie ausgelöst und bewirkt werden. Sie werden als strahlungschemische Prozesse bezeichnet. Das grundlegende Prinzip dieses Typs chemisch-technologischer Prozesse besteht darin, die chemische Aktivierung der Reaktanden durch Strahlungseinwirkung zu initiieren. Die Bindungskräfte zwischen den Atomen werden unter dem Einfluss der Strahlung gelockert bzw. aufgebrochen.

Um den Mechanismus dieser Aktivierung zu verstehen, muss man sich vergegenwärtigen, dass jedes Atom bzw. jede Atomgruppe in einem Molekül ein Schwingungssystem mit ganz charakteristischen Schwingungsfrequenzen darstellt. Trifft eine Strahlung auf ein solches Molekül, so kann sie dieses Schwingungssystem "aufschaukeln" und schließlich ganz aufbrechen, wenn die auftreffende Strahlung in Resonanz mit dem Schwingungssystem der Moleküle steht. Die Bindungen innerhalb eines Moleküls werden deshalb nicht, wie beim thermischen Aktivieren zunächst an der schwächsten Stelle aufgebrochen, sondern an den mit der Strahlung in Resonanz stehenden. Auf diese Weise können auch sehr stabile Bindungen aufgebrochen und aktive Molekülbruchstücke (Radikale) erzeugt werden.

Die strahlungschemischen Prozesse werden erst in jüngster Zeit technologisch genutzt. Das ganze Gebiet befindet sich im Anfangsstadium, aber in einer sehr stürmischen Entwicklung, die z.T. völlig neue Möglichkeiten der Stoffwandlung eröffnet.

Nach der Art der verwendeten Strahlung lassen sich nach dem gegenwärtigen Stand der Entwicklung 4 Prozessgruppen unterscheiden:

- photochemische Prozesse
- gammastrahlungschemische Prozesse
- elektronenstrahlungschemische Prozesse
- laserchemische Prozesse.

Die *photochemischen Prozesse* sind bereits seit längerem bekannt. Sie beruhen darauf, dass Atome und Moleküle Licht bestimmter Wellenlänge absorbieren und damit in einen angeregten Zustand versetzen. In den Pflanzen werden auf diese Weise Zucker, Stärke, Zellulose und andere organische Substanzen synthetisiert. Wenn es bisher auch nicht gelungen ist, solche Photosynthesen außerhalb der Pflanzen durchzuführen, so sind doch eine Reihe anderer photochemischer Prozesse wegen ihrer Selektivität, ihrer hohen Quantenausbeute und der darauf beruhenden günstigen ökonomischen Realisierbarkeit technologisch genutzt.

Als Beispiele nennen wir:

- die Photochlorierung von Benzen zu Hexachlorcyclohexan (Kontaktinsektizid Lindan)
- die photoinitiierte Sulfochlorierung von Alkanen ($C_{12...20}$) zur Herstellung von Sulfochloriden ("Mersole" als Rohstoffe für Wasch-, Spül- und Netzmittel)
- die photochemische Nitrosierung von Cyclohexan mittels Nitrosylchlorid zu Zwischenprodukten der Polyamidproduktion (Caprolactam)
- die Photopolymerisation von Plastprodukten, lichthärtenden Lacken, von Kleb- und Füllstoffen
- die photochemische Teil- bzw. Vollsynthese von Vitamin D_2 aus Ergosterol und von Vitamin B_{12}.

Bei den *gammastrahlungschemischen Prozessen* wird die sehr energiereiche Gammastrahlung (10^6 eV) von Radionukleiden (insbesondere Cs^{137}, Sr^{90}, Co^{144}, Ru^{106}) zur Auslösung von Stoffwandlungsprozessen eingesetzt.

Diese Strahlung eignet sich vor allem dazu, aktive Zentren mit erhöhter Reaktionsfähigkeit an Feststoffgrenzflächen zu schaffen, die mit anderen Mitteln nicht erreichbar sind. Einsatzfelder sind vor allem die Initiierung von Polymerisationsreaktionen und Kettenreaktionen. Von besonderem Interesse ist die Möglichkeit, chemische Bindungen zwischen anorganischen (aber auch organischen) Feststoffen und hochpolymeren organischen Gerüstbaustoffen herzustellen. Als Beispiele seien die Vernetzung von glasfaserverstärkten Harzen sowie die Herstellung von "Polymerbeton" oder "Polymerholz" genannt. Die Ausgangsstoffe werden bis zu 40% ihrer Masse mit polymerisationsfähigen Monomeren getränkt, welche dann durch Strahlungseinwirkung polymerisiert werden.

Technologische Einsatzfelder gammastrahlungschemischer Prozesse sind:

- Initiierung von Kettenreaktionen
- Vernetzung von Kettenpolymeren
- Pfropfpolymerisation
- Herstellen von Polymerbeton und Polymerholz
- Herstellen von Verbundwerkstoffen durch chemische Bindung zwischen anorganischen Füllstoffen und organischer Polymermatrix.

Hochbeschleunigte Elektronenstrahlen (mit Energien zwischen 100 000 und 3 000 000 Elektronenvolt) können die Aktivierung von Reaktionspartnern ebenfalls bewirken. Die dadurch ausgelösten Reaktionen werden *elektronenstrahlungschemische Prozesse* genannt. Der Reaktionsmechanismus ist ähnlich wie bei den gammastrahlungschemischen Prozessen. Unter dem Einfluss der Strahlung bilden sich bei den bestrahlten Substanzen in einer Primärreaktion angeregte Moleküle, freie Radikale und Ionen. Sie sind außerordentlich reaktionsfähig und instabil. Die auftretenden Sekundärreaktionen sind vielfältiger Art. Die Primärprodukte können zerfallen, miteinander oder mit den Molekülen der Ausgangsstoffe reagieren.

Gammastrahlungschemische und elektronenstrahlungschemische Prozesse weisen eine Reihe von Gemeinsamkeiten auf:

- sie können bei relativ niedrigen Temperaturen durchgeführt werden
- die Veränderung der Moleküle durch die Strahlung ist unselektiv, d.h. alle an einem Molekül theoretisch möglichen Ionenbildungen, Radikalbildungen und Anregungszustände können auftreten
- die Bestandteile eines Mehrstoffsystems werden alle zu gleichen Anteilen zersetzt. Keine Komponente ist bevorzugt.

Auf Grund der unterschiedlichen Eigenarten beider Strahlungen ergeben sich aber verschiedenartige Einsatzgebiete. Gammastrahlen besitzen eine hohe Durchdringungsfähigkeit und werden deshalb bei der Umwandlung kompakter Ausgangsstoffe eingesetzt. Elektronenstrahlen haben nur eine geringe Reichweite und Eindringtiefe. Sie eignen sich deshalb vor allem für die Bestrahlung flächiger Gebilde (Folien, Textilbahnen). Das gegenwärtig wichtigste Anwendungsgebiet ist die strahlenchemisch initiierte Polymerisation zur Erzeugung hochmolekularer Werkstoffe (Abb.8.11.).

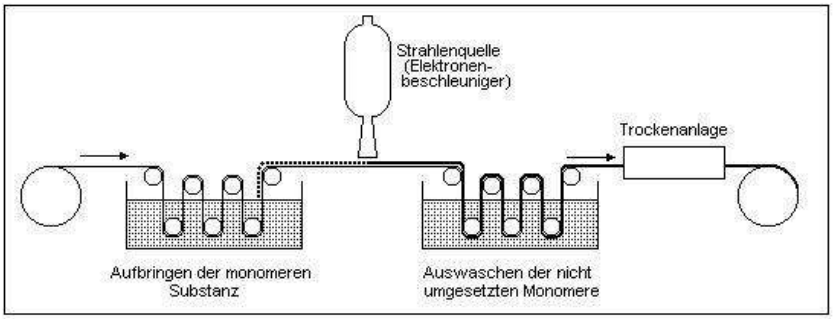


Abb. 8.11. Prinzip der strahlungschemisch initiierten Pfropf-Copolymerisation

Laserchemische Prozesse basieren auf der Ausnutzung von Licht, das in Quantengeneratoren (Lasern) erzeugt wird. Dieses Licht besitzt eine einheitliche Wellenlänge und kann auf kleinstem Raum gebündelt werden, so dass eine außerordentlich hohe Energiedichte entsteht. Diese Eigenschaften des Laserstrahls ermögli-

chen es, Moleküle an einer vorher bestimmten (mit der Frequenz des Laserstrahls in Resonanz stehenden) Stelle aufzubrechen. Dabei ist es möglich, solche Atomgruppen zu aktivieren, die auf thermischem Wege nicht reagieren könnten.

Im Unterschied zu den gamma- und elektronenstrahlenchemischen Prozessen kann hier die Stoffwandlung ganz gezielt und selektiv erfolgen. Je nach der gewählten Frequenz des Laserstrahls werden ganz bestimmte Reaktionen ausgelöst. Die großtechnische Nutzung dieser Prozesse steht noch aus, sie verspricht aber große Perspektiven. Tabelle 8.16. gibt eine zusammenfassende Übersicht über die strahlungschemischen Prozessgruppen und einige ihrer Merkmale.

Prozeßgruppe	Art der Strahlungsenergie	Merkmale
Photochemische Prozesse	Lichtstrahlung	Hohe Selektivität
Gammastrahlungs-chemische Prozesse	Gammastrahlung	Hohe Eindringtiefe, kompakte Form der Ausgangsstoffe
Elektronenstrahlungs-chemische Prozesse	Elektronenstrahlen	Unselektiv, geringe Eindringtiefe, Bearbeitung flächiger Teile
Laserchemische Prozesse	Laserstrahlen	Hohe Selektivität

Tabelle 8.16. Strahlungschemisce Prozesse

8.10.5. Der Prozesstyp Mechanochemische Prozesse

Ähnlich wie bei den strahlungschemischen Prozessen führt auch die Einwirkung mechanischer Energie auf Stoffe in fester Phase zu angeregten Molekülzuständen, die Stoffwandlungsprozesse auslösen können.

In der Klasse der Stoffformungsverfahren hatten wir bereits stoffeigenschaftsändernde Verfahren durch Aufhebung des Stoffzusammenhalts vorgestellt (vgl. Kap.4.8.). Während dort aber die Eigenschaftsänderung nicht mit einer durchgreifenden chemischen Umwandlung der Arbeitsgegenstände verbunden war, entstehen durch mechanochemische (tribochemische) Prozesse neue chemische Produkte.

Obwohl die Anregung chemischer Reaktionen durch mechanische Energie seit längerem bekannt ist, fand sie erst in den letzten Jahrzehnten ihre technologische Anwendung.

Die mechanische Aktivierung der Moleküle kann ausgelöst werden durch:

- Walzen und Zerreiben (mechanische Einwirkungen niederer Frequenz)
- Zerkleinern und Zerreiben (mechanische Einwirkung hoher Frequenz)
- Ultraschallschwingungen in flüssigen Medien
- elektrohydraulische Stöße in flüssigen Medien

Charakteristische Arbeitsmittel der Mechanochemie sind Walzen, Schwingmühlen, Ultraschallgeneratoren, Strahlmühlen, Intensivrührer.

Der energetische Wirkungsgrad mechanochemischer Prozesse ist noch sehr gering. Durch Einsatz von Mahlhilfsmitteln und Zusatz grenzflächenaktiver Stoffe kann der Energieaufwand herabgesetzt werden. Der aktivierte Zustand der Stoffe bleibt nur begrenzte Zeit erhalten (von Minuten bis zu Tagen).

- Technologische Anwendung haben mechanochemische Verfahren bisher in der Baustoffproduktion und im Trockenaufschluss von Rohphosphat (Tribophos)
- Aufschluss von Erzen und Bauxit
- Verwertung metallurgischer Schlacken
- Herstellen von Baustoffen auf $CaSiO_2$-Basis.
- Erzaufschluss gefunden:
- Herstellung schnell abbindender Zemente

Literatur

8.1 Technik, Chemische Technik (Berlin), Heft 5/1972
8.2 H. Wolffgramm: Allgemeine Begriffe und Prinzipien der chemischen Produktion, Berlin 1961
8.3 W.J. Müller: Über eine technologische Einteilung der chemischen Reaktionen und ihre Bedeutung für den chemisch-technischen Unterricht, Die chemische Fabrik, Heft 6/1933
8.4 A. Wartenberg: Einführung in die Biotechnologie, München 1989
8.5 G. Gruhn / W. Fratscher: Einführung in die Verfahrenstechnik, Leipzig 1975
8.6 Autorenkollektiv, Technische anorganische Chemie, Leipzig 1978
8.7 F. Matthes / G. Wehner: Anorganisch-technische Verfahren, Leipzig 1964
8.8 W. Schade: Einführung in die chemische Technologie, Berlin 1974
8.9 F.A. Henglein: Grundriss der chemischen Technik, Weinheim/Bergstr. 1949
8.10 W. Brötz: Grundriss der chemischen Reaktionstechnik, Weinheim/Bergstr. 1958
8.11 H.H. Franck: Chemische Verfahrenstypen und ihre Apparatur, Achema-Jahrbuch 1926/27, Berlin 1927
8.12 D.W. van Krevelen, Probleme der technischen Reaktionsführung, Chemie-Ingenieur-Technik (Weinheim/Bergstr.), Heft 3/1955
8.13 F. Matthes: Zur Systematik der chemischen Technologie, Chemische Technik (Berlin), Hefte 10-12/1959
8.14 F. Wicke: Physikalisch-chemische Gesichtspunkte für eine Systematik der technischen Reaktionsverfahren, Zeitschrift für Elektrochemie, Heft 7/1953
8.15 W. Schirmer: Wirkprinzipien und chemische Technik, Chemische Technik (Berlin), Heft 5/1972

9. Energieändernde Bearbeitungsvorgänge

9.1. Energie als Arbeitsgegenstand

Erst in jüngster Zeit setzt sich in der Technologie die Erkenntnis durch, Energie ebenso wie Stoffe Energie als Arbeitsgegenstand aufzufassen. Dabei ist die Energiewirtschaft seit über einem Jahrhundert ein selbständiger Wirtschaftszweig. Das Produkt energetischer Produktionsprozesse, die Endenergie, wird in Form des elektrischen Stromes, als Gas, als Heizöl, als Treibstoff, als Heißwasser, als Dampf usw. an die Verbraucher abgegeben. Die Produkte der Energiewirtschaft sind also Produkte menschlicher Arbeit, sie befriedigen gesellschaftliche und individuelle Bedürfnisse und sind für den Austausch bestimmt. Damit trägt die Energie Warencharakter wie die Erzeugnisse anderer Volkswirtschaftszweige.

Innerhalb der energetischen Produktionsprozesse muss demnach Energie als Arbeitsgegenstand auftreten. Das Problem, das mit diesem Sachverhalt verbunden ist, besteht darin, dass in den technologischen Vorgängen nicht primär die Energie "bearbeitet" wird, sondern die jeweiligen Energieträger. Es sind also streng genommen die Energieträger, die als Arbeitsgegenstände energieändernder Bearbeitungsvorgänge fungieren.

Energie ist - ebenso wie die Masse - eine fundamentale Eigenschaft der Materie, und zwar sowohl ihrer stofflichen als auch ihrer feldförmigen Erscheinungsformen. Das bedeutet, dass Energie immer an Materie gebunden ist, und dass umgekehrt keine Form der Materie ohne Energie existiert. Physikalisch wird Energie als Fähigkeit eines materiellen Systems definiert, unter bestimmten Bedingungen Arbeit leisten zu können. Arbeit W im physikalischen Sinn wird verrichtet, wenn auf einen Körper eine Kraft F längs eines Weges s wirkt ($W = F \cdot s$). Arbeitsvorgänge im physikalischen Sinn sind auch Vorgänge, bei denen Körper verformt werden. Um die Verformung zu bewirken, muss eine Kraft aufgebracht werden, die die Adhäsions- und Kohäsionskräfte zwischen den Teilchen der Körper überwindet.

Energie tritt in verschiedenen Arten und Formen auf. Die wichtigsten *Energiearten* sind die mechanische Energie, die Wärmeenergie, die chemische Energie, die Strahlungsenergie und die Kernenergie. Innerhalb der einzelnen Energiearten lassen sich verschiedene *Energieformen* unterscheiden. Die elektrische Energie tritt als Wechselstrom- und Gleichstrom in Erscheinung. Wechselstrom kann nieder- oder hochfrequent sein, Strahlungsenergie kommt als Lichtstrahlung, als Laserstrahlung oder auch als Infrarotstrahlung zur technischen Anwendung.

Die einzelnen Energiearten lassen sich ineinander umwandeln. Aufgabe der Energietechnologie ist es, diese Wandlungsprozesse technisch zu realisieren, die für die Durchführung der Produktionsprozesse benötigten Energiearten und -formen in ausreichender Menge bereitzustellen sowie den Energiebedarf in den anderen gesellschaftlichen Bereichen und für den individuellen Konsum zu sichern.

Für die Energietechnologie stehen deshalb die Wandlungsfähigkeit der verschiedenen Energiearten und ihre produktive Nutzbarkeit im Mittelpunkt des Interesses. Da aber jede Energiewandlung mit mehr oder weniger hohen Verlusten verbunden ist, muss der jeweilige Wirkungsgrad der Energiewandlung ein wesentlicher Aspekt der Energietechnologie sein. Neben der Energiewandlung sind die Umformung, der Transport und die Speicherung der Energie Aufgaben der Energietechnologie.

Wir haben festgestellt, dass Materie immer mit Energie verbunden ist. Das besagt aber nicht, dass jede Form der Materie technisch nutzbare Energie enthält. Die in den Stoffen, in Strahlung und Feldern enthaltene Energie lässt sich nur zum Teil in nutzbare Arbeit umwandeln. Dabei wird der unbeschränkt umwandelbare und damit technisch nutzbare Anteil eines Energievorrats als freie Energie oder *Exergie* bezeichnet, während der nicht in technisch verwertbare Arbeit umwandelbare Anteil die *Anergie* darstellt. Energieträger und Energiequellen sind demnach materielle Systeme, die Exergie enthalten.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass die Energie in dem Sinne Arbeitsgegenstand ist, dass durch die technologischen Bearbeitungsvorgänge der Energiewirtschaft die in den Energieträgern und Energiequellen enthaltene Exergie freigesetzt und in technologisch nutzbare Energiearten und -formen übergeführt wird.

9.2. Energetisierung der Produktion

Energie ist eine der notwendigen Bedingungen jedes Produktionsprozesses. Bei jeder Arbeit muss Energie aufgewendet werden. Deshalb ist jede gezielte Veränderung von Arbeitsgegenständen mit einem Verbrauch technisch nutzbarer Energie verbunden, d.h. dass die zugeführte Energie als freie Energie verloren geht. Während die Energie innerhalb der Produktionsprozesse der Energiewirtschaft vor allem als Arbeitsgegen-

stand auftritt, fungiert sie in allen anderen Produktionsprozessen als Mittel zur Realisierung von Bearbeitungsvorgängen. Dabei wirkt sie als Operationsenergie und als Hilfsenergie

Als *Operationsenergie* wird die für die Veränderung des Arbeitsgegenstandes aufzuwendende Energie bezeichnet. Die *Hilfsenergie* dient zur Durchführung von Kontroll- und Steuerungsvorgängen (Steuerungsenergie), zum Positionieren der Arbeitsgegenstände (Zuführen, Spannen, Lageändern) oder zur Gewährleistung anderer Hilfsfunktionen (z.B. Kühlmittelumlauf). Die vielfältigen Funktionen der Energie innerhalb des Produktionsprozesses sind in Abb. 9.1. dargestellt.

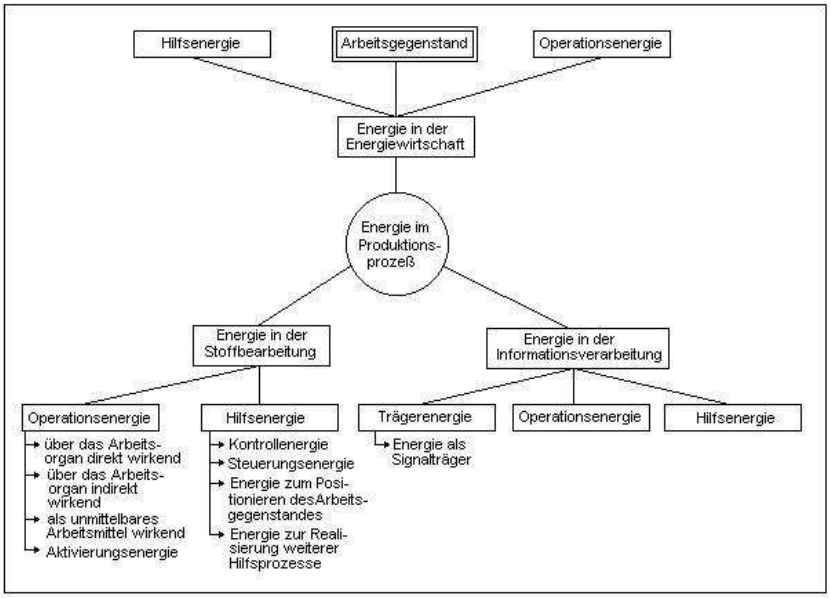


Abb. 9.1. Funktionen der Energie im Produktionsprozeß

Technischer Fortschritt war und ist immer mit einer Ausweitung der Nutzung natürlicher Energiequellen verbunden. Jede große Umwälzung in der Geschichte der Produktivkräfte war zugleich begleitet von der Nutzbarmachung neuer Naturkräfte und neuer Energiequellen. Zu jedem Entwicklungsstand der Produktivkräfte gehörte auch ein ganz bestimmtes Niveau der Energienutzung.

In der Menschheitsgeschichte hat der Bedarf an Energie mit der zunehmenden Technisierung der menschlichen Arbeit und der Ausweitung der Produktion ständig zugenommen. Gegenwärtig, in einer Zeit der stürmischen Entwicklung von Technik und Produktion, steigt der Bedarf besonders schnell an und die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte lassen nicht erwarten, dass in absehbarer Zeit eine Sättigung des Energiebedarfs eintreten wird. Aber nicht nur der quantitative Energiebedarf ist ständig gewachsen. Zugleich ist auch eine ständige Verschiebung des Anteils der verfügbaren Energiearten am Gesamtenergieaufkommen zu beobachten. Abb.9.2. gibt einen Überblick über den Anteil der einzelnen Energiearten am Gesamtenergieaufkommen in den verschiedenen historischen Epochen.

In der Menschheitsgeschichte lässt sich nachweisen, dass die Produktivität der Arbeit in dem Maße stieg, wie es dem Menschen gelang, seine eigene physische Arbeitskraft durch die Nutzung außermenschlicher natürlicher Energiequellen zu ergänzen und zu vergrößern.

Die wichtigsten Entwicklungsschritte auf dem Wege der Inbesitznahme und Nutzung natürlicher Energiequellen sind:

- der Gebrauch des Feuers
- die Nutzung der tierischen Zugkraft
- die Nutzung der Wind- und Wasserkraft
- die Einführung der Dampfmaschine in die Produktion
- die Verkokung und Vergasung der Kohle
- die technische Nutzung der Elektroenergie
- die Produktion flüssiger Brenn- und Treibstoffe verbunden mit der Einführung von Verbrennungskraftmaschinen (Kolbenmotoren, Gasturbinen, Strahltriebwerke)
- der Einsatz von Wasser- und Dampfturbinen
- die technische Nutzung der Kernenergie.

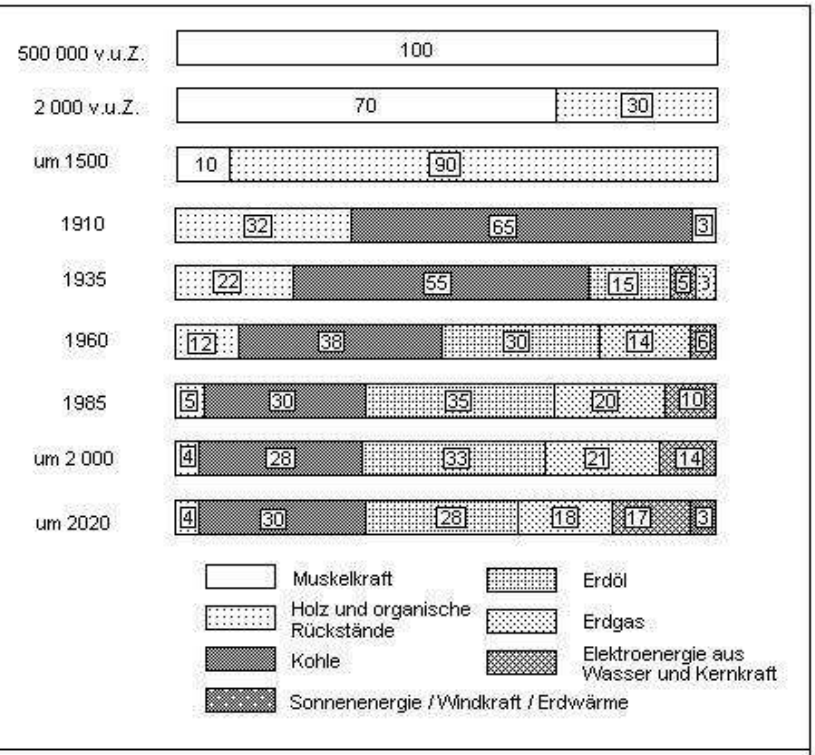


Abb. 9.2. Anteile der einzelnen Energiequellen am Gesamtaufkommen in den einzelnen historischen Epochen

Diese Entwicklung ist auch heute noch nicht abgeschlossen. Sie geht in die Richtung der Erschließung neuer Energiequellen, insbesondere der Entwicklung technischer Möglichkeiten der Kernfusion, aber auch der breiteren technischen Nutzung von Sonnenenergie, der Windkraft und der Erdwärme. Andererseits verläuft die technische Entwicklung zur Deckung des weiter wachsenden Energiebedarfs in die Richtung der Nutzung neuer Prinzipien der Energiewandlung mit höheren Wirkungsgraden. Diese Tendenz wird durch den Begriff der Energiedirektumwandlung charakterisiert. Durch den Einsatz von MHD-Generatoren lässt sich der Wirkungsgrad der Energieumwandlung in den herkömmlichen Wärmekraftwerken beispielsweise von etwa 40% auf 60% steigern. Andere Lösungen im Bereich der Energiedirektumwandlung deuten sich über thermoelektrische Reaktoren und elektrochemische Brennstoffzellen an.

Eine der Hauptrichtungen der gegenwärtigen wissenschaftlich-technischen Revolution ist die *Energetisierung der Produktion.* Wir verstehen darunter die umfassende Anwendung der Energie zur Realisierung von Bearbeitungsvorgängen, insbesondere durch

- die Ablösung unmittelbar manueller menschlicher Arbeit durch den Einsatz außermenschlicher, natürlicher Energie in Verbindung mit technischen Systemen (diese Tendenz wird allgemein als Mechanisierung bezeichnet)
- durch die zunehmende Automatisierung der Produktion durch den Einsatz von Informationsenergie
- durch die technologische Nutzung der Energie als unmittelbares Arbeitsmittel.

Der Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Produktivität der menschlichen Arbeit und der Energetisierung wird durch eine Reihe von Faktoren gekennzeichnet:

- Die zunehmende Energetisierung führt im Zusammenwirken mit der Weiterentwicklung der Produktionstechnik zur Verringerung des Anteils der lebendigen Arbeit im Produktionsprozess.
- Die technologische Nutzung der Energie als unmittelbares Arbeitsmittel führt zur Verkürzung der Bearbeitungszeiten, zur Materialeinsparung und zur Qualitätsverbesserung der Produkte.
- Die im Zusammenhang mit der weitgehenden Herauslösung des Menschen aus dem unmittelbaren Produktionsprozess stehende Energetisierung der Informationsprozesse reduziert negative subjektive Einflüsse, erhöht die Kontinuität der Produktion und verbessert zugleich die Arbeitsbedingungen.

Die Energetisierung der Produktion bedingt ein rasches Wachstum des Energiebedarfs, das einige charakteristische Entwicklungstendenzen aufweist. So sinkt bei wachsendem absoluten Bedarf infolge des Trends zur Intensivierung der Produktionsprozesse der spezifische Energieaufwand pro Produkteinheit ständig (vgl. Abschnitt 16). Ein zweiter Entwicklungstrend betrifft Veränderungen in der Struktur des Endenergiebedarfs der einzelnen Verbrauchergruppen (Abb.9.3.). So zeigt in den letzten Jahrzehnten auf Grund der schnell wachsenden technischen Ausstattung der Haushalte diese Verbrauchergruppe einen überproportional ansteigenden Energiebedarf, der in seiner Höhe den Bedarf der Industrie erreicht hat. Dieser Bedarf steigt weiter, ohne dass eine Sättigung abzusehen ist.

Ein weiterer Entwicklungstrend betrifft den Strukturwandel bei den Endenergieträgern. Hier ist eine Zunahme des Anteils der universell und rationell einsetzbaren Elektroenergie zu beobachten. Bei den Primärenergieträgern werden die traditionellen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas auch in den nächsten Jahrzehnten eine bedeutende Rolle in der Energiewirtschaft spielen. Darüber hinaus werden Kernbrennstoffe eine zunehmende Rolle in der Energiebilanz spielen. Die Entwicklung wird insgesamt von der immer besseren Nutzung aller verfügbaren Primärenergiequellen unter Einschluss der Sonnenenergie, der Windkraft und der Erwärme gekennzeichnet sein.

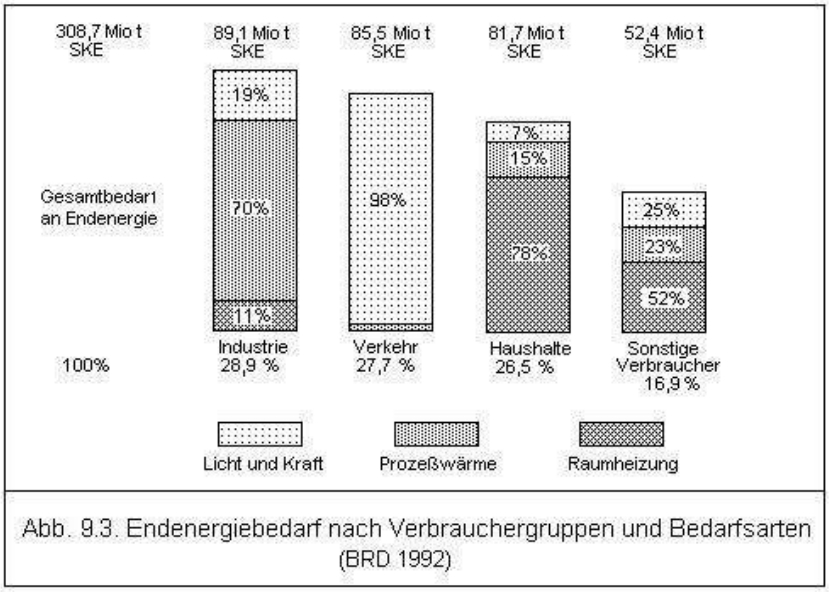


Abb. 9.3. Endenergiebedarf nach Verbrauchergruppen und Bedarfsarten (BRD 1992)

9.3. Charakteristik energieändernder technologischer Vorgänge

Ähnlich wie bei den stoffändernden technologischen Vorgängen unterscheiden wir auch innerhalb der energieändernden Vorgänge formändernde und strukturändernde Vorgänge.

Die Klasse der *Energieumformungsverfahren* umfasst die Gesamtheit der Bearbeitungsvorgänge, die an energetischen Arbeitsgegenständen Parameteränderungen bewirken, ohne dass dabei die Energieart verändert wird, bzw. verschiedene Energieformen innerhalb einer Energieart ineinander überführen.

Solche Energieumformung findet beispielsweise in jedem Getriebe statt. Mechanische Energie mit bestimmten Eingangsgrößen wird durch das Getriebe in ihren Parametern verändert (Drehzahl, Drehmoment, Überführung translatorischer in Rotationsbewegung). Die mechanische Energie bleibt dabei als solche erhalten. In analoger Weise kann elektrische Energie in ihren Parametern Spannung, Stromstärke oder Frequenz durch Umformungsverfahren verändert werden.

Die *Energiewandlungsprozesse* werden durch die Veränderung der Energieart charakterisiert.

Im Elektromotor wird elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt. Ein Widerstandsofen wandelt elektrische in thermische Energie um und ein Kernreaktor setzt Wärmeenergie durch Umwandlung von Kernenergie frei. Gemeinsames Merkmal aller Energiewandlungsprozesse ist, dass die am Beginn vorliegende Energieart in eine andere umgewandelt wird.

9.4. Grundbegriffe und Grundgesetze

Die *Energiewirtschaft* ist ein Bereich des Wirtschaftslebens, der die Energieversorgung und die Energienutzung umfasst.

Die *Energieversorgung* hat die Aufgabe, durch eine effektive Gewinnung der natürlichen Primärenergieträger, ihre wirtschaftliche Umwandlung und Übertragung Endenergie (Gebrauchsenergie) bereitzustellen und damit den gesellschaftlichen und individuellen Bedarf an Nutzenergie zu befriedigen.

Als *Energiequellen* bezeichnet man die in der Natur vorzufindenden materiellen Systeme, aus denen der Mensch technisch nutzbare Energie gewinnen kann. Transportfähige Energiequellen werden als *Energieträger* definiert. Dabei unterscheidet man zwischen *Primärenergieträgern* (das sind die von der Natur unmittelbar dargebotenen) und *Sekundärenergieträgern*. Letztere sind stoffliche Systeme, die zugeführte Energien zu speichern vermögen und den Transport an den Ort ihrer Nutzung gestatten. (Heißwasser, Dampf, Druckluft, Druckflüssigkeiten).

Durch die energieändernden technologischen Vorgänge wird die in den Primärenergieträgern enthaltene Energie umgeformt und umgewandelt. Sie verlässt die Energiewirtschaft als *Endenergie (Gebrauchsenergie)*. Wichtige Endenergieträger sind die Elektroenergie, Stadtgas, Briketts, Heißwasser, Dampf, Heizöl und Treibstoffe. Die unmittelbare Anwendungsform der Energie ist die *Nutzenergie*. Bedeutsame Nutzenergiearten sind Wärmeenergie, mechanische Energie und Lichtenergie. Sie werden über verschiedene Endenergieträger bereitgestellt. Eine Übersicht über die Nutzungsstufen der Energie gibt Tabelle 9.1.

Primärenergie	Endenergie	Nutzenergie
Naturgegebene Energieformen	Anwendungsgerechte Energieformen	Prozeßwirksame Energieformen
Vermögensenergie Kohle, Erdöl, Erdgas, Kernbrennstoffe Einkommensenergie Sonnenstrahlung, Windenergie, Wasserkraft, Erdwärme	Thermische Energie Heißwasser, Dampf Elektrische Energie Chemische Energie Kraftstoffe, Ferngas, Koks, Briketts	Wärmeenergie Mechanische Energie Strahlungsenergie Elektroenergie (elektrochemische Prozesse)

Tabelle 9.1. Nutzungsstufen der Energie

Für das Verständnis der Energiewandlungsprozesse sind zwei fundamentale Naturgesetze von entscheidender Bedeutung. Das *Gesetz von der Erhaltung der Energie* (1. Hauptsatz der Thermodynamik) besagt, dass Energie weder erzeugt noch vernichtet werden kann. Energie kann immer nur von einer Art in eine andere umgewandelt bzw. von einer Form in eine andere umgeformt werden. Daher bleibt in einem abgeschlossenen System die Gesamtenergie stets konstant.

$$\frac{d\,(E + Q)}{dt} = 0 \qquad \text{bzw. } (E + Q) = \text{const.} \quad (E = \text{Energie} \quad Q = \text{Wärme})$$

Technologisch bedeutet das, dass eine Maschine nur soviel Arbeit leisten kann, wie wir ihr an Energie zuführen. Es kann also kein technisches System geben, dem wir mehr Energie entnehmen können als wir ihm zuführen (Unmöglichkeit des perpetuum mobile erster Art).

Der *Entropiesatz* (2.Hauptsatz der Thermodynamik) besagt, dass Energiewandlungsprozesse nicht vollständig umkehrbar sind. Wärme kann nur dann in Arbeit verwandelt werden, wenn ein Temperaturgefälle vorhanden ist. Wärme geht nie von selbst von einem Körper niederer Energie auf einen Körper mit höherer Energie über.

Allen irreversiblen Vorgängen ist gemeinsam, dass ein Teil der zugeführten Energie in Wärme verwandelt wird. Dieser Energieanteil geht als freie Energie verloren, d.h. er kann keine Arbeit mehr leisten. Die Ver-

lustwärme lässt sich nicht wieder in eine nutzbare Energieform zurückverwandeln. Dieser Sachverhalt wird mit dem Begriff der *Entropie* genauer beschrieben. Die Entropie ist eine Zustandsgröße der Materie. Sie wird als Maß der Unordnung eines Systems definiert. Der Entropiesatz besagt letzten Endes, dass das Naturgeschehen in einer bestimmten Richtung verläuft, und zwar so, dass das Maß der Unordnung eines Systems (seine Entropie) stets zunimmt.

Die theoretisch erreichbare Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Arbeit hat CARNOT allgemeingültig formuliert. Für den so genannten *Carnotschen Kreisprozess* gilt, dass die Differenz der einer Wärmekraftmaschine mit einer höheren Temperatur T_1 zugeführten Wärmemenge Q_1 und der bei einer niederen Temperatur T_2 wieder ungenutzt abgegebenen Wärmemenge Q_2 die tatsächlich in Nutzarbeit umgewandelte Wärmemenge darstellt ($A = Q_1 - Q_2$). Das Verhältnis von geleisteter Arbeit (A) und aufgewandter Wärmeenergie (Q_1) ist der Wirkungsgrad η einer Wärmekraftmaschine:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Allgemein lässt sich für energieändernde Systeme der Wirkungsgrad als Quotient zwischen sekundär erzeugter Energie W_2 und primär eingegebener Energie W_1 angeben:

$$\eta = \frac{\text{sekundär erzeugte Energie}}{\text{primär eingegebene Energie}} = \frac{E_2}{E_1}$$

Der theoretische Wirkungsgrad ist bei realen energieändernden Systemen nicht zu erreichen. Außer der im Prozess naturgesetzlich auftretenden Verlustwärme Q_2 entstehen noch weitere Energieverluste, insbesondere wird ein Teil der erzeugten Arbeit durch Reibung und Wirbelbildung wieder in Wärme zurückverwandelt.

Energie tritt in zwei Grundformen auf: als potentielle Energie und als kinetische Energie. Die *potentielle Energie* ist die Speicherform der Energie. Sie besitzt statischen Charakter.

Die *kinetische Energie* ist Energie der Bewegung. Sie äußert sich als *Energiefluss*, als gerichtete Bewegung der Energie, und ist mit der Änderung energetischer Zustände verbunden. Während der technologischen Bearbeitung befinden sich die energetischen Arbeitsgegenstände immer im Zustand kinetischer Energieformen.

Der Energiefluss wird jeweils durch ein *Potentialgefälle* hervorgerufen und aufrechterhalten. Es ist spezifisch für die jeweilige Energieart (s. Tabelle 9.4.). Das Potentialgefälle ist auch der Grund dafür, dass energieändernde technologische Vorgänge ohne Zuführung von Operationsenergie ablaufen, wenn sie durch Entropiezunahme charakterisiert sind. Sie verlaufen dann entlang dem natürlichen Potentialgefälle. Da alle diese Vorgänge verlustbehaftet sind, kann man sagen, dass die Verluste im Prinzip der Operationsenergie entsprechen, die in diesen Fällen dem Arbeitsgegenstand entzogen wird.

9.5. Arbeitsgegenstände der Energietechnologie

Die der Energiewirtschaft zur Verfügung stehende Zahl von verschiedenen Arbeitsgegenständen ist relativ klein und überschaubar. Es wird zwischen Energiequellen und Energieträgern unterschieden.

Energiequellen umfassen die von der Natur dargebotenen Primärenergien. Das sind:

- fossile Brennstoffe (Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas, Ölschiefer, Torf, Holz)
- Sonnenenergie
- Wasserkraft (Kraft des fließenden Wassers, Gezeitenkraft)
- Windkraft
- nukleare Primärenergieträger (spaltbare Kernbrennstoffe, Fusionsbrennstoffe)
- Erdwärme (Heißwasser, Dampf).

Die einzelnen Energiequellen werden durch eine Reihe technologischer, technischer und ökonomischer Merkmale charakterisiert, wie Transportfähigkeit, Art ihres Anfalls und Regenerationsfähigkeit. Daraus ergibt sich die Übersicht in Tabelle 9.2.

Fossile Brennstoffe	Kernbrenn-stoffe	Wasserkraft	Windkraft	Sonnen-energie	Erdwärme
transportfähig		ortsgebunden			
bedarfsmäßiger Anfall		zwangsläufiger Anfall			
sich aufbrauchend		sich ständig erneuernd			

Tabelle 9.2. Technisch-ökonomische Merkmale der Energiequellen

Energieträger sind transportfähige Energiequellen oder stoffliche Systeme, die Energie speichern und an den Nutzungsort weiterleiten können. Wichtige Energieträger sind:

- Druckluft
- Druckflüssigkeiten
- elektrischer Strom
- Heißwasser
- feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe
- Kernbrennstoffe
- Dampf

9.6. Symboldarstellung energieändernder Vorgänge

Energieumformungsverfahren werden durch ein Quadrat symbolisiert, in das ein gestricheltes Quadrat eingezeichnet ist (Abb.9.4.a).

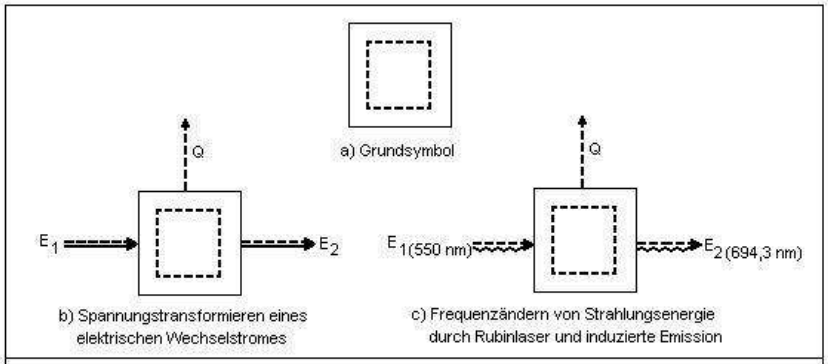


Abb. 9.4. Symboldarstellung der Energieumformungsverfahren

Der Fluss des Arbeitsgegenstandes (Hauptfluss) ist der Fluss des jeweiligen Energieträgers. Er wird als gestrichelte Linie von links an das Symbol herangeführt und rechts herausgeführt. Ist der Energieträger stofflicher Art so kann das durch eine unter der gestrichelten Linie angegebene durchlaufende Linie gekennzeichnet werden. Ist der Energieträger eine Strahlung oder ein Feld, so wird das durch eine Wellenlinie symbolisiert.

Energieverluste werden oben aus dem Symbol herausgeführt. Hilfsenergien und gegebenenfalls Hilfsstoffe werden von unten zugeführt.

Diese Grundsätze werden im Folgenden an einigen typischen Beispielen veranschaulicht. Abb.9.4.b zeigt das Spannungstransformieren eines elektrischen Wechselstroms. Elektrischer Wechselstrom einer bestimmten Spannung E_1 wird im Transformator in einen Wechselstrom anderer Spannung E_2 umgeformt. Operationsenergie (als Hilfsfluss) wird wegen des vorhandenen Potentialgefälles nicht benötigt. Die unvermeidbaren Transformatorverluste Q werden durch die oben aus dem Symbol ausgeführte gestrichelte Linie gekennzeichnet.

Ein weiteres Beispiel ist das Frequenzändern von Strahlungsenergie durch Rubinlaser und induzierte Emission. Die Symboldarstellung gibt Abb.9.4.c wieder.

Das Grundsymbol für *Energiewandlungsprozesse* ist ein Quadrat, dem ein auf der Spitze stehendes gestricheltes Quadrat eingezeichnet ist (Abb.9.5.a).

Hinsichtlich der Haupt- und Nebenflüsse gelten die gleichen Festlegungen, wie sie bei den Energieumformungsverfahren dargestellt wurden. Einige Beispiele werden im Folgenden ausgeführt.

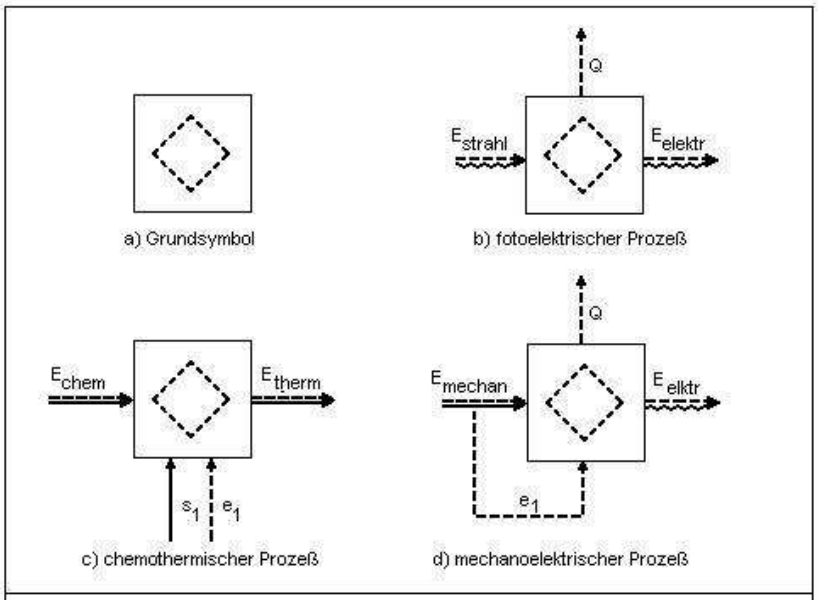


Abb. 9.5. Symboldarstellung von Energiewandlungsprozessen

Beim photoelektrischen Effekt wird in einer Fotozelle eine elektrische Spannung induziert und damit Strahlungsenergie E_{strahl} in elektrische Energie E_{elektr} umgewandelt. Operationsenergie und Hilfsenergien werden nicht benötigt. Ein Teil der einfallenden Strahlung geht als Wärme Q verloren (Abb.9.5.b).

Abb.9.5.c zeigt den chemothermischen Prozess. Die im Brennstoff enthaltene chemische Energie E_{chem} wird durch Oxydation (Verbrennung) in Wärmeenergie E_{therm} umgewandelt. Sauerstoff fungiert als Hilfsstoff s_1, zur Ingangsetzung des Prozesses wird Aktivierungsenergie e_1 benötigt.

Beim mechanoelektrischen Prozess (im Drehstromgenerator) wird mechanische Rotationsenergie E_{mech} in elektrischen Strom E_{elektr} gewandelt. Die Erregerspannung für die Elektromagneten wird als Hilfsenergie e_1 zugeführt. Es entstehen Energieverluste Q (Abb.9.5.d)

9.7. Struktur und Wirkprinzipien energieändernder Grundvorgänge

Die energietechnologischen Vorgänge verändern den energetischen Arbeitsgegenstand (den Energieträger), indem sie natürliche Effekte ausnutzen, die durch das Arbeitsorgan des energieändernden technischen Systems zielgerichtet zur Wirkung gebracht werden.

Sie weisen ebenso wie die Bearbeitungsvorgänge der anderen Klassen drei Strukturelemente auf: den Energieträger (als Arbeitsgegenstand), das Arbeitsorgan des energieändernden Systems und die energetischen Wirkbedingungen. Diese Strukturelemente werden durch die Wirkfaktoren in ihrer Spezifik näher bestimmt.

Der *Wirkfaktor Verarbeitungseigenschaften des Energieträgers* lässt sich in drei Komponenten aufgliedern:

- naturgesetzlich-energetische Größen
- technische Größen
- Trägergrößen.

Zu den *naturgesetzlichen Größen* gehören Aussagen über die energetische Antriebsgröße (Potentialgefälle) und die energetische Strömungsgröße (Volumenstrom, Elektronenstrom, Entropiestrom).

Technische Größen erfassen insbesondere Größen, die das zeitliche Verhalten des Energiestromes bestimmen (Frequenz, Leistungsfaktor).

Die *Trägergrößen* charakterisieren die Trägerart und wesentliche trägerspezifische Parameter (spezifische Wärme, Verdampfungswärme, Aggregatzustand, Viskosität usw.).

Der *Wirkfaktor Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans* konzentriert sich auf die Grundwirkform des Arbeitsorgans. Sie ergibt sich eindeutig aus dem genutzten natürlichen Effekt bzw. Wirkprinzip und ist ein Modell für die Wechselwirkung zwischen Arbeitsgegenstand und Arbeitsorgan.

Die Grundwirkform des Arbeitsorgans setzt sich im Allgemeinen aus mehreren Elementen zusammen, die oft als Wirkpaar auftreten (z.B. Stator-Rotor-System, Anoden-Kathoden-System, Leitrad-Laufrad-System). Tabelle 9.3. gibt eine Übersicht über typische Grundwirkformen energieändernder Arbeitsorgane und die zugehörigen natürlichen Effekte.

Grundwirkform des Arbeitsorgans	Natürlicher Effekt	Technologische Funktion (E_1/ E_2)
Verbrennungsrost / Wirkraum	Oxydation	Chemische Energie / Wärmeenergie
Düse / Wirkraum	Strömungsprinzip	Wärmeenergie / Mechanische Energie
Schaufelrad / Leitrad - System	Strömungsprinzip	Strömungsenergie / Rotationsenergie
Rotorwicklung / Statorwicklung	Dynamo-elektrisches Prinzip	Rotationsenergie / elektrische Energie
Rohrsystem / Behältersystem	Wärmeübergangsprinzip	Wärmeenergie / Wärmeenergie
Wicklung / Kern / Wicklung	Durchflutungsprinzip	elektrische Energie / elektrische Energie
Plasma / Leucht-schicht / Rohr	Ionisations-Fluoreszenz-Effekt	elektrische Energie / Strahlungsenergie
Emitter-Kollektor System	Sperrschichteffekt	Wechselstrom / Gleichstrom
Zahnradsysteme	Übertragungsprinzip	Drehzahländerung / mechanische Energie
Anoden-Kathoden-System	Elektrochemisches Potential	chemische Energie / elektrische Energie
Piezoelektrischer Kristall / Druckgeber	Piezoelektrischer Effekt	mechanische Energie / elektrische Energie

Tabelle 9.3. Grundwirkformen energieändernder Arbeitsorgane

Der *Wirkfaktor energetische Wirkbedingungen* ist auch bei energieändernden Vorgängen wesentliches Strukturelement, denn auch sie erfordern wie alle anderen technologischen Vorgänge einen energetischen Antrieb. Allerdings braucht im Allgemeinen keine Operationsenergie von außen zugeführt werden, da die Arbeitsgegenstände selbst die Fähigkeit zur Verrichtung von Arbeit besitzen. Unter dem Einfluss des charakteristischen Potentialgefälles liefern sie den Vorgangsantrieb, d.h. sie treiben aus ihrem Energievorrat die technischen Systeme zu ihrer eigenen Veränderung an. Diese aufgewandte Energie geht durch unvermeidliche Nebeneffekte (Reibung, Stromwärme) als Verlustwärme verloren, die sich im Wirkungsgrad ausdrückt.

Die Operationsenergieart (als Komponente der energetischen Wirkbedingungen) ist im Allgemeinen mit dem Arbeitsgegenstand identisch.

Das *Wirkprinzip* energietechnologischer Vorgänge spezifiziert sich in folgenden inhaltlichen Elementen:

- technologische Zielstellung (Ausgangs- und Endenergieart und -form)
- Platz im System der energieändernden Vorgänge
- Grundwirkform des Arbeitsorgans
- genutzte naturgesetzliche Effekte
- energetische Wirkbedingungen.

Im Folgenden wird der Grundprozess "Mechano-elektrische Energiewandlung mittels Drehstromgenerator" analysiert und in seinen Strukturelementen dargestellt.

9.8. Vorgangsdarstellung Mechano-elektrische Energiewandlung

1. Prozesscharakteristik

Die Erzeugung von Elektroenergie mittels Drehstromgenerator ist einer der fundamentalen Prozesse der modernen Energiewirtschaft. Er gehört zur Gruppe der dynamo-elektrischen Prozesse. Die Wandlung der mechanischen Rotationsenergie in elektrische Energie (Drehstrom) basiert auf der elektromagnetischen Induktion. Als Energiewandler fungiert der Drehstromgenerator. Er ist im Allgemeinen eine Innenpolmaschine. Die Induktionswicklungen sind feststehend im Stator angebracht, um den entstehen Strom über feste Kontakte abnehmen zu können. Beim Drehstromgenerator besitzt der Stator jeweils drei voneinander getrennte und um 120 Grad gegeneinander versetze Induktionswicklungen. Der innerhalb des Stators umlaufende Läufer enthält einen Elektromagneten. Die Erregerspannung für den Magneten wird meist durch einen mit der Rotorwelle des Generators gekoppelten Gleichstromgenerator erzeugt (Eigenerregung), dessen Leistung 1 bis 2% des Hauptgenerators beträgt.

Das umlaufende Magnetfeld induziert in den Statorwicklungen eine sinusförmige Wechselspannung, die in den einzelnen Induktionswicklungen ebenfalls um 120 Grad phasenverschoben sind.

Der Drehstromgenerator wird im Allgemeinen für 3000 Umdrehungen in der Minute ausgelegt, so dass die Frequenz des erzeugten Wechselstroms 50 Hz beträgt. Der Wirkungsgrad liegt bei 97%. Die Grenzleistung der Drehstromgeneratoren liegt gegenwärtig bei 500 MVA.

2. Symboldarstellung

Die Symboldarstellung der mechano-elektrischen Energiewandlung mittels Drehstromgenerator ist aus Abb.9.6. ersichtlich.

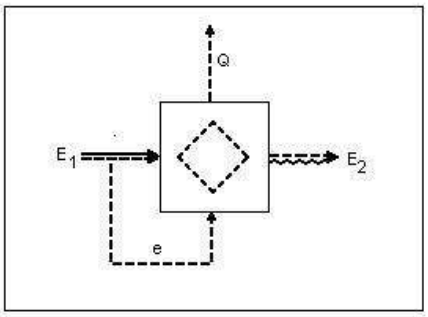


Abb. 9.6. Symboldarstellung der Energiewandlung mittels Drehstromgenerators (E_1 mechanische Rotationsenergie, E_2 Drehstrom, e Erregerstrom)

3. Grundbegriffe und naturwissenschaftliche Grundlagen

Die Erzeugung einer elektrischen Spannung durch veränderliche Magnetfelder wird als *Induktion* bezeichnet. *Generatoren* sind mechano-elektrische Energiewandler, die je nach ihrem konstruktiven Aufbau Gleichstrom, Einphasenwechselstrom oder Drehstrom erzeugen. Der *Drehstrom* ist ein Wechselstrom, der aus drei untereinander verketteten und gegeneinander um 120 Grad phasenverschobenen Wechselströmen gleicher Spannung besteht.

Die allgemeine Verbreitung des Drehstromes beruht auf seinen wesentlichen Vorzügen gegenüber dem Einphasenwechselstrom:

- Drehstromgeneratoren haben gegenüber vergleichbaren Einphasenwechselstrom-generatoren eine um mindestens 50% höhere Leistung.
- Die Übertragungsverluste liegen gegenüber dem Einphasenwechselstrom bei vergleichbaren Leitungen um 25% niedriger.
- Drehstrom ermöglicht den Einsatz einfacher und damit billiger Motoren.

- Drehstrom ermöglicht die Abnahme zweier unterschiedlicher Spannungen.

Der für den Elektromagneten des Generators nötige Gleichstrom wird als *Erregerstrom* bezeichnet. Wird dieser aus einer fremden Spannungsquelle entnommen, spricht man von *Fremderregung*. Koppelt man einen kleinen Gleichstromgenerator mit der Hauptwelle des Drehstromgenerators und nutzt diesen Strom als Erregerstrom, so liegt *Eigenerregung* vor.

Die mechano-elektrische Energiewandlung beruht auf der Ausnutzung der elektromagnetischen Induktion und des Induktionsgesetzes. Es besagt, dass durch ein sich änderndes Magnetfeld in einer Induktionsspule eine elektrische Spannung induziert wird. Die induzierte Spannung ist gleich der Änderungsgeschwindigkeit des magnetischen Flusses.

Die Höhe der induzierten Spannung E ist abhängig von der Drehzahl des Läufers n, der Größe des magnetischen Flusses ϕ und der Anzahl c der Leiterschleifen im Magnetfeld.

$$E = c \cdot n \cdot \phi$$

4. Wirkfaktor Verarbeitungseigenschaften des Energieträgers

Die Ausgangsenergieart ist entsprechend dem Wirkprinzip (1) mechanische Energie. Sie wird als Rotationsenergie von der Welle der Dampfturbine zugeführt. Der Läufer des Drehstromgenerators ist direkt mit der Welle gekoppelt. Er enthält den Elektromagneten, der zusammen mit dem Läufer rotiert.

5. Wirkfaktor Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans

Das Arbeitsorgan des Drehstromgenerators wird vom Stator mit Blechpackung und Induktionsspulen und dem Läufer mit dem Elektromagneten gebildet. Die Grundwirkform ist das Stator-Rotor-System. Der Läufer rotiert innerhalb des Stators und bewirkt die Relativbewegung zwischen Magnetfeld und Induktionsspulen (2).

Wegen der hohen Läuferdrehzahl (3000 $U.min^{-1}$) und der damit verbundenen Fliehkraftbeanspruchung wird er als Trommelläufer mit relativ geringem Durchmesser aber großer Baulänge gestaltet (Trommelläufer). Der Läufer ist bei größeren Aggregaten aus einem Stück gefertigt. In die Welle werden die Nuten eingefräßt, in die die Erregerwicklungen isoliert eingelegt und sorgfältig befestigt werden. Durch den Erregerstrom (Gleichstrom) wird der Läufer zum zweipoligen Magneten (Induktor) (5).

Der Stator des Drehstromgenerators hat ebenfalls eine langgestreckte Gestalt. Er besteht aus dem Blechpaket und den Induktionswicklungen. Die in den Wicklungen entstehende Stromwärme wird über besondere Kühlschlitze und Kühlkanäle im Stator abgeführt. Kühlmedium ist die Luft, in manchen Anlagen auch Wasserstoff.

6. Wirkfaktor Energetische Wirkbedingungen

Die mechano-elekrischen Energiewandlungsprozesse benötigen keine gesonderte Zuführung von Operationsenergie (3). Es wird lediglich Erregerstrom für den Elektromagneten des Läufers benötigt. Er wird bei eigenerregten Generatoren über einen mit dem Hauptgenerator gekoppelten Gleichstromgenerator erzeugt, d.h. ein Teil der mechanischen Ausgangsenergie wird für diesen Prozess abgezweigt (6).

7. Wirkprinzip

Der mechano-elektrischen Energiewandlung im Drehstromgenerator liegt das technologische Wirkprinzip der Prozessgruppe dynamo-elektrische Prozesse zugrunde: das dynamo-elektrische Prinzip. Unter Ausnutzung des Induktionsgesetzes wird im Stator-Rotor-System des Arbeitsorgans eine Relativbewegung zwischen Induktionsspule und Magnetfeld erzeugt und damit in den Leiterschleifen eine elektrische Spannung induziert.

Die einzelnen Grundprozesse dieser Prozessgruppe unterscheiden sich vor allem durch die Art, wie die Relativbewegung hervorgerufen wird. In dem hier betrachteten Grundprozess wird durch ein rotierendes Magnetfeld in den stationären Statorwicklungen eine Wechselspannung induziert.

8. Strukturschema (Abb.9.7.)

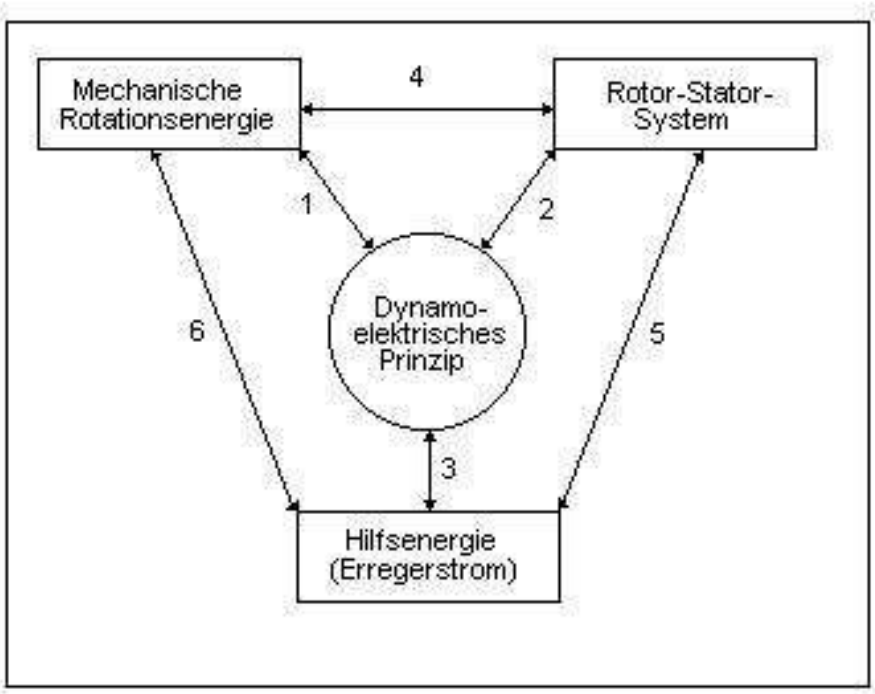


Abb. 9.7. Strukturschema der Energiewandlung mittels Drehstromgenerator

9.9. Systematik energieändernder Vorgänge

Die Aufstellung eines Ordnungssystems der energieändernden Bearbeitungsvorgänge bereitet weniger Schwierigkeiten als in den anderen Klassen technologischer Vorgänge. Wenn wir einerseits davon ausgehen, dass die Aufgabe der Energietechnologie die Wandlung von Primärenergie in End- und Nutzenergie ist, und andererseits die Möglichkeit der Wandlung jeder einzelnen Energieart in eine beliebige andere besteht, so ergibt sich daraus ein universeller Ansatz für eine Matrix der technologischen Vorgänge der Energieumformung und der Energiewandlung.

Der Matrixoperator wird durch die Datenmengen "Ausgangsart der Energie" und die "nach der Bearbeitung vorliegende Energieart" gebildet. Die Elemente jeder der beiden Datenmengen sind die technisch genutzten und hergestellten Energiearten.

Für die Aufstellung der Matrix der energieändernden Bearbeitungsvorgänge gehen wir von 6 technisch bedeutsamen Energiearten aus:

- *mechanische Energie* (Bewegungsenergie von Körpern)
- *chemische Energie* (Bindungsenergie zwischen den Elektronenschalen von Atomen und Molekülen)
- *thermische Energie* (Bewegungsenergie der Atome und Moleküle)
- *elektrische Energie* (Bewegungsenergie elektrischer Ladungen)
- *Strahlungsenergie* (Energie elektromagnetischer Wellen)
- *Kernenergie* (Bindungsenergie der Kernbausteine).

In Tabelle 9.4. sind charakteristische Daten zu den Energiearten zusammengestellt.

Energieart	Art des materiellen Trägers	Potential	Art der Energie-anlagerung
Mechanische Energie	Masseteilchen	Gravitations - potential	gerichtete Bewegung der Teilchen
Chemische Energie	Elektronenhülle der Moleküle	Chemische Affinität	Elektronen-konfiguration
Thermische Energie	Atome und Moleküle	Temperatur-differenz	ungeordenete Bewegung der Atome und Moleküle
Elektrische Energie	Ladungsträger (Ionen, Elektronen)	elektrische Spannung	Fluß der Ladungs-träger
Strahlungs-energie	Photonen, elektro-magnetisches Feld	kein Potential nachweisbar	Fluß der Photonen
Kernenergie	Kernbausteine	Kernkräfte	Bindungsenergie der Nukleonen

Energieart	Erscheinungsform der Energie	
	Speicherform (potentiell)	Übertragungsform (kinetisch)
Mechanische Energie	Gestautes Wasser Gespannte Feder Komprimiertes Gas	Strömendes Wasser Wind, Schallwellen, Bewegte Massen
Chemische Energie	Brennstoffe Geladener Akkumulator	Chemische Reaktions-energie
Thermische Energie	Warmwasserspeicher	Dampfstrahl Wärmestrahlung
Elektrische Energie	Kondensatorladung	Elektrischer Strom
Strahlungs-energie	-	Lichtstrahlung Laserstrahlung
Kernenergie	Kernbrennstoffe Schweres Wasser	Kettenreaktion Kernfusion

Tabelle 9.4. Energiearten und ihre charakteristischen Merkmale

Für die aufzustellende Ordnungsmatrix verwenden wir für die Zeileneingänge die Energiearten, die am Beginn der technologischen Bearbeitung vorliegen, und für die Spalteneingänge die als Produkt des Bearbeitungsvorgangs entstehenden Energiearten. Wir erhalten so das *System der energieändernden Bearbeitungsvorgänge* (Abb.9.8.).

Ausgangs-energie	Endenergie Mechanische Energie	Chemische Energie	Wärme-energie	Elektrische Energie	Strahlungs-energie	Kern-energie
Mechanische Energie	11 Verfahren zur Umformung mech. Energie	12 Mechano-chemische Prozesse	13 Mechano-thermische Prozesse	14 Mechano-elektrische Prozesse	15 Mechano-Strahlungs-prozesse	16 Mechano-Kernprozesse
Chemische Energie	21 Chemo-mechanische Prozesse	22 Verfahren zur Umformung chem. Energie	23 Chemo-thermische Prozesse	24 Chemo-elektrische Prozesse	25 Chemo-Strahlungs-prozesse	26 Chemo-Kernprozesse
Wärmeenergie	31 Thermo-mechanische Prozesse	32 Thermo-chemische Prozesse	33 Verfahren zur Umformung v. Wärmeenergie	34 Thermo-elektrische Prozesse	35 Thermo-Strahlungs-prozesse	36 Thermo-Kernprozesse
Elektrische Energie	41 Elektro-mechanische Prozesse	42 Elektro-chemische Prozesse	43 Elektro-thermische Prozesse	44 Verfahren zur Umformung elektr. Energie	45 Elektro-Strahlungs prozesse	46 Elektro-Kernprozesse
Strahlungs-energie	51 Strahlungs-mechanische Prozesse	52 Strahlungs-chemische Prozesse	53 Strahlungs-thermische Prozesse	54 Strahlungs-elektrische Prozesse	55 Verfahren zur Umformung v. Strahl-Energie	56 Strahlungs-Kernprozesse
Kernenergie	61 Kern-mechanische Prozesse	62 Kern-chemische Prozesse	63 Kern-thermische Prozesse	64 Kern-elektrische Prozesse	65 Kern-Strahlungs-prozesse	66 Verfahren zur Umformung v. Kernenergie

Abb. 9.8. System der energieändernden Bearbeitungsvorgänge

Im Prinzip geht dieses System auf JUSTI (Göttingen 1965) zurück. Als Matrixoperator legt er ebenfalls die vor der Energieumwandlung zur Verfügung stehende Energieart und die entstehende Energieart zugrunde. Als Elemente der Datenmengen des Matrixoperators unterschied er zwischen mechanischer, thermischer, elektrischer, chemischer und Lichtenergie. Das System hat als Energiedirektumwandlungsmatrix (EDU-Matrix) breite Popularität gewonnen. Man findet es in modifizierter Form bei verschiedenen Autoren wieder (z.B. LINNEMANN, NAUMANN). Die Unterschiede betreffen vor allem die erfassten Energiearten sowie deren Reihenfolge.

Das System der energieändernden Bearbeitungsvorgänge erfasst alle möglichen Energiewandlungsprozesse und Energieumformungsverfahren. Letztere haben ihren Platz in der Diagonale der Matrix (Felder 11, 22, 33, 44, 55, 66). Die Ausgangs- und Endenergieart sind hier gleich. Alle übrigen Felder werden von Energiewandlungsprozessen eingenommen, bei denen Ausgangs- und Endenergieart verschieden sind.

Die Verfahren und Prozesse der einzelnen Felder haben zweifellos eine unterschiedliche technologische Bedeutung. Für die Produktion von Endenergie spielt gegenwärtig nur eine verhältnismäßig kleine Zahl von Prozessen eine Rolle. Andere haben in der Informationsverarbeitung eine wesentliche Funktion erlangt. Die Prozesse in einigen Feldern haben vorerst nur in der wissenschaftlichen Forschung Interesse gefunden. Die Matrix gibt jedoch eine Übersicht über die Vielfalt der Möglichkeiten und weist neue Wege - insbesondere im Zusammenhang mit der Energiedirektumwandlung - zur technischen Nutzung bisher nicht oder kaum erschlossener Energiewandlungsprozesse.

9.10. Verfahren der Energieumformung

Energieumformungsverfahren erfassen alle Bearbeitungsvorgänge, durch die Parameteränderungen an energetischen Arbeitsgegenständen bewirkt werden, ohne dass dabei die Energieart verändert wird. Der Vorgang kann mit einem Wechsel des Energieträgers oder ohne Trägerwechsel erfolgen, wobei im ersteren Fall die Art des Trägers erhalten bleibt.

Beispiele für Energieumformungsverfahren mit Trägerwechsel sind die Wechselwirkung von Zahnrädern in Getrieben oder die Wärmeübertragung auf Kühlmittel in Wärmeaustauschern. In anderen Fällen erfolgt die Wechselwirkung der Energieträger über Wirkmedien, wie beim Spannungstransformieren im Transformator über ein Magnetfeld.

Wenn kein Trägerwechsel vorliegt, erfolgt die Wechselwirkung mit anderen Objekten, meist mit den Arbeitsorganen der Energieumformungssysteme. Diese nehmen Energie auf oder geben Energie ab und bewirken damit Parameteränderungen. So wird die Strömungsgeschwindigkeit von Gasen durch Düsen oder Prallplatten verändert, die Stromspannung wird durch Widerstände herabgesetzt oder Wechselstrom wird im Transistor gleichgerichtet.

Jeder Energieart entspricht eine bestimmte Trägerart (vgl. Tabelle 9.4.). Charakteristisch für Energieumformungsverfahren ist ihre weitgehende Umkehrbarkeit. Sie sind allerdings immer mit unvermeidbaren Exergie-Verlusten verbunden. Liegt ein Potentialgefälle vor verlaufen die Vorgänge ohne Zufuhr von Operationsenergie.

Die Aufgabe der Energieumformungsverfahren besteht in der Anpassung der Energieformen an die Weiterverarbeitungs- und Nutzungsbedingungen.

Die Aufgliederung der Klasse der Energieumformungsverfahren in Verfahrenstypen ergibt sich aus den Diagonalfeldern des Systems energieändernder Vorgänge. Danach können sechs Verfahrenstypen unterschieden werden:

- Verfahren zur Umformung mechanischer Energie
- Verfahren zur Umformung chemischer Energie
- Verfahren zur Umformung von Wärmeenergie
- Verfahren zur Umformung elektrischer Energie
- Verfahren zur Umformung von Strahlungsenergie
- Verfahren zur Umformung von Kernenergie.

Bis auf die Verfahren zur Umformung von Kernenergie werden Grundverfahren aller Verfahrenstypen technisch genutzt. Ihre Funktion besteht im Allgemeinen darin, die Endenergiearten an ihren jeweiligen Verwendungszweck anzupassen bzw. den rationellen Transport zu ermöglichen.

Verfahren zur Umformung mechanischer Energie (Feld 11) werden in allen Maschinen mit mechanisch bewegten Teilen angewandt. Die in einer Waagerechtstoßmaschine durch einen Elektromotor erzeugte mechanische Rotationsenergie wird über ein Getriebe so umgeformt, dass eine translatorische mechanische Bewegungsenergie vorliegt, die über das Arbeitsorgan (Stoßmeißel) am Arbeitsgegenstand die gewünschte Veränderung hervorbringt. Getriebe sind deshalb aus der Sicht der Energietechnologie Umformungssysteme für mechanische Energie.

Die Umformung von Strömungsenergie gasförmiger oder flüssiger Medien durch Wind- und Wasserturbinen in Rotationsenergie sind weitere Beispiele für technisch genutzte Verfahren der mechanischen Energieumformung.

Verfahren zur Umformung chemischer Energie (Feld 22) finden wir bei der Gaserzeugung aus Kohle oder Erdöl vor. Die chemische Energie der Ausgangsstoffe wird dabei in chemische Energie des Gases übergeführt. Gas ist ein Edelenergieträger, der leicht transportiert und vielseitig als technische Wärmequelle genutzt werden kann.

Verfahren zur Umformung von Wärmeenergie (Feld 33) sind charakteristisch für alle Bereiche der Heizungs- und Kältetechnik. Die Beheizung eines Wohnraumes durch einen Radiator der Warmwasser- oder Dampfheizung geschieht durch ein Wärmeumformungsverfahren. Die Energie des Dampfes wird auf die Zimmerluft übertragen. Die Energieniveaus beider Energieträger gleichen sich dabei an.

Der umgekehrte Vorgang wird in Kühlschränken technisch genutzt. Die Kältemaschine entzieht dem Kühlraum Wärmeenergie und gibt sie an die Zimmerluft ab. Die zum Antrieb der Kältemaschine notwendige Energie ist Operationsenergie zur Durchführung des Verfahrens, die hier aufgewandt werden muss, weil der Vorgang entgegen dem natürlichen Potentialgefälle verläuft.

Verfahren zur Umformung elektrischer Energie (Feld 44) sind solche Verfahren, durch die einzelne Parameter des elektrischen Stromes verändert werden, wie Spannung, Stromstärke oder Frequenz, oder die Gleichstrom in Wechselstrom umformen und umgekehrt. Die Funktion dieser Verfahren besteht wiederum darin, die elektrische Energie in ihrem Gebrauchswert zu verändern, d.h. sie den jeweiligen Bedingungen des Bedarfs anzupassen. Transformatoren, Umformer, Stromrichter und Verstärker sind typische technische Systeme zur Umformung elektrischer Energie.

Verfahren zur Umformung von Strahlungsenergie (Feld 55) beruhen darauf, dass Quanten einer Strahlungsenergie auf Elektronen des bestrahlten Materials übergehen und von diesen die aufgenommene Energie als Strahlung anderer Frequenz spontan, allmählich oder auch nach einem Speicherungseffekt durch induzierte Emission gleichzeitig wieder abgegeben wird. Verfahren dieser Art sind die mit Lumineszenzerscheinungen verbundenen Vorgänge (Photolumineszenz, Röntgenlumineszenz, Radiolumineszenz). Sie haben unter anderem in der Leuchtstoffschicht der Fernsehbildröhre zur Frequenzänderung des unsichtbaren Elektronenstrahls in sichtbares Licht ihre technische Anwendung gefunden. Ein anderes, technisch bedeutsames Anwendungsfeld ist die Lasertechnik. Die durch Kristalllaser mögliche induzierte Emission kohärenter Strahlung (Laser-Strahlung) nach kurzzeitiger Speicherung normaler Strahlung hat wegen der bemerkenswerten Eigenschaften dieser Strahlung - hohe Energiedichte, Kohärenz, Polarisation und Parallelität - den Übergang zu neuen Wirkprinzipien in der Materialbearbeitung, in der Nachrichtenübertragung und in der Informationsspeichertechnik möglich gemacht.

Verfahren zur Umformung von Kernenergie (Feld 66) sind technisch noch nicht von Bedeutung. Bei jeder Kernreaktion finden auch Umformungsvorgänge statt, bei denen Kerne eines bestimmten Energieniveaus in Kerne eines anderen Energieniveaus übergehen. Technisch interessant sind jedoch nur die Vorgänge, die mit der Freisetzung technisch nutzbarer Energie verbunden sind.

Die hier gegebene kurze Charakteristik der einzelnen Verfahrenstypen ermöglicht noch nicht, eine fundierte Aufgliederung in Verfahrensgruppen vorzunehmen. Wir geben deshalb in Abb. 9.9.lediglich eine Übersicht zu technologischen Grundverfahren der Energieumformung und ihrer Zuordnung zu Verfahrenstypen.

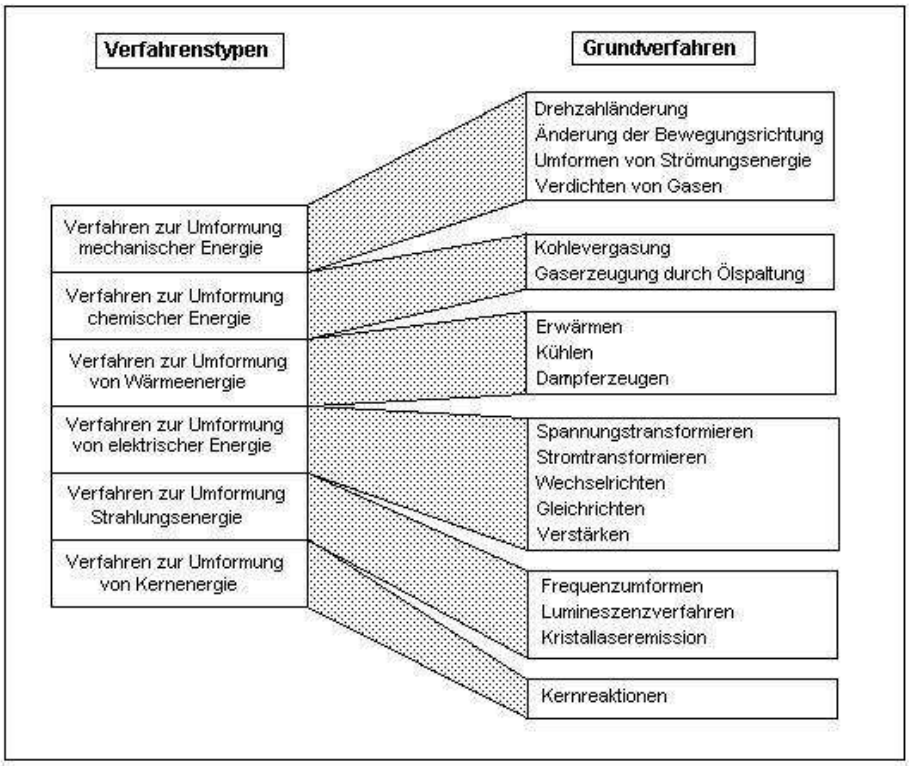


Abb. 9.9. Verfahren der Energieumformung

9.11. Prozesse der Energiewandlung

Energiewandlungsprozesse werden durch die Umwandlung einer Energieart in eine andere gekennzeichnet. Der Übergang von einer Energieart in eine andere ist mit einem Wechsel des Energieträgers verbunden, wobei auch die Art des Trägers sich ändert. Das ergibt sich notwendig daraus, dass jeder Energieart spezifische Träger entsprechen. So ist elektrische Energie immer an Ladungsträger (Elektronen oder Ionen) gebunden, Strahlungsenergie immer an Photonen. Daraus lässt sich weiter schließen, dass sich der Wandlungsprozess durch die Wechselwirkung des Trägers der Eingangsenergie mit dem Träger der Ausgangsenergie vollzieht.

Nach Untersuchungen von ABICHT kann man einige Grundformen dieser Wechselwirkungsprozesse - unabhängig von den konkreten Wandlungsprozessen - unterscheiden:

- die Energieträger treten in *direkte Wechselwirkung*. Das kann z.B. durch Stoßvorgänge geschehen (Elektronen und Atome im elektrischen Heizwiderstand, Moleküle bei exothermen chemischen Reaktionen, Kernspaltung durch Neutroneneinfang). Dabei wird Energie in Form von Arbeit übertragen.
- Energieträger treten *über Wirkmedien in Wechselwirkung*. Dieser Typ ist für die Wandlung elektrischer in mechanische Energie und umgekehrt charakteristisch. Der Stromfluss wird im Elektromotor über das Magnetfeld als Wirkmedium in mechanische Rotationsenergie umgewandelt.

Die technischen Systeme der Energiewandlung schaffen - ähnlich wie die Reaktoren der Stoffwandlung - die Bedingungen für die gewünschte Wechselwirkung.

Bei jedem Wandlungsprozess geht ein Teil der freien Energie als nicht nutzbare Wärme verloren. Die Energiewandlungsprozesse sind weitgehend umkehrbar. Ähnlich wie bei den Energieumformungsverfahren wird bei Vorliegen eines Potentialgefälles keine Operationsenergie benötigt, in manchen Fällen allerdings eine Aktivierungsenergie (z.B. bei chemothermischen Prozessen).

Die Aufgabe der Energiewandlungsprozesse besteht zum einen in der Freisetzung von Exergie aus Primärenergieträgern zur Erzeugung von Endenergie und zum anderen in der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie.

Die energiewandelnden Prozesse nehmen alle Felder des Systems der energieändernden Bearbeitungsvorgänge ein, die außerhalb der Diagonale von links oben nach rechts unten liegen. Von den 36 Feldern der Matrix gehören demnach 30 Felder zu den Energiewandlungsprozessen. Jedes Feld repräsentiert einen Prozesstyp.

Obwohl eine Vielzahl von Prozessen der Energiewandlung wissenschaftlich eingehend untersucht ist und ein Teil dieser Prozesse auch breite technologische Nutzung gefunden hat, stecken vergleichend-technologische Untersuchungen noch in den Anfängen. Eine Charakteristik der einzelnen Prozesstypen und -gruppen kann deshalb noch nicht gegeben werden. Abbildung 9.10 veranschaulicht einige Vorstellungen zur weiteren Untergliederung einiger Prozesstypen in Gruppen.

Zur Demonstration des allgemein-technologischen Vorgehens bei der weiteren Bearbeitung des Problems wollen wir einige Überlegungen zum *Prozesstyp elektromechanische Prozesse* (Feld 41) anstellen.

Elektromechanische Prozesse wandeln elektrische Energie in mechanische Energie. Sie werden technologisch vor allem im Bereich der Bereitstellung von Nutzenergie (Elektromotor, Schwingquarz) angewandt. Sie verlaufen unter den Bedingungen eines elektrischen Potentialgefälles mit Entropiezunahme, so dass keine Operationsenergie zur Durchführung des Prozesses zugeführt werden muss. Die Prozesse sind, wie alle Energiewandlungsprozesse, mit einem Trägerwechsel verbunden.

Als wesentliche Wandlungsprinzipien lassen sich

- das elektrodynamische Prinzip
- das Elektrostriktionsprinzip
- das magneto-hydrodynamische Prinzip

angeben. Damit wären zugleich auch drei Prozessgruppen bestimmt.

Die *Prozessgruppe elektrodynamische Prozesse* hat als gemeinsame physikalische Grundlage die elektrodynamische Induktion. Die einzelnen zugehörigen Grundprozesse der Gruppe unterscheiden sich durch die Art ihrer technischen Realisierung (durch Gleichstrommotoren, Einphasenwechselstrommotoren, Linearmotoren). Das entspricht ganz dem Untergliederungsprinzip der Verfahrensgruppe Spanen in der Stoffformung,

das auch die verschiedenartigen Arbeitsorgane (Bohrer, Fräser, Drehmeißel usw.) sowie die Relativbewegung zwischen Arbeitsgegenstand und Arbeitsorgan zur Grundlage hat. Der Vergleich zwischen dem Arbeitsorgan eines Drehstrom-Kurzschlußläufermotors (Käfigläufer und Stator mit drei um 120 Grad versetzten Wicklungen) und eines Linearmotors (Ständerwicklung und Induktionsschiene) zeigt ebenfalls charakteristische Unterschiede der Arbeitsorgane und der Relativbewegungen zwischen Induktionsspule und Magnetfeld.

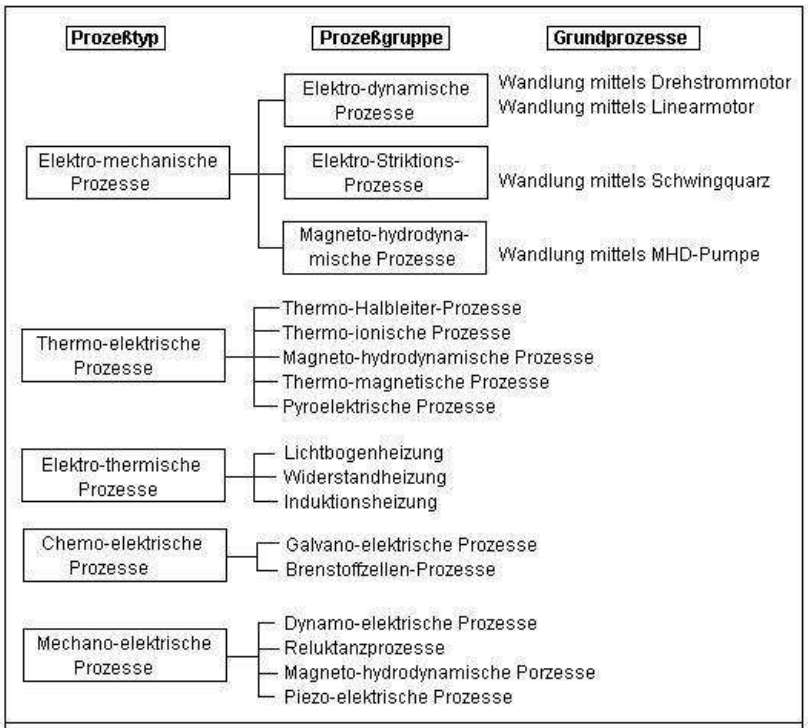


Abb. 9.10. Aufgliederung einiger energiewandelnder Prozeßtypen in Prozeßgruppen

Die Gruppe der *Elektrostriktionsprozesse* beruht auf dem piezoelektrischen Effekt. Bestimmte Kristalle zeigen unter Einwirkung eines elektrischen Wechselfeldes eine Verlängerung bzw. Verkürzung ihrer Flächen. Sie schwingen (Elektrostriktion). So werden Quarzplättchen, deren mechanische Eigenfrequenz mit der Frequenz des Wechselstromfeldes übereinstimmt, zu starken mechanischen Schwingungen angeregt. Verwendet werden Schwingquarze - und damit Elektrostriktionsprozesse - für das Konstanthalten von Schwingkreisen in Rundfunksendern und Quarzuhren. Sie haben also Steuerungsfunktionen.

Die *Gruppe der magneto-hydrodynamischen Prozesse* hat in der MHD-Pumpe einen ihrer Grundprozesse realisiert. Dieser Prozess stellt die Umkehrung des MHD-Generatorprinzips dar. Durch eine in den äußeren Stromkreis eines MHD-Generators eingebaute Spannungsquelle lässt sich ein Plasma in Bewegung setzen. Mit solchen Plasmabeschleunigern werden Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 10^5 ms^{-1} erreicht. Eine mögliche künftige Nutzung liegt bei MHD-Raumfahrtantrieben.

9.12. Energieketten

Die Umwandlung der Primärenergie in Endenergie erfolgt im Allgemeinen in mehreren Stufen. In einem Wärmekraftwerk wird die chemische Energie der Kohle zunächst durch Verbrennung in der Brennkammer des Dampferzeugers in Wärmeenergie übergeführt. Die heißen Rauchgase geben ihre Energie an das in dem Rohrsystem des Dampferzeugers zirkulierende Wasser bzw. an den sich bildenden Sattdampf ab. Im Überhitzer wird dem Dampf dann weitere Wärme zugeführt. Durch Expansion des Dampfes in der Turbine wird die Wärmeenergie in mechanische Energie umgewandelt. Der mit der Turbine gekoppelte Generator wandelt die mechanische schließlich in elektrische Energie um. Diese elektrische Energie muss durch Transformatoren umgeformt werden, damit sie rationell zu den Bedarfsträgern transportiert werden kann.

Schon diese grobe Übersicht zeigt die vielfältigen Wandlungs- und Umformungsstufen, die auf dem Wege von der Primärenergie zur Endenergie durchlaufen werden müssen. Eine solche Folge von technologischen

Vorgängen vom Ausgangszustand eines Energieträgers bis zu seiner Nutzungsform bezeichnen wir als *Energiekette*. Für jeden Kraftwerkstyp und abhängig von der eingesetzten Primärenergie ergeben sich charakteristische Energieketten (Abb.9.11.).

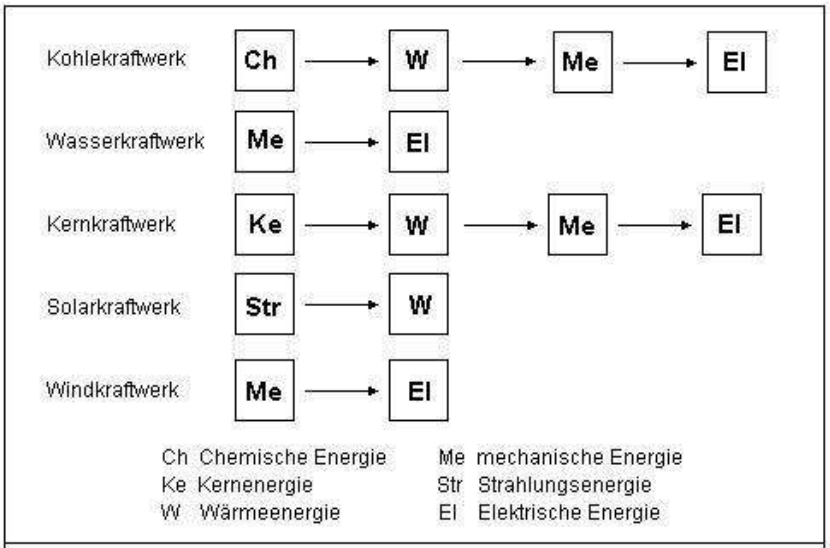


Abb. 9.11. Energieketten

Die zahlreichen Wandlungs- und Umformungsschritte haben zur Folge, dass der Wirkungsgrad der Kraftwerke relativ niedrig ist, denn bei jedem Bearbeitungsvorgang geht freie Energie in Form von Wärme verloren. Der Wirkungsgrad moderner Kraftwerke liegt deshalb nur zwischen 30 und 40%. Die größten Verluste entstehen beim Übergang von der Wärmeenergie zur mechanischen Energie. Theoretisch hängt der thermodynamische Wirkungsgrad dieses Prozesses vor allem von der Temperaturdifferenz des in die Turbine einströmenden Dampfes und dem ausströmenden Dampf ab. Bei einer heute üblichen Differenz von 300^0C liegt er bei 50%. Erfasst man die zusätzlichen Verluste in den Aggregaten, so ergeben sich Wirkungsgrade von 40 bis 43%.

Die Wandlung von mechanischer in elektrische Energie ist dagegen mit wesentlich höheren Wirkungsgraden möglich. Sie liegen bei großen Aggregaten bei 97%.

Insgesamt ergibt sich daraus, dass bei der Endenergieerzeugung aus Brennstoffen über den Umweg der Wärmeenergie prinzipiell nur relativ geringe Wirkungsgrade erreichbar sind. Eine der Entwicklungsrichtungen zur rationelleren Nutzung der verfügbaren Energiequellen ist deshalb das Bemühen, die Zahl der Energieumwandlungsstufen zu vermindern - insbesondere die Stufe der Wärmeenergie zu umgehen - und dadurch höhere Wirkungsgrade zu erreichen. In diesem Zusammenhang wird intensiv auf dem Gebiet der sog. *Energiedirektumwandlung* gearbeitet. Das hat bereits z.T. zu völlig neuen technologischen Prinzipien und neuen Typen von Energiewandlern geführt.

Diese Energiedirektumwandlungsprozesse wollen die heute üblichen Verfahren und Prozesse der Energiewirtschaft nicht ablösen. Sie sind vielmehr als Ergänzung unserer Möglichkeiten zur rationelleren Nutzung des Energiepotentials zu sehen

Literatur

9.1 L. Abicht: Untersuchungen zur Organstruktur energiewandelnder technischer Funktionssysteme, Diss.A, Martin-Luther-Univ., Halle(Saale) 1983

9.2 Ch. Hein: Zur Theorie energieändernder technologischer Vorgänge, Diss.B, Martin-Luther-Univ., Halle(Saale) 1986

9.3 E. Justi: Leitungsmechanismen und Energieumwandlung in Festkörpern, Göttingen 1965

9.4 Autorenkollektiv: Energie aktuell, Leipzig 1975

9.5 H.D. Naumann, Energie ohne Umwege, Leipzig 1970

9.6 G. Schilling / H. Tischer: Einführung in die Produktionstechnik, Band 4, Energetik, Berlin 1963

10. Informationsändernde Vorgänge

10.1. Informationstechnologie als neuer Gegenstandsbereich der allgemeinen Technologie

Die technische Informationsverarbeitung hat erst in den letzten Jahrzehnten volkswirtschaftliche Dimensionen erreicht. So ist es nicht verwunderlich, dass allgemein-technologische Betrachtungsweisen in der Informationsverarbeitung bisher wenig verbreitet sind. Die Information als eigenständige Klasse von Arbeitsgegenständen neben Stoff und Energie zu sehen, ist ebenfalls noch nicht die Regel. Die umwälzenden Fortschritte der Technik in den letzten Jahrzehnten haben jedoch alle objektiven Bedingungen entstehen lassen, dass sich die Information als eigenständige Klasse von Arbeitsgegenständen herausbilden kann und die informationsändernden Vorgänge in den Gegenstandsbereich der allgemeinen Technologie einbezogen werden können.

Es ist geradezu ein Charakteristikum des technischen Fortschritts in unserer Zeit, dass die bisher fast ausschließlich vom Menschen selbst vollzogenen informationellen Arbeitsoperationen in großem Maßstab und auf der ganzen Front des produktiven und wirtschaftlichen menschlichen Schaffens durch entsprechende technische Systeme übernommen werden. Dieser Prozess vollzieht sich in zwei Richtungen.

Zum einen steht er in Verbindung mit der so genannten Prozesstechnik, d.h. im Zusammenhang mit der *Automatisierung der stoff- und energieändernden technischen Systeme*. Der Anteil der Bauelemente und Baugruppen zur Informationsgewinnung, -übertragung und -verarbeitung als Bestandteil von Werkzeugmaschinen, Reaktionsapparaten, Transporteinrichtungen und energieverarbeitenden Systemen steigt ständig an. Diese Entwicklung hat bekanntlich zu einer neuen Entwicklungsstufe von stoff- und energiebearbeitenden Systemen geführt, zu den automatischen Maschinensystemen (vgl.Kap.3.2.). Im Unterschied zu den klassischen Maschinen zeichnen sie sich durch das Vorhandensein von (mehr oder weniger entwickelten) Steuerungs- bzw. Optimierungsorganen aus. Diese Teilsysteme der Maschinen und Apparate revolutionieren den Produktionsprozess insofern, als sie bis dahin nur vom Menschen ausgeführte Steuerungstätigkeiten übernehmen und sich damit die Funktion des Produzenten im unmittelbaren Produktionsprozess wesentlich verändert.

Die zweite Entwicklungsrichtung vollzieht sich in Verbindung mit solchen Arbeitsprozessen, in denen *Informationen selbst zum Arbeitsgegenstand* geworden sind und das Produkt ebenfalls Informationen sind. Im Zusammenhang damit entstand auf der Basis der mikroelektronischen Bauelemente eine gegenüber den stoff- und energieverarbeitenden Systemen prinzipiell neuartige Klasse von Maschinen, die informationsverarbeitenden Maschinen. Ihre Aufgabe besteht ausschließlich in der Verarbeitung von Informationen, die den charakteristischen Arbeitsgegenstand bilden. Sie haben sich in einer für neue Maschinentypen bisher nicht gekannten Geschwindigkeit ausgebreitet, und es gibt kaum einen Bereich des gesellschaftlichen Lebens, in dem sie nicht genutzt würden. Vom Taschencomputer über Personalcomputer bis zu komplexen Rechenzentren weisen diese informationsverarbeitenden Systeme ein sehr unterschiedliches Niveau ihrer Leistungsfähigkeit auf. Gemeinsam ist ihnen jedoch bei aller Unterschiedlichkeit, dass sie eingegebene Informationen nach vom Menschen aufgestellten Programmen zielgerichtet bearbeiten und daraus neue Informationen zur Steuerung und Beherrschung technologischer Prozesse in der Produktion und zunehmend auch zur Erfassung und Lenkung von Prozessen in anderen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens gewinnen.

Innerhalb der Informationstechnologie sind wiederum zwei gegensätzliche, sich aber doch gegenseitig bedingende Tendenzen festzustellen. Zum einen beobachten wir eine zunehmende Zentralisierung der Informationsverarbeitung in Form von Datenbanken und Rechenzentren. Gleichzeitig vollzieht sich mit großem Tempo eine Dezentralisierung in Form der Verlagerung der Informationstechnik an die einzelnen Arbeitsplätze. Während in den Zentren hochspezialisierte Kräfte an leistungsfähiger Technik tätig sind, wird der Umgang mit der dezentralen Informationstechnik immer mehr zum notwendigen Bestandteil jeder beruflichen Tätigkeit. Typisch ist weiterhin, dass zunehmend auch von den einzelnen Arbeitsplätzen der Zugriff zu Datenbanken (z.B. wissenschaftlich-technischer Art) möglich wird.

Die Ursache für diese Entwicklung liegt vor allem in dem erreichten und weiter zunehmenden Grad an Komplexität moderner Produktionssysteme. Der ständig größer werdenden Informations- und Organisationsanteil, den die Produktionstechnik erreicht hat, kann vom Menschen nicht mehr in der bisher üblichen Art bewältigt werden.

Zusammengefasst lassen sich die zwei Entwicklungsrichtungen charakterisieren:

- Herausbildung von Maschinen und Apparaten mit entwickelten Steuerungs- und Optimierungsorganen. Die Automatisierung stoffbearbeitender und energieändernder Produktionsprozesse ist mit der Einführung entsprechender Teilsysteme zur Informationsverarbeitung notwendig gekoppelt. Diese Steuerungs- und Regelungssysteme dienen der Beherrschung des Informationsflusses, der in diesen Fällen als Hilfsfluss fungiert und der Realisierung stofflicher und energetischer Bearbeitungsvorgänge dient.
- Herausbildung der Klasse der Informationsverarbeitungsmaschinen. Sie haben die Aufgabe, Informationen unterschiedlichster Art zu verarbeiten und diese für die Lenkung und Beherrschung von gesellschaftlichen Prozessen nutzbar zu machen. In diesen Systemen wird der Informationsfluss zum Hauptfluss, zum Fluss des Arbeitsgegenstandes. Die Bearbeitung der Informationen geschieht durch typische Bearbeitungsvorgänge (die informationsändernden technologischen Grundvorgänge). Charakteristische Ausprägung hat diese neue Klasse technischer Systeme in den Computern gefunden.

Aus diesen Überlegungen leiten wir ab, dass sich eine neue Klasse von Arbeitsgegenständen herausbildet: die Informationen. Sie stellen neben den Stoffen und den Energien die dritte Klasse von Arbeitsgegenständen dar.

Zugleich ergibt sich daraus, dass die technologischen Vorgänge um die informationsverarbeitenden Vorgänge zu erweitern sind. Eine allgemeine Technologie, die die technologischen Vorgänge der Gewinnung, Verarbeitung, Übertragung, Speicherung und Verwertung von Informationen außer Acht ließe, wäre unvollständig.

Für die im Folgenden vorzunehmende Charakterisierung der informationsverarbeitenden technologischen Vorgänge kann zu diesem Zeitpunkt verständlicherweise nur eine erste Orientierung gegeben werden. Trotzdem ist auf einige beachtliche Arbeiten hinzuweisen (FRÜCHTEL, MAERTENS, WORCH, MACKEPRANG). Mit den folgenden Darstellungen verfolgen wir die Absicht, die bei der allgemeintechnologischen Erschließung der anderen Klassen von Bearbeitungsvorgängen bewährten Denkweisen, Methoden und Modelle auf diesen neuen Bereich der Technologie zu übertragen, die Tragfähigkeit des Ansatzes nachzuweisen und Anregungen für eine notwendige weitere detaillierte Ausarbeitung zu geben.

10.2. Information als Arbeitsgegenstand

Das Wort Information entstammt dem Lateinischen und wurde ursprünglich in der Bedeutung Vorstellung, Begriff, Umriss verwendet. Heute versteht man umgangssprachlich darunter soviel wie Auskunft, Mitteilung, Benachrichtigung oder auch Aufklärung und Belehrung. Mit der Entwicklung der Nachrichtentechnik erlangte der Informationsbegriff technische Bedeutung, und es wurden erste Schritte zur Präzisierung des Begriffsinhalts getan. In Verbindung mit der Entstehung der Kybernetik wurde er dann zu einem allgemeinwissenschaftlichen Begriff, der in einer Vielzahl von Wissenschaften eine zentrale Rolle spielt. Jede hat aus ihrer Sicht versucht, den Informationsbegriff näher zu bestimmen. Es sei hier nur auf die fundamentalen Arbeiten von C.E. SHANNON und N. WIENER im Zusammenhang mit der Entwicklung einer mathematischen Informationstheorie sowie die thermodynamische Interpretation der Information als Negentropie durch E. SCHRÖDINGER hingewiesen.

Eine nähere *Charakteristik der Information als Arbeitsgegenstand* stößt auf eine Reihe von Schwierigkeiten. Sie beginnen bereits bei der Definition des Informationsbegriffes. Wir wollen uns deshalb auf die Angabe einiger charakteristischer Merkmale der Information beschränken, soweit sie für unser Anliegen wesentlich sind.

Die *Information* ist aus philosophischer Sicht neben Masse und Energie ein qualitativ eigenständiger *Aspekt der Materie*, der in engem Zusammenhang mit der Widerspiegelungseigenschaft der Materie steht. Die materiellen Objekte und Prozesse der Natur befinden sich in ständiger Wechselwirkung miteinander. Der Wechselwirkungsprozess hinterlässt an ihnen "Spuren", die über lange Zeiträume nachgewiesen werden können und die dem erkennenden Menschen Aufschluss über die Veränderung bzw. das Entstehen und die Entwicklung der Objekte und Prozesse geben können. Das Entstehen solcher Spuren ist eine Form der Widerspiegelung. Im Bereich der unbelebten Natur ist die Passivität der Objekte typisch, die auf diese Einwirkungen nicht aktiv reagieren oder sie gar verhindern können. Die Organismen der belebten Natur können dagegen

aktiv auf Umwelteinflüsse reagieren (Reizbarkeit), und die Möglichkeiten und die Differenziertheit der Reaktionen wachsen mit steigender Organisationshöhe der Lebewesen. Die höchste Form haben die informationellen Prozesse beim Menschen und in der menschlichen Gesellschaft erreicht. Informationsaustausch (mündlich, schriftlich, gedruckt) gehört zu den wichtigsten gesellschaftlichen Tätigkeitsformen des Menschen.

URSUL charakterisiert die Information als *Widerspiegelungsinhalt* (Lit.10.5., S.165). Die Widerspiegelungseigenschaft der Materie ist demnach die objektive Grundlage der informationsändernden Vorgänge und die objektive Realität eine unerschöpfliche Informationsquelle.

Aus physikalischer Sicht ist ein wesentliches Charakteristikum der Information ihre *Gebundenheit an einen materiellen Träger*. Zwar können informationelle Vorgänge prinzipiell nicht auf stoffliche oder energetische Vorgänge zurückgeführt werden, sie sind aber auch nicht von ihnen unabhängig. Die Information existiert - ähnlich wie die Energie - immer nur in Einheit mit einem materiellen Träger und lässt sich nicht von ihm trennen. Aber im Unterschied zur Energie unterliegt die Information nicht den Erhaltungssätzen. Information kann deshalb verloren gehen, man kann sie vernichten, und ebenso kann sie als Ergebnis von Wechselwirkungsprozessen materieller Objekte neu entstehen. Es können sowohl stoffliche als auch stofflich-energetische und strahlungs-energetische Objekte und Prozesse als Träger von Informationen fungieren.

Charakteristisch für Informationen ist weiterhin, dass sie nur als *Wechselwirkung zwischen Systemen* existieren, d.h. System und Information bilden ein dialektisches Paar. Daraus ergibt sich, dass Information im Grunde nur dynamisch (in ihrer Übertragungsform) existiert. Gespeicherte Information (im statischen Zustand) wird erst wieder zur eigentlichen Information, wenn sie in die dynamische Form zurückverwandelt wird, denn nur so kann sie zwischen den Systemen etwas bewirken. Hier zeigt sich eine deutliche Analogie zur Energie, denn potentielle Energie kann ihre energetische Potenz erst dann zur Wirkung bringen (und damit als Energie in Erscheinung treten), wenn sie in kinetischer Form vorliegt

Aufbauend auf diese Ausgangspositionen wurde eine Reihe von Begriffsbestimmungen der Information erarbeitet, die zum Teil von sehr unterschiedlichen Aspekten ausgehen.

Aus der *Sicht der Wahrscheinlichkeitstheorie* wird Information als Messgröße für die Ungewissheit des Eintretens eines Ereignisses oder als beseitigte Unbestimmtheit aufgefasst.

URSUL fasst den Informationsbegriff weiter. Er formuliert aus *philosophischer Sicht* die *Vielfaltskonzeption der Information* (Lit.10.5., S.51). Danach besteht das Wesen der Information in der Vielfalt, die ein Objekt in Bezug auf ein anderes Objekt als Ergebnis ihrer Wechselwirkung enthält. Oder anders ausgedrückt: Information ist widergespiegelte Vielfalt. Die Bewegung dieser Vielfalt (ihre Erweiterung oder Begrenzung) stellt sich in den informationsändernden Vorgängen dar. Eine solche Konzeption erscheint für die Technologie geeignet, weil sie es ermöglicht, die Funktion der informationsändernden Vorgänge unmittelbar abzuleiten.

Die Träger von Informationen sind *Signale*. Sie sind materielle Größen, die durch mindestens einen ihrer Parameter Informationen übertragen. Die Information kann durch die räumliche Struktur (Speicherform) oder die Zeitfunktion (Übertragungsform) des Informationsparameters wiedergegeben werden.

Prinzipiell kann jede physikalische, chemische und andere Größe als Träger von Informationen dienen, wobei die Information durch den Werteverlauf der informationstragenden Parameter dargestellt wird.

Häufig in der Praxis benutzte Träger sind elektrische, mechanische, hydraulische, pneumatische und optische Signale. Wichtig ist, dass ein und dieselbe Information durch die unterschiedlichsten Signale dargestellt werden kann. Das ermöglicht die Entwicklung einer allgemeinen Signaltheorie, die von der jeweiligen Art des Trägers abstrahiert. Allerdings beeinflusst die Art des Trägers entscheidend den Aufbau und die Funktionsweise des zur Durchführung des informationsändernden Vorgangs eingesetzten technischen Systems.

Einige Beispiele für Signale sollen diese Zusammenhänge verdeutlichen. Der Quecksilberfaden in einem Thermometer ist ein Signal für die Temperatur seiner Umgebung. Die Länge des Quecksilberfadens ist der Informationsparameter. Die Stellung des Schwimmers in einem Füllstandsmessgerät ist ein Signal für den Füllstand in dem betreffenden Behälter. Der zeitliche Verlauf von Impulsfolgen der Morsezeichen ist ein Signal der zu übertragenden Information. Informationsparameter ist in diesem Fall die Impulsfolge (Breite, Abstände).

Mathematisch können Signale durch die Funktion *f(x,y,z,t)* beschrieben werden, wobei *x*, *y* und *z* drei unabhängige Ortskoordinaten und *t* eine Zeitkoordinate sind. Obwohl alle Signale raumzeitliche Objekte sind, werden in der Regel nicht alle vier Variablen als Informationsparameter genutzt. So wird zwischen *statischen Signalen* (bei denen der Zeitparameter *t* = 0 ist) und *dynamischen Signalen* (t = >0) unterschieden. Hinsichtlich ein- bzw. mehrstelliger Signalfunktionen ergeben sich 7 Möglichkeiten (Tabelle 10.1.). Die ersten drei Zeilen enthalten statische, die folgenden vier Zeilen dynamische Signale.

Allgemeine Charakteristik	Signaldimension	Beispiele
Passive Signale (Speicherform)		
Linear gespeicherte Signale	f (x)	Kerbstock, Knotenschrift, einspurige Schallplatten, Magnetbänder
Flächenhaft gespeicherte Signale	f (x,y)	Schriftzeichen, Bilder, Verkehrszeichen, Lochkarten, Lochbänder, Disketten, Bücher, Magnettrommelspeicher
Räumlich gespeicherte Signale	f (x,y,z)	Plastiken, Hologramme, räumliche Modelle
Aktive Signale (Übertragungsform)		
Zeitliche Signale aus punktförmiger Quelle	f (t)	Trommelsignale, Blinksignale, Sprache, Funksignale, Fernsprechsignale
Zeitlich-lineare Signale	f (x,t)	Rauchsignale, Funkfeuer, Leuchtfeuer
Zeitlich-flächige Signale	f (x,yt)	Schreibvorgang, Filmbilder, Fernsehbild, LCD-Bild
Zeitlich-räumliche Signale	f (x,y,z,t)	Gebärdensprache, Pantomime , Holographie

Tabelle 10.1. Signalarten nach der Zahl ihrer Informationsparameter

Die einzelnen Signalarten lassen sich nach sehr unterschiedlichen Kriterien ordnen (Tabelle 10.2).

Ordnungskriterien	Bezeichnung der Signale
Informationsgehalt	Analoge Signale (beliebige Zwischenwerte) Digitale Signale (nur bestimmte, endlich viele Zwischenwerte)
Erscheinungsform des Informationsparameters	Analoge Signale Diskrete Signale
Arten des Anfallens bzw. der Entnahme der Information	Kontinuierliche Signale Diskontinuierliche Signale
Form der Zeitfunktion	Stetige Signale Unstetige Signale
Art des Informationsträgers	Elektrische, akustische, hydraulische, pneumatische, optische Signale

Tabelle 10.2. Signalarten

Wenn wir das Signal als Informationsträger bezeichnen, müssen wir uns bewusst sein, dass es ein Träger besonderer Art ist. Informationen werden immer durch Signale repräsentiert. Signal und Information lassen sich deshalb auch nur in der Abstraktion trennen. Es wäre falsch, davon zu sprechen, dass Informationen in Signale übergeführt werden. Informationen werden immer nur von einer Signalform in eine andere Signalform übergeführt.

Wir dürfen ebenso Signalprozesse und informationelle Prozesse nicht gleichsetzen. Sie sind jedoch notwendig miteinander verknüpft. Der Signalprozess sichert die materielle Kopplung der Kommunikationspartner. Die veränderlichen Parameter des Signals werden als Informationsparameter genutzt, indem jedem Parameterwert bzw. jeder Parameterwerte-kombination eine bestimmte Information zugeordnet wird.

In Analogie zur Energietechnologie, wo im Bearbeitungsvorgang der Energieträger verändert wird, um eine entsprechende Veränderung der Energie selbst zu erreichen, wird in der Informationstechnologie das Signal bearbeitet, aber eben mit dem Ziel, auf die Information in bestimmter Weise einzuwirken.

Informationen bestehen aus *Zeichen*, denen eine bestimmte Bedeutung zugeordnet ist. Informationen lassen sich durch beliebige Zeichensysteme darstellen. Zeichen können Symbole und Schriftzeichen (Buchstaben, Silben, Worte, Sätze, Zahlzeichen) sein. Sie stehen innerhalb eines bestimmten Codes für einen Sachverhalt, einen Begriff oder einen Gegenstand. Nach der Art der verwendeten Zeichen unterscheiden wir alphabetische, numerische und alphanumerische Zeichensysteme (Abb.10.1.).

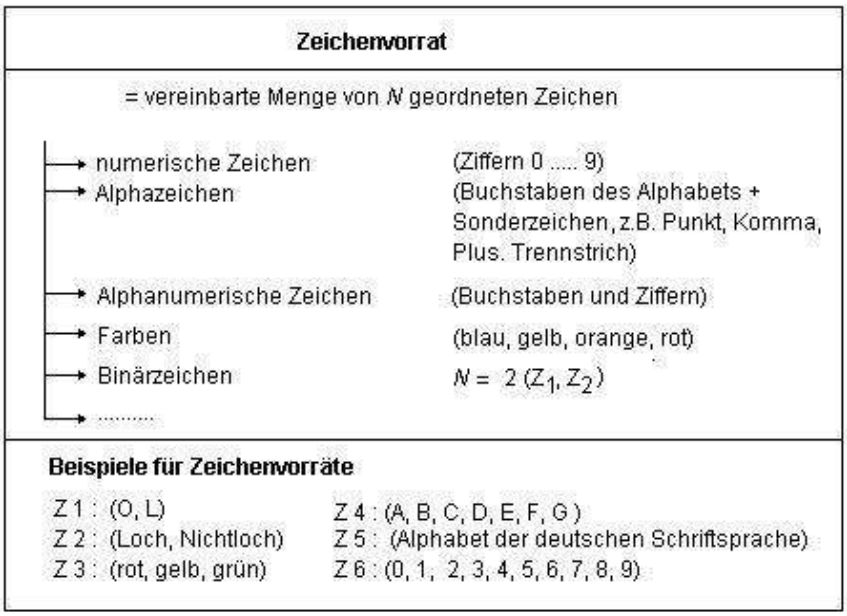


Abb.10.1. Zeichensysteme und Zeichenvorrat

Die Bedeutung der Zeichen ist für die Technologie der Informationsverarbeitung allerdings sekundär, für sie ist die Verarbeitungs- und Übertragungsfähigkeit des Signals der zentrale Aspekt. Anders ausgedrückt: Die Technologie der Informationsverarbeitung befasst sich nicht mit der Bedeutung der Information (dem semantischen Aspekt). Gegenstand der technologischen Betrachtung der Information ist, wie eine Information in einem System verändert wird und nicht, was die Information im empfangenden System bewirkt.

Ein *Kode* ist eine Zuordnungsvorschrift, nach der die Werte eines Zeichenvorrats denen eines anderen Zeichenvorrats zugeordnet werden (Abb.10.2.). Die Transformation eines Zeichensystems in ein anderes auf der Basis einer Zuordnungsvorschrift heißt *Kodierung*. Aufgabe der Kodierung ist es, die von einer Informationsquelle abgegebenen Zeichen an das Informationsverarbeitungssystem anzupassen. In anderen Fällen kann sie auch darin bestehen, schädliche Redundanz einzusparen, d.h. die Weitschweifigkeit einer Information zu verringern, ohne dass ein Informationsverlust eintritt. Der Kodierung kann schließlich auch die Aufgabe zukommen, die Sicherheit gegenüber Störungen zu erhöhen. Das kann durch die Einführung fördernder Redundanz geschehen (Redundanzerhöhung).

Das Finalprodukt der Informationsverarbeitung ist die Resultatinformation. Sie kann als Text, als Datenmassiv, als Software oder aber als Steuerungsinformation vorliegen.

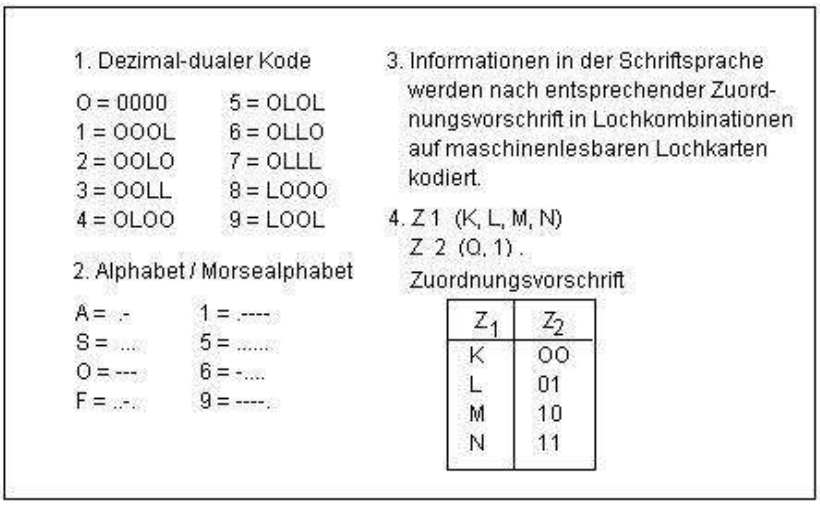


Abb.10.2. Beispiele für Codes

10.3. Hardware und Software als Arbeitsmittelsystem der *Informationstechnologie*

Für das tiefere Verständnis der Informationstechnologie und die Erfassung ihres komplexen Charakters ist eine grundlegende Besonderheit von Bedeutung, die sie gegenüber den stoff- und energieändernden Technologien besitzt. Ihr bestimmendes Arbeitsmittel sind nicht einfach informationsverarbeitende technische Systeme, sondern das *Arbeitsmittelsystem Hardware-Software;* In diesem Arbeitsmittelsystem hat die Software die Aufgabe, die in ihrem Programm gespeicherten Daten über die technologischen Prozessabläufe auf die Hardware zu übertragen.

Unter *Hardware* versteht man in der Informationstechnologie die Gesamtheit der materiell-gegenständlichen Geräte, Maschinen und Einrichtungen, mit denen Informationen verarbeitet werden. *Software* ist die allgemeine Bezeichnung für Informationsverarbeitungsprogramme. Beide, Hardware und Software, sind, jede für sich genommen, nicht funktionsfähig. Erst im kooperativen Zusammenwirken - als Arbeitsmittelsystem - können sie ihre Aufgabe erfüllen. Hier liegt eine gewisse Analogie zur Agrarproduktion vor, wo die Pflanzen als biologische Produktionssysteme erst im Zusammenwirken mit dem Arbeitsmittel Boden (und den agrotechnischen Systemen) ihre Produktivität entfalten können.

Bei den Werkzeugmaschinen der Stoffbearbeitung konnten die technologischen Verfahrensabläufe prinzipiell vom Menschen direkt gesteuert werden. Die Abfolge der Verfahrensschritte war überschaubar, die Geschwindigkeit ihrer Aufeinanderfolge lag im Bereich des menschlichen Reaktionsvermögens und die Verfahren waren in ihrer Struktur relativ einfach. Bei den informationsverarbeitenden Prozessen ist die Situation wesentlich anders. Sie sind außerordentlich komplexer Natur und laufen mit sehr hoher Geschwindigkeit ab. Die Prozesssteuerung durch entsprechende Programme ist unentbehrlich, wenn wirtschaftliche Arbeitsgeschwindigkeiten eingehalten und Ergebnissicherheit erreicht werden soll. Hinzu kommt, dass nicht nur eine Elementaroperation, sondern eine Vielzahl von parallelen Operationen gleichzeitig abläuft. Die Software macht die Steuerung technologischer Abläufe relativ unabhängig von den subjektiven Momenten des Produzenten (Wissen, Können, Qualifikation, Erfahrung, Fehlreaktionen, Ermüdung).

Die Software ist in diesem Sinne ein qualitativ neues Arbeitsmittel. Sie ist materialisierte geistige Vorwegnahme des technologischen Prozessablaufs, ein geistiges Modell der technologischen Prozesse, durch die die Ausgangsinformationen in Resultatinformationen übergeführt werden sollen. Als Arbeitsmittel ist sie notwendiger Bestandteil der technischen Systeme der Informationsverarbeitung.

Die Software ermöglicht, die komplexen technologischen Potenzen der Hardware, die sich aus ihrer Struktur ergeben, multipotent zu nutzen und macht sie damit zu einem universellen Arbeitsmittel. Durch einfachen Austausch der Software wird ein hoher Grad an Flexibilität und Einsatzbreite der Computer für die unterschiedlichsten Aufgaben (im Rahmen ihrer konstruktiv vorgegebenen Kompatibilität) erreicht. Auch hier liegt ein Vergleich zum Boden als universellem Arbeitsmittel der Agrarproduktion auf der Hand, der mit den unterschiedlichsten Pflanzen und dem in ihnen fixierten genetischen Code als Arbeitsmittelsystem wirken kann. Umgekehrt ist die Software selbst ebenfalls universell im Rahmen ihrer Kompatibilität mit der Gerätetechnik einsetzbar.

Die Software unterscheidet sich von den anderen Arbeitsmitteln u. a. dadurch, dass sie keinerlei physischem, wohl aber moralischem Verschleiß unterliegt. Ganz offensichtlich verlagert sich der Akzent zur Beherrschung beliebiger Technologien in allen Produktionszweigen immer mehr auf den Prozess der Softwareausarbeitung und ihrer universellen Anwendung. Die Anwendung der Software ermöglicht es, sowohl im Bereich der Informationsverarbeitung als auch im Zusammenwirken mit der Prozesstechnik in anderen Produktionsbereichen, die fortgeschrittensten Technologien relativ problemlos auf andere Produktionseinrichtungen zu übertragen und damit auf höchstem Standard zu produzieren. Gerade das macht sie zu einem Schlüsselfaktor bei der Herausbildung einer neuen Produktionsweise.

Schließlich sei betont, dass die Software in entscheidendem Maße bestimmt, in welchem Umfang der Mensch aus dem unmittelbaren Produktionsprozess heraustreten kann und seine Arbeitsfunktionen auf die Technik übergehen.

10.4. Grundbegriffe und Grundgesetze

Informationen können zwischen technischen Systemen, zwischen Menschen und technischen Systemen sowie zwischen Menschen ausgetauscht werden. In den ersten beiden Fällen sprechen wir von *Informationsaustausch*. Die kommunikativen Prozesse zwischen Menschen wollen wir im Unterschied dazu mit *Nachrichtenaustausch* bezeichnen. Nachrichten sind demnach eine spezielle Form der Information.

Der Begriff *informationsändernde Vorgänge* umfasst alle Formen der Einwirkung auf Informationen, wie Informationsgewinnung, Informationsverarbeitung, Informationsspeicherung und Informationsübertragung.

Informationsparameter sind die Parameter, deren Werte ein als Informationsträger dienendes Signal kennzeichnen. Sie treten als räumliche und zeitliche Struktur des Signals in Erscheinung. Durch entsprechende Kodierung werden den Signalwerten die von ihnen abzubildenden Informationen eindeutig zugeordnet. *Analoge Informationsparameter* können in einem Intervall beliebige Zwischenwerte annehmen, *diskrete Informationsparameter* dagegen nur endlich viele verschiedene Werte. Kann ein diskreter Informationsparameter nur zwei verschiedene Werte annehmen, nennt man ihn *binär*.

Die Maßeinheit für die Information ist das *bit* (binary digit). Diese Festlegung stützt sich auf die Tatsache, dass die Information durch einen Auswahlvorgang aus einem bestimmten Zeichenvorrat gewonnen werden kann (Abb.10.3.). Die Zahl der notwendigen Binärentscheidungen für die Auswahl eines bestimmten Zeichens aus einem Zeichenvorrat kennzeichnet seinen (mittleren) Informationsgehalt. Die Information von 1 bit liegt genau dann vor, wenn aus einem Vorrat gleich wahrscheinlicher Zeichen eines ausgewählt wird. Das bit ist die kleinste Informationseinheit. Das *Byte* ist die Zusammenfassung von 8 bits zur Darstellung von Ziffern, Buchstaben und Sonderzeichen.

Im Zusammenhang mit der störungssicheren Informationsübertragung sowie mit der Optimierung der Kapazitätsauslastung von Informationskanälen spielt der Begriff der *Redundanz* eine wichtige Rolle. In der umgangssprachlichen Verwendung lässt sich dieser Begriff als Weitschweifigkeit einer Information kennzeichnen. In der Informationstheorie wird als Redundanz der Teil einer Information bezeichnet, der ohne Informationsverlust weggelassen werden kann.

Die Informationsverarbeitung geschieht über Algorithmen und Programme. *Algorithmen* sind Vorschriften für das schrittweise Vorgehen bei der Lösung einer Aufgabe bzw. eines Problems. *Programme* sind maschinenverständliche Algorithmen, die die Überführung der Eingangsinformation in die Resultatinformation beschreiben.

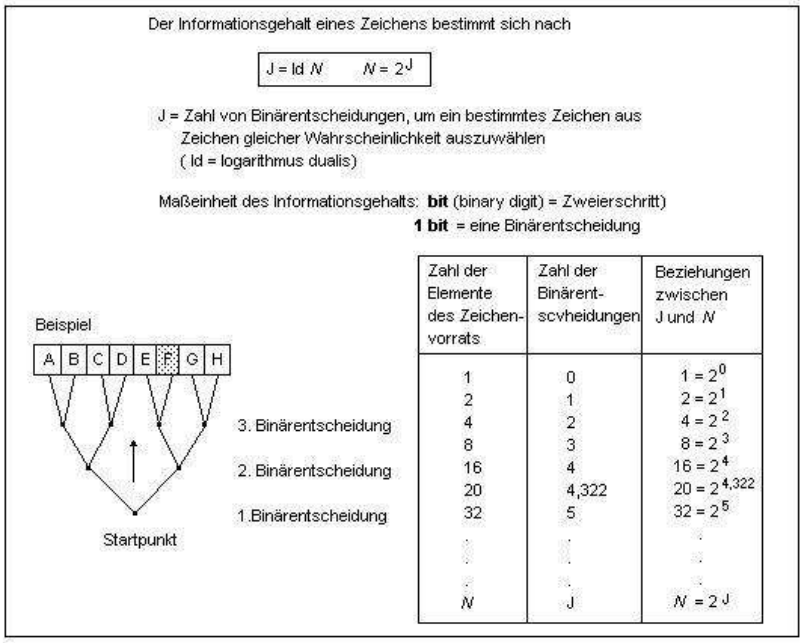


Abb.10.3. Messung des Informationsgehaltes

10.5. Allgemeine Charakteristik der informationsändernden Vorgänge

Wie aus dem System der Bearbeitungsvorgänge abgeleitet werden kann, sind informationelle Arbeitsgegenstände - ebenso wie Stoffe und Energien - in ihrer Form, ihrer Struktur und hinsichtlich ihres Ortes veränderbar. Wir können deshalb drei verschiedene Klassen informationsändernder Bearbeitungsvorgänge unterscheiden:

- Informationsumformungsverfahren
- Informationswandlungsprozesse
- Informationstransportoperationen.

In diesem Kapitel wollen wir nur die beiden erstgenannten Klassen besprechen. Die Letzteren werden gemeinsam mit den Stoff- und Energietransportoperationen behandelt.

Bevor wir erörtern, was im Sinne der allgemeinen Technologie unter Form- und Strukturänderung von Informationen zu verstehen ist, wollen wir einige allgemeine Merkmale der informationsändernden Bearbeitungsvorgänge darstellen.

Aufgabe der informationsändernden Bearbeitungsvorgänge ist die möglichst störungsfreie (d.h. ohne Informationsverluste ablaufende) Umformung, Wandlung, Übertragung und Speicherung von Informationen. Dieses Ziel ist in der Praxis nur annähernd zu erreichen, weil überall nicht vernachlässigbare Störungen auftreten (Störsignale, Rauschen). Sie beeinflussen den Signalverlauf in unerwünschter Weise und können Fehler in der Informationsverarbeitung verursachen.

Bei der Informationsverarbeitung tritt die Originalinformation selbst nicht als Arbeitsgegenstand auf, sondern die im jeweiligen Signal fixierte Struktur der Originalinformation.

Grundlage für die differenzierte Bestimmung der Form- und Strukturänderungvorgänge von Informationen sind die technologisch bedeutsamen Eigenschaften des Signals. Das Signal besitzt (in Anlehnung an FRÜCHTEL) drei wesentliche Aspekte:

- die physikalischen Merkmale des Signalträgers; wir bezeichnen diesen Aspekt als Form des Arbeitsgegenstandes Information,
- der determinierte funktionale Aufbau des Signals (die Zeit- und Ortsfunktion des Informationsparameters), wir belegen ihn mit der Bezeichnung Struktur des Signals;
- die eigentliche Information, abgebildet als Wert bzw. Zeichen des Informationsparameters, wir bezeichnen sie als Inhalt der Information.

Für die technologische Bearbeitung des Arbeitsgegenstandes Information leiten sich daraus drei Zielstellungen ab:

- die Veränderung des Signalträgers
- die Veränderung der Signalstruktur
- die Veränderung des Informationsinhaltes.

Die *Klasse der formändernden Informationsverarbeitungsverfahren* (Informations-umformungsverfahren) definieren wir als Bearbeitungsvorgänge, die den Signalträger verändern, aber die Information selbst nicht. Die Veränderung der trägerspezifischen Merkmale des Signals kann die Trägerart, die Trägererscheinungsform, den Trägerbereich oder auch die Trägerleistung betreffen

Die Klasse der *strukturändernden* Informationsänderungsvorgänge wird als *Informationswandlung* bezeichnet. Sie liegt dann vor, wenn die Signalstruktur (d.h. die Qualität des Informationsparameters) oder der Informationsinhalt (d.h. der Wert des Informationsparameters) verändert wird. Im ersten Fall wird das Signal durch Transformation geändert, im zweiten Fall werden zwei oder mehrere Informationen miteinander verknüpft.

Ein typisches Beispiel für Prozesse dieser Klasse ist die Kodierung. Aufgabe der Kodierung ist es, die Zeichen eines Zeichenvorrats denen eines anderen zuzuordnen (z.B. Zahlen des Dezimalsystems in Zahlen des Dualsystems umzuformen oder alphanumerische Zeichen in Morsezeichen überzuführen). Dabei wird die Signalträgerstruktur verändert.

Für die Informationsinhaltsänderung sind alle Arten logischer Verknüpfung von Signalen charakteristische Beispiele.

10.6. Symboldarstellung der informationsändernden Vorgänge

Das *Grundsymbol der Informationsumformungsverfahren* ist ein Quadrat, in das ein gepunktetes (oder strichpunktiertes), auf seiner Grundseite stehendes Quadrat eingezeichnet ist (Abb.10.4a).

Der Informationsfluss als Fluss des Arbeitsgegenstandes (Hauptfluss) wird ebenfalls punktiert dargestellt. Die Art des materiellen Trägers wird durch eine zweite, unmittelbar unter dem Informationsfluss angeordnete Linie wiedergegeben. Sie wird entsprechend der Trägerart als durchgehende gerade Linie (stofflicher Träger), als Wellenlinie (strahlungsenergetischer Träger) oder als gestrichelte Linie (stofflich-energetischer Träger) gekennzeichnet. Für das Verfahren notwendige Operationsenergie oder andere Hilfsflüsse werden in der auch für andere Klassen technologischer Vorgänge gültigen Form angegeben.

Als Beispiel führen wir die Überführung eines akustischen in ein elektrisches Signal an (Abb.10.4b). Das akustische Signal I_1 wird durch ein Mikrofon in ein elektrisches Signal I_2 übergeführt. Die Information selbst wird dabei nicht verändert. Die Operationsenergie e dient zum Bereitstellen des Informationsträgers. Der Informationsverlust durch Rauschen und Verzerrungen wird durch i, der Energieverlust durch Q angegeben.

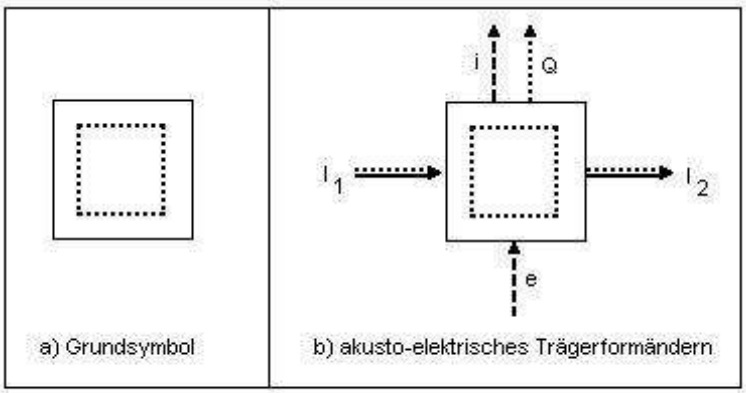


Abb.10.4. Symboldarstellung der Informations-umformungsverfahren

Informationswandlungsprozesse erhalten in das Quadrat ein auf der Spitze stehendes punktiertes Quadrat eingezeichnet (Abb.10.5a.) Für die logische Verknüpfung zweier Informationen, die als elektrische Signale in das informationswandelnde System eingegeben werden, ergibt sich Abb. 10.5b. Zwei Primärinformationen I_1 und I_2 werden durch logische Verknüpfung in eine Resultatinformation I_3 übergeführt. Dabei treten Informationsverluste i und Energieverluste Q auf. Eine besondere Operationsenergie muss nicht in jedem Falle zugeführt werden.

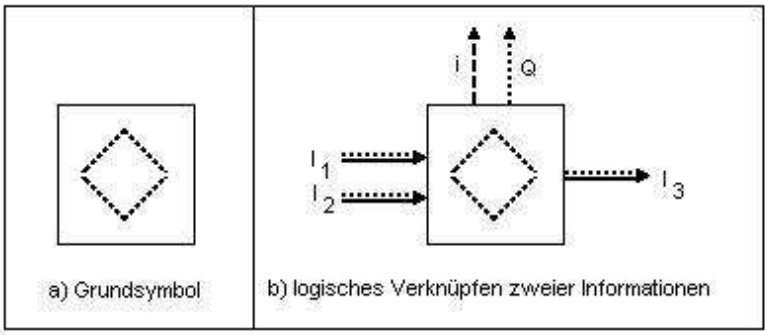


Abb.10.5. Symboldarstellung der Informationswandlungsprozesse

10.7. System der informationsändernden Vorgänge

Grundlage für die Systematisierung der informationsändernden Vorgänge sind die Merkmale des Arbeitsgegenstandes Information als Größen, die durch den jeweiligen Bearbeitungsvorgang verändert werden sollen.

Bei der *Informationsumformung* eignen sich die vier Merkmalsvektoren des Signalträgers als Kriterien für die Untergliederung der Klasse in Verfahrenstypen. Danach können unterschieden werden:

- Trägerformänderung (energieumformend/energiewandelnd)
- Trägerartänderung (durch Einlesen/durch Auslesen)
- Trägerbereichsänderung (Vergrößerung/Verkleinerung)
- Trägerleistungsänderung (Verstärkung/Dämpfung).

Gemeinsam mit den in Klammern benannten jeweils dualen Möglichkeiten der Änderung der einzelnen Signalvektoren ergeben sich acht Verfahrenstypen der Informationsumformung.

Die weitere Untergliederung in Verfahrensgruppen kann durch das Kriterium „Art des Signalträgers“ erfolgen, wobei entsprechend der in der Automatisierungstechnik üblichen Klassifikation 10 energetische Trägerarten unterschieden werden:

- festkörpermechanische Träger
- chemische Träger
- pneumatische Träger
- Schall
- hydraulische Träger
- Licht
- elektrische Träger
- elektromagnetisch Wellen
- magnetische Träger
- Wärme

Daraus leiten sich für den Verfahrenstyp "Energieumformendes Trägerformändern" 10 Verfahrensgruppen entsprechend der Art der Signalträger ab, z.B. Lichträgerformändern oder elektrisches Trägerformändern. Für den Verfahrenstyp "Energiewandelndes Trägerformändern" ergeben sich 90 Verfahrensgruppen. Daraus wird schon deutlich, dass es eine riesige Anzahl von Verfahrensgruppen der Informationsumformung gibt, die hier nur angedeutet werden kann und die z.T. noch gar nicht für die Praxis erschlossen ist.

Eine Übersicht über das System der Informationsumformungsverfahren gibt Tabelle 10.3. Sie enthält zugleich einige Beispiele für Grundverfahren dieser Klasse. Sie sind einzelnen Verfahrensgruppen im Klammerausdruck zugeordnet.

Verfahrenstypen	Beispiele für Verfahrensgruppen und ausgewählte Grundverfahren
Energieumformendes Trägerformändern	elektrisches Trägerformändern (z.B. Widerstands-Spannungsumformen) Rundfunkwellenträgerformändern Schallträgerformändern
Energiewandelndes Trägerformändern	mechano.elektrisches Trägerformändern akusto-elektrisches Trägerformändern strahlungs-elektrisches Trägerformändern
Trägerartändern durch Einlesen	Erzeugung elektrischer Zustände Erzeugung von Rundfunkwellen
Trägerartändern durch Auslesen	Erfassung mechanischer Zustände (z.B. Lochbandlesen) Erfassung hydraulischer Zustände (z.B. Füllstandsmessen)
Trägerbereichsvergrößerung	pneumatische Trägerbereichsvergrößerung (z.B. Druckvergrößerung) elektrische Trägerbereichsvergrößerung (z.B. Spannungserhöhung)
Trägerbereichsverkleinerung	hydraulische Trägerbereichsverkleinerung (z.B. Druckminderung) elektrische Trägerbereichsverkleinerung (z.B. Spannungsminderung)
Trägerleistungsverstärkung	pneumatische Trägerleistungsverstärkung (z.B. pneumatische Membranventilsteuerung) elektrische Trägerleistungsverstärkung (z.B. elektrische Widerstandssteuerung)
Trägerleistungsdämpfung	pneumatische Trägerleistungsdämpfung (z.B. Drosselung) elektrische Trägerleistungsdämpfung (z.B. Widerstandsdämpfung)

Tabelle 10.3. Übersicht zu den Informationsumformungsverfahren (nach FRÜCHTEL)

Die Untergliederung der *Informationswandlungsprozesse* erfolgt nach den Signalmerkmalsvektoren "Veränderung des Informationsparameters", "Änderung des Signalcharakters" und "Änderung des Informationsinhaltes". Einschließlich der für die einzelnen Merkmale möglichen Änderungsarten ergeben sich auch für diese Klasse der Bearbeitungsvorgänge 8 Prozesstypen:

- Informationsparameteränderung Amplitudenbereich/Zeitbereich
- Informationsparameteränderung Zeitbereich/Zeitbereich
- Signalcharakteränderung durch Quantisierung
- Signalcharakteränderung durch Dequantisierung
- Analogtransformation
- Digitaltransformation
- Analogverknüpfung
- Digitalverknüpfung

Die weitere Untergliederung der Prozesstypen in Prozeßgruppen unterliegt für jeden Typ spezifischen Kriterien. Bei den Prozesstypen, die mit der Veränderung des Informationsparameters verbunden sind, sind dies die klassifizierbaren Informationsparameterarten.

Für weitergehende Darstellungen verweisen wir auf die Literatur 10.1. Einen Überblick über das .System der Informationswandlungsprozesse gibt Tabelle 10.4.

Prozeßtypen	Beispiele für Prozeßgruppen und ausgewählte Grundprozesse
Informationsparameteränderung Amplitudenbereich/Zeitbereich	Auslenkungs-Frequenz-Wandlung (z.B. Sinusfrequenzerzeugung) Zeitdauer-Auslenkungs-Wandlung Phasen-Auslenkungs-Wandlung
Informationsparameteränderung Zeitbereich / Zeitbereich	Frequenz-Phasen-Wandlung (z.B. Sinusfrequenz-Phasenwandlung) Zeitdauer-Frequenzwandlung Phasen-Zeitdauerwandlung
Signalcharakteränderung durch Quantisierung	Erzeugung diskreter Informationsparameter (z.B. Zweipunkt-Signalerzeugung) Analog-Digital-Wandlung (z.B. Dualworterzeugung, Kodieren)
Signalcharakteränderung durch Dequantisierung	Glättung Extrapolation Digital-Analog-Wandlung (Z.B. Dekodieren)
Analogtransformation	statisch-lineare Analogtransformation statisch-nichtlineare Analogtransformation dynamisch-lineare Analogtransformation dynamisch-nichtlineare Analogtransformation
Digitaltransformation	statisch-arithmetische Digitaltransformation statisch-logische Digitaltransformation (z.B. Negation) dynamisch-arithmetische Digitaltransformation (z.B. Dualzählung)
Analogverknüpfung	statisch-lineare Analogverknüpfung (z.B. Subtrahieren) dynamisch-lineare Analogverknüpfung (z.B. Korrelation)
Digitalverknüpfung	statisch-arithmetische Digitalverknüpfung (z.B. Addition) statisch-logische Digtalverknüpfung (z.B. UND-Verknüpfung) dynamisch-arithmetische Digitalverknüpfung dynamisch-logische Digitalverknüpfung

Tabelle 10.4. Übersicht zu den Informationswandlungsprozessen (nach FRÜCHTEL)

10.8. Struktur und Wirkprinzipien informationsändernder Vorgänge

Die Strukturelemente der informationsändernden Vorgänge weisen eine Reihe spezifischer Merkmale auf.

Die charakteristischen *Verarbeitungseigenschaften des Signals* lassen sich (nach MAERTENS und FRÜCHTEL) zunächst in zwei Gruppen einteilen: in signalträger-spezifische Komponenten und signalstrukturspezifische Komponenten.

Die *trägerspezifischen Merkmale* umfassen:

- die Trägererscheinungsform (elektrische Spannung, pneumatischer Druck, Schall)
- die Trägerart (dynamischer Träger / statischer Träger)
- den Trägerbereich (Beschreibung des unteren und oberen Grenzwertes des Trägers)
- die Trägerleistung (Leistungsgrößen in Watt, elektrischer Spannung, elektrischer Strom)

Die *strukturspezifischen Merkmale* sind:

- die Informationsparameter (z.B. Amplitude, Impulsbreite, Sinusfrequenz, geometrische Form)
- der Signalcharakter (Wertevorrat analog/diskret, kontinuierlich/diskontinuierlich, stetig/unstetig)

Die aus der Gesamtheit der angeführten Signalmerkmale für jeweils einen bestimmten technologischen Grundvorgang der Informationsverarbeitung wesentlichen Komponenten bilden die Verarbeitungseigenschaften des Signals.

Die *Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans* lassen sich in ähnlicher Weise in 6 Komponenten zusammenfassen:

- die Grundwirkform (als allgemeine konstruktive Form des Arbeitsorgans, wobei die Grundformen für die einzelnen energetischen Trägerarten spezifisch sind. Typische Beispiele sind: Schalter, Teiler, Verstärker, Analogverknüpfungsglieder, Trigger, Diskretverknüpfungsglieder)
- Eingangsparameter (beschreiben die Anpassungsfähigkeit des Arbeitsorgans an den konkreten Arbeitsgegenstand)
- Ausgangsparameter (wie bei den Eingangsparametern, nur ausgangsseitig)
- Strukturänderungsvorschrift (sagt aus, welche Änderungen die strukturspezifischen Merkmale des Signals erfahren sollen)
- Informationsinhaltsänderungsvorschrift (sagt aus, wie der Wert des Informationsparameters zu ändern ist).

Das Arbeitsorgan kann wegen der Komplexität der technologischen Vorgänge ebenfalls komplizierte Strukturen aufweisen. Die meist zeitlich parallel oder seriell ablaufenden Teilvorgänge eines komplexen Grundvorgangs müssen ebenso wie die zuzuordnenden Strukturen des Arbeitsorgans als funktionelle Einheit betrachtet werden. Weiter gilt, dass die komplexen Strukturen des Arbeitsorgans multipotent sind, d.h. häufig eine Vielzahl unterschiedlicher Grundvorgänge realisieren können.

Die Vorgänge der Informationsverarbeitung erfordern wie alle anderen Bearbeitungsvorgänge, durch die Arbeit verrichtet wird, die Aufwendung von Operationsenergie. Sie wird entweder mit dem Signalträger eingebracht oder auf gesondertem Weg dem Bearbeitungssystem zugeführt. Die Operationsenergie wird bei der Bearbeitung als thermische Verlustenergie wieder abgeführt, in bestimmten Fällen (z.B. bei Leistungsverstärkung) kann sie auch im Produkt (dem verstärkten Signal) enthalten sein.

Die *energetischen Wirkbedingungen* erfassen als wesentliche Komponenten:

- die Energieart (z.B. elektrische Energie, pneumatische Energie, Licht, Schall)
- die Energiezuführung (sagt aus, ob die Operationsenergie mit dem Arbeitsgegenstand, von außen oder kombiniert zugeführt wird)
- die Leistungsaufnahme (sagt aus, welcher Energieaufwand pro Zeiteinheit zugeführt werden muss, z.B. als Dauerleistung, Impulsleistung)
- das Wirkverhältnis
- die zeitliche Wirkdimension (gibt die Zeitfunktion der Energiewirkung an, z.B. kontinuierlich, diskontinuierlich, impulsförmig)
- die geometrische Wirkdimension (macht Aussagen zum Wirkungsquerschnitt der Energie, z.B. punktförmig, flächig, räumlich).

Das technologische *Wirkprinzip informationeller Vorgänge* hat grundsätzlich die gleiche Aussagenstruktur wie die Wirkprinzipien anderer Bearbeitungsklassen. Wir möchten deshalb nur an einigen Beispielen die konkrete Form demonstrieren.

FRÜCHTEL hat eine Reihe von informationstechnologischen Wirkprinzipien formuliert und modellmäßig dargestellt. Wir referieren einige Beispiele.

Das *magnetische Ausleseprinzip* liegt der Verfahrensgruppe „Trägerformändern durch Erfassen magnetischer Zustände“ zugrunde. Es ermöglicht das Umformen statisch magnetischer Signale in dynamische Signale. Die in einem magnetischen Ringkernspeicher oder auf Magnetplatten als statisch magnetische Zustände gespeicherten Informationen werden mittels eines elektromagnetischen Größenumformers unter Nutzung elektromagnetischer Effekte in dynamische Signale übertragen. Das dynamische elektrische Signal erhält seine informationelle Struktur durch Zuschalten oder zeitabhängige serielle Erfassung (durch Weiterschalten oder mechanischen Weitertransport des Speichermediums). Elektrische Operationsenergie muss zugeführt werden.

Das *statisch arithmetische Verknüpfungsprinzip entspricht der Prozessgruppe "Statische arithmetische Verknüpfung"*. Die Grundvorgänge Addition und Subtraktion gehören in diese Gruppe. Dabei werden mindestens zwei Eingangssignale mittels binären/digitalen Verknüpfungsgliedern (Halbaddierer, Volladdierer, Subtrahierer) miteinander verknüpft und das Ergebnis (der Informationsinhalt) als resultierender Momentanwert im Informationsparameter eines digitalen Resultatsignals fixiert. Operationsenergie muss zugeführt werden.

10.9. Vorgangsdarstellung „Durchflussmessung mittels Schwebekörpereinrichtung“

1. Verfahrenscharakteristik

Die Messung des Gasdurchflusses in Leitungssystemen (Volumenstrom in $m^3 \cdot s^{-1}$) kann mittels einer Schwebekörpereinrichtung durchgeführt werden. Das Grundverfahren heißt "Volumenstrom-Weg-Umformung". Es ist der Verfahrensgruppe "pneumomechanisches Trägerformändern" innerhalb des Verfahrenstyps "energieumformendes Trägerformändern" zuzuordnen.

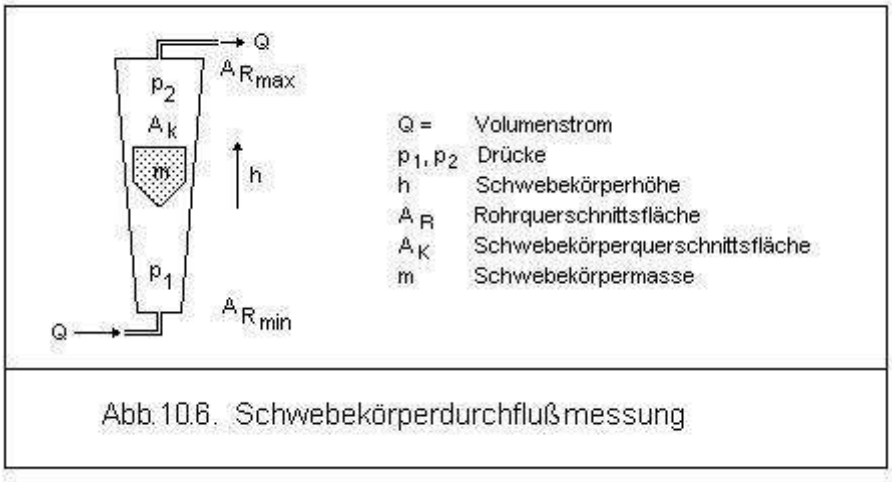


Abb.10.6. Schwebekörperdurchflußmessung

Messtechnisch geht es dabei um die Umformung des Durchflusses Q eines gasförmigen Mediums in einen signaltechnisch leicht weiter verarbeitbaren Höhenwert h eines metallischen Schwebekörpers in einem pneumomechanischen Größenumformer (repräsentiert durch einen Schwebekörperdurchflußmesser) (Abb.10.6.). Als Informationsparameter fungiert der Höhenausschlag des Schwebekörpers.

2. Symboldarstellung (Abb.10.7.)

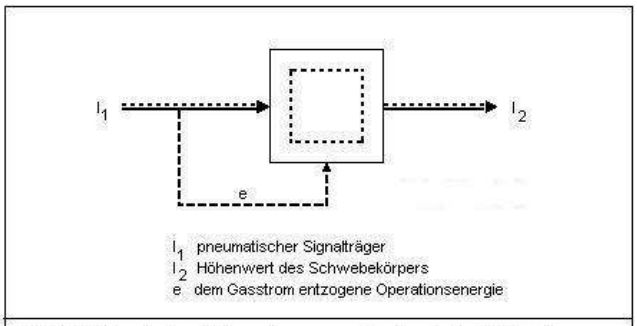


Abb.10.7. Symboldarstellung des pneumomechanischen Trägerformänderns (Durchflußmessung mittels Schwebekörpermeßeinrichtung)

3. Grundlagen

Ein Gasstrom durchläuft ein leicht konisches Rohr mit kreisförmigem Querschnitt von unten nach oben. Im Konus befindet sich ein zylindrischer Schwebekörper. Das strömende Gas erzeugt am Schwebekörper einen Druckabfall. Die Größe der Druckdifferenz vor und hinter dem Schwebekörper wird von der Strömungsgeschwindigkeit des Gases und der Querschnittsflächendifferenz von Konus und Schwebekörper bestimmt. Von ihr hängt die Auftriebskraft ab, die auf den Schwebekörper einwirkt. Der Schwebekörper verbleibt solange in seiner Lage, wie die Druckdifferenz eine gleichgroße Kraft erzeugt wie die Gewichtskraft des Körpers. Ändert sich die Druckdifferenz durch Änderung des Volumenstromes, so stellt sich durch Lageänderung des Schwebekörpers ein neues Gleichgewicht ein.

4. Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes

- Trägererscheinungsform : Volumenstrom
- Trägerart : dynamisch
- Trägerbereich : nach Auslegung des Gerätes
- Trägerleistung : nach Auslegung des Gerätes
- Informationsparameter : Ausschlaggröße
- Signalcharakter : analog/kontinuierlich

5. Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans

- Grundwirkform : pneumato-mechanischer Größenumformer
- Eingangsparameter : determiniert durch Trägerbereich und Trägerleistung
- Ausgangsparameter : determiniert durch Trägerbereich und Trägerleistung
- Trägeränderungsvorschrift : Höhe = *f*(Volumenstrom)
  statisch

6. Energetische Wirkbedingungen

- Energieart : pneumatische Energie
- Energiezuführung : erfolgt mit Signalträger
- Leistungsaufnahme : proportional der Auslegung des Gerätes
- Wirkverhältnis : keine Energieaufprägung auf Träger
- Zeitliche Wirkdimension : kontinuierlich
- Geometrische Wirkdimension : flächig

7. Wirkprinzip

Ein pneumatischer Energieträger, repräsentiert durch einen Volumenstrom, wird mittels eines pneumomechanischen Umformers (Schwebekörperdurchflußmesser) in einen mechanischen Signalträger, repräsentiert durch den Höhenwert des Schwebekörpers, unter Ausnutzung gasmechanischer Effekte umgeformt. Die Operationsenergie wird dem Arbeitsgegenstand entzogen und geht als Verlustleistung verloren.

Literatur

10.1 G. Früchtel: Zur Technologie der Informationsverarbeitung (Vorgangssystematisierung, Wirkprinzipien und Vorgangsmodellierung aus allgemeintechnologischer Sicht), Dissertation B, Martin-Luther-Universität, Halle (Saale) 1988

10.2 H. Mackeprang: Zum Informationsbegriff in der Allgemeinen Technologie, Dissertation, Technische Universität, Berlin 1987

10.3 H.D. Maertens: Untersuchungen zur Struktur technologischer Grundvorgänge in der Informationsverarbeitung, Dissertation B, Martin-Luther-Universität, Halle (Saale) 1980

10.4 R. Scholze / G. Schulze: Information - eine Klasse von Arbeitsgegenständen, Dissertation A, Martin-Luther-Universität, Halle (Saale) 1984

10.5 A.D. Ursul: Information - eine philosophische Studie, Berlin 1970

10.6 G. Klaus / H. Liebscher: Systeme-Informationen-Strategien, Berlin 1974

10.7 J. Matschke: Von der einfachen Logikschaltung zum Mikrorechner, Berlin 1989

10.8 E.G. Woschni: Informationstechnik, Berlin 1973

10.9 R. Worch: Informationsändernde technische Vorgänge aus allgemeintechnischer Sicht; Habilitationsschrift, Martin-Luther-Universität, Halle (Saale) 1992

11. Ortsändernde technologische Vorgänge (Transport-, Umschlag- und Lagervorgänge)

11.1. Charakteristik der Transportoperationen

Transportoperationen sind technologische Vorgänge, die eine gezielte Ortsveränderung von Transportobjekten durch Transportmittel auf einem Transportweg bewirken.

Transportoperationen besitzen gegenüber den bisher besprochenen Klassen technologischer Vorgänge eine grundsätzliche Besonderheit. Durch den Transportvorgang erfährt der Arbeitsgegenstand keine sichtbare Veränderung. Das wirft die Frage auf, ob Transportoperationen überhaupt technologische Bearbeitungsvorgänge im Sinne der von uns verwendeten Definition sind und damit in den Gegenstandsbereich der allgemeinen Technologie gehören.

Der Transport ist auf allen Stufen des arbeitsteiligen gesellschaftlichen Produktionsprozesses notwendiges Element und grundsätzliche Bedingung. MARX hat an vielen Stellen seines ökonomischen Werkes die Rolle und Funktion des Transports in der gesellschaftlichen Produktion und Konsumtion behandelt. Er charakterisiert das Transportwesen als Zweig der materiellen Produktion. "Es wird hier...an dem Arbeitsgegenstand eine materielle Veränderung hervorgebracht - eine räumliche Ortsveränderung. In Bezug auf den Menschen erscheint dies nur als ein Dienst... Betrachten wir dagegen den Prozess mit bezug auf Waren, so geht hier zwar im Arbeitsprozess eine Veränderung vor mit dem Arbeitsgegenstand, der Ware. Sein örtliches Dasein wird verändert, und damit geht eine Veränderung in seinem Gebrauchswert vor...Sein Tauschwert wächst in demselben Maße, wie diese Veränderung seines Gebrauchswertes Arbeit erheischt. Sobald die Ware am Bestimmungsort angelangt ist, ist diese Veränderung, die mit ihrem Gebrauchswert vorgegangen, verschwunden und drückt sich nur noch in ihrem erhöhten Tauschwert, in der Verteuerung der Ware aus. Obgleich nun diese reale Arbeit keine Spur am Gebrauchswert zurückgelassen hat, ist sie dennoch im Tauschwert dieses materiellen Produkts realisiert, und so gilt von dieser Industrie wie von den anderen Sphären der materiellen Produktion, dass sie sich verkörpert in der Ware, obgleich sie keine sichtbare Spur an dem Gebrauchswert zurückgelassen" (Lit.11.12.,S.387/388).

Transportoperationen sind also ein untrennbarer Bestandteil des Produktionsprozesses. Sie weisen die typischen Merkmale technologischer Bearbeitungsvorgänge auf: die qualitative, zielgerichtete Veränderung des Arbeitsgegenstandes. Das Wesen der Transportoperationen besteht in der Orts- bzw. Lageveränderung von Arbeitsgegenständen, ohne dabei eine Änderung ihrer stoffgebundenen Gebrauchseigenschaften zu bezwecken. D.h. dass im Unterschied zu den anderen Klassen technologischer Vorgänge der Arbeitsgegenstand dabei keiner Form- oder Strukturveränderung unterliegen soll. Das Ergebnis der Transportoperationen ist also kein gegenständliches Produkt, sondern eine Leistung.

Nach KORTUM besteht die Grundaufgabe der Transportoperationen darin, "die Transportobjekte mit einem Minimum an Verlusten oder Veränderungen mit einem möglichst geringen Aufwand von der Ausgangsstation zur Endstation zu befördern" (Lit.11.1.,S.92).

Der Transportbegriff wird in der Technologie in doppelter Bedeutung verwendet. In einem weiteren Sinne erfasst er die Gesamtheit der Vorgänge vom Absender bis zum Empfänger, d.h. die mit der Ortsveränderung verbundenen Operationen, die technologischen Vorgänge der Be- und Entladung sowie die Lageroperationen. In diesem Sinne ist der Transportbegriff synonym mit dem Begriff TUL-Prozesse. TUL ist ein Kürzel für Transportieren, Umschlagen und Lagern. Im engeren Sinne bezeichnet der Transportbegriff nur den Teil der TUL-Prozesse, der ausschließlich die Ortsveränderung bewirkt, während Umschlag- und Lageroperationen gesondert betrachtet werden.

GARBE definiert in diesem Zusammenhang: "*Transport* ist das Fortbewegen (die zielgerichtete Ortsveränderung) von Gütern mit dem Ziel, diese an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt bereitzustellen... *Umschlag* ist das Beladen, Entladen oder Umladen und damit das Überwechseln von Gütern von einem Transport- oder Lagermittel (bzw. einem Lagerplatz) auf ein anderes... *Lagerung* ist das Aufbewahren von Gütern mit dem Ziel, diese zu einem bestimmten Zeitpunkt verfügbar zu haben." (Lit.11.3.,S.11).

Zwischen Transport-, Umschlag- und Lageroperationen besteht ein enger wechselseitiger Zusammenhang. Nur optimale Relationen zwischen den einzelnen Elementen des TUL-Prozesses ermöglichen effektive Lösungen. Zu geringe Lagerkapazitäten führen zu unvollständiger Auslastung der Transportmittel oder beeinflussen den kontinuierlichen Transportablauf negativ. Leistungsdefizite der Umschlagmittel erhöhen die

unproduktiven Standzeiten der Transportmittel, zu hohe Umschlagkapazitäten bringen überhöhte Umschlagkosten. Zu geringe Leistungsfähigkeit der Transportmittel verlängert die Lagerzeit der Transportobjekte oder führt zu einem Stau. Stockungen oder Unterbrechungen im eigentlichen Transportprozess erhöhen die Gütermenge, verlängern die Transportzeit und blockieren Transportmittel. Diese und weitere Beziehungen machen den komplexen Zusammenhang zwischen den Elementen des TUL-Prozesses deutlich.

In der allgemeinen Technologie wird der Transportbegriff im weiten Sinne verwandt. Für Lageroperationen wird der Begriff des Speicherns benutzt. Wir fassen sie als Transportvorgänge mit dem Ortsänderungsparameter 0 auf.

Hinsichtlich seiner Funktion im Produktions- und Wirtschaftsprozess unterscheidet man zwischen prozeßintegriertem, innerbetrieblichem und außerbetrieblichem Transport.

Der *prozeßintegrierte Transport* ist notwendiger Bestandteil jedes Produktionsprozesses. Der Arbeitsgegenstand durchläuft bei seiner Bearbeitung eine technologische Kette. Dazu ist ein Transport von jeweils einer Bearbeitungsstation zur nächsten notwendig. In Relation zum produktbildenden Hauptprozess sind Transportoperationen dabei Hilfsprozesse. In zwangsverketteten Produktionssystemen (Taktstraßen, Chemieanlagen) sind die Transportvorgänge auch apparativ in den Prozess integriert.

Der *innerbetriebliche Transport* umfasst die Material- und Güterbewegungen im gesamten Betrieb vom Wareneingang bis zum Warenausgang. Er verbindet die einzelnen Bearbeitungsstellen, Produktionsabschnitte und Lager miteinander. Der Umfang des innerbetrieblichen Transports übersteigt den außerbetrieblichen bei weitem. In den einzelnen Produktionszweigen gibt es allerdings große Unterschiede. Im Maschinenbau und in der chemischen Industrie liegt der Anteil der Transportoperationen zwischen 6 und 18%, in der Lebensmittelindustrie zwischen 6 und 25%, in der Landwirtschaft zwischen 10 und 30% und im Bauwesen bei 30 bis 50%. Am höchsten ist er im Bergbau mit 50 bis 70% (Lit.11.11., S.23). Diese Zahlen verdeutlichen zugleich die Bedeutung der Transportoperationen in den Produktionsprozessen.

Während der innerbetriebliche Transport gegenüber dem Hauptprozess der Erzeugung der charakteristischen Produkte ein Hilfsprozess ist, stellt der *außerbetriebliche Transport* einen "zusätzlichen" Produktionsprozess dar. Er setzt den Produktionsprozess in der Zirkulationssphäre fort. Der außerbetriebliche Transport bildet einen eigenen Wirtschaftsbereich, das Transportwesen. In ihm sind die Transportoperationen die wesensbestimmenden technologischen Vorgänge, sie bilden den Hauptprozess. Sie erfolgen auf Straßen, Schienen- und Wasserwegen.

Wir haben bereits darauf hingewiesen, dass *Speicheroperationen* innerhalb der Klasse der Transportoperationen mit erfasst werden. Die Charakteristik der technologischen Vorgänge des Speicherns weist weitgehende Übereinstimmung mit den Transportoperationen auf. Das Speichern hat die Aufgabe, die zu speichernden Objekte bis zum Zeitpunkt ihres Einsatzes in der Produktion oder auf dem Markt unverändert und mit einem Minimum an Verlusten aufzubewahren. Vom Transport unterscheidet es sich darin, dass der Ortsparameter unverändert bleibt, mathematisch ausgedrückt erhält er den Wert 0. Es ist deshalb üblich, Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse als Einheit zu sehen.

Die Notwendigkeit der Speicheroperationen im Produktionsprozess ergibt sich aus der Tatsache, dass im Prozessablauf Zwischenprodukte oft zu einer Zeit anfallen, zu der sie nicht sofort weiterverarbeitet oder als Produkt nicht kontinuierlich in die Zirkulationssphäre abgegeben werden können. Sie müssen dann bis zum Zeitpunkt ihres Einsatzes möglichst unverändert und mit einem Minimum an Verlusten gespeichert werden. Die technologische Funktion der Speicheroperationen besteht darin, den schwankenden Anfall und Bedarf an Ausgangsmaterial, Hilfsstoffen, Zwischenprodukten und Produkten innerhalb des Produktionsprozesses und gegenüber dem Markt auszugleichen und damit zur Kontinuität und Stabilität des Produktionsprozesses beizutragen (Über die Rolle des Speicherprinzips zur Stabilisierung technologischer Systeme s. Kap. 15.4.).

KORTUM betont die Bedeutung der Speicheroperationen, indem er darauf hinweist, dass bei der Prozessautomatisierung "die Verarbeitung von nicht speicherfähigen Objekten oder die Gestaltung von Arbeitsprozessen ohne ausreichende Möglichkeiten der Einschaltung von Speichern an die Leistungsfähigkeit und Kompliziertheit der Steuerungen entsprechend höhere Ansprüche stellt. Auftretende Störungen oder starke Schwankungen der Eingangs- und Ausgangsgrößen sind auf der anderen Seite umso leichter zu eliminieren, je größer das Speichervermögen der am Prozess beteiligten Elemente ist" (Lit. 11.2., S.276). Speicher sind also unentbehrliche Glieder im technologischen Gesamtprozess.

Eine allgemeine Transporttheorie steckt noch in den Anfängen. Arbeiten unter allgemeintechnologischen Aspekt sind besonders im Rahmen der Automatisierungstechnik bekannt geworden. Das erklärt sich aus der

Notwendigkeit, dass bei der Automatisierung von Produktionsprozessen die Einbeziehung der Transport- und Speicherprobleme eine unumgängliche Bedingung ist. Insbesondere hat sich H.KORTUM um eine allgemeine Transporttheorie verdient gemacht. Unsere folgenden Darstellungen stützen sich wesentlich auf die von ihm entwickelte Konzeption.

11.2. Arbeitsgegenstände der Transportoperationen

Im Rahmen der allgemeinen Technologie werden die Arbeitsgegenstände der Transportoperationen unter dem Sammelbegriff *Transportobjekte* zusammengefasst. Transportobjekte können Stoffe (S), Energien (E) und Informationen (I) sein. Entsprechend wird zwischen Stoff-, Energie- und Informationstransport unterschieden.

Innerhalb der einzelnen Klassen von Transportobjekten ist es zweckmäßig, jeweils 2 Gruppen zu unterscheiden:

- bei stofflichen Transportobjekten zwischen Fließgut (S_F) und Stückgut (S_Z, Z = Stückzahl), bei energetischen Transportobjekten zwischen potentieller Energie (dargestellt durch ruhende Energieträger, E_{pot}) und kinetischer Energie (dargestellt durch bewegte Energieträger, E_{kin}),
- bei informationellen Transportobjekten zwischen diskreten Informationen (dargestellt durch stoffliche Informationsträger, I_Z) und analogen oder diskreten Informationen (dargestellt durch kinetisch-energetische Informationsträger, I_{kin}).

In Tabelle 11.1. werden die verschiedenen Arten von Transportobjekten und ihre Analogien veranschaulicht. Eine Zusammenstellung wichtiger Transportobjekte enthält Tabelle 11.2. Im Zusammenhang mit der TUL-Technologie unterscheidet man als Teilklassen der Transportobjekte zwischen Transportgütern, Umschlaggütern und Lagergütern.

Arten der Transportobjekte	Klassen der Transportobjekte		
	stoffliche Transportobjekte	energetische Transportobjekte	informatorische Transportobjekte
"Stück"-Objekte	S_Z	E_{pot}	I_Z
"Fließ"-Objekte	S_F	E_{kin}	I_{kin}

Tabelle 11.1. Analogien zwischen S-, E- und I-Transportobjekten (nach Kortum)

Art der Transportjekte	Beispiele
S_Z	Stückgüter aller Art (in Behältnissen verpackte Transsportobjekte), Container
S_F	Schüttgüter: Erze, Sand, Kalk, Rohsalz Kartoffeln Flüssigkeiten: Wasser, flüssige Chemikalien
E_{pot}	Kohle, Erdöl, Erdgas, Benzin, Heizöl
E_{kin}	Elektroenergie, Dampf, Druckluft, Drucköl, Druckwasser
I_{pot}	Bücher, Zeitungen, Briefe, Tonbänder, Disketten
I_{kin}	Funkwellen, Lichtsignale, Telefongespräche

Tabelle 11.2. Übersicht zu Transportobjekten

11.3. Grundbegriffe

Der Transportvorgang besitzt eine Reihe charakteristischer Kenngrößen.

Der Transport erfolgt innerhalb des *Transportkanals*. Darunter ist der dem Transportobjekt durch technische Mittel (Rohrleitung, Schienenweg, Straße, elektrische Überlandleitung usw.) vorgegebene Weg zwischen Eingabe- und Ausgabestelle der Transportstrecke zu verstehen. Die *Transportdichte* (D) ergibt sich aus der effektiv im Transportkanal befindlichen Menge der Objekte (Q_O), ihrer Geschwindigkeit (v) und der Länge des Transportweges (l). In bestimmten Zusammenhängen werden für Transportdichte auch die Bezeichnungen Flussdichte, Durchsatz und Durchfluss gebraucht.

Die *Kanalkapazität* ist der Ausdruck für den Quotienten aus der maximal im Transportkanal speicherbaren Menge von Transportobjekten (Q_{max}) und der *Transportzeit* (T_t). Letztere ergibt sich aus dem Quotienten von Transportgeschwindigkeit (v) und der Länge des Transportweges (l). Der Begriff der Kanalkapazität wird bisher lediglich im Bereich des Informationstransports verwendet. Er lässt sich im Rahmen der allgemeinen Technologie aber auf alle Klassen von Transportoperationen übertragen.

Schließlich ist die *Taktzeit* (Δ t) von Bedeutung. Sie ist durch die Menge der in einem bestimmten Zeitraum sequentiell in den Transportkanal eingegebenen Transporteinheiten definiert.

Tabelle 11.3. fasst die charakteristischen Kenndaten der Transportoperationen formelmäßig zusammen.

Transport-objekte	Transportdichte D	Kanalkapazität K	Maßein-heiten	Transporteinheit
Verallge-meinert Q	$D = \frac{Q_o \cdot v}{l} = \frac{Q_o}{t_T}$	$K = \frac{Q_{max} \cdot v}{l} = \frac{Q_o}{t_T}$	–	$\frac{Q_o \cdot \Delta t}{t_T} = D \cdot \Delta t$
Fließgut S_F	$D_{S_F} = \frac{S_{F_0} \cdot v}{l} = \frac{S_{F_0}}{t_T}$	$K_{S_F} = \frac{S_{F_{max}} \cdot v}{l} = \frac{S_{F_{max}}}{t_T}$	kg/s oder m^3/s	$\frac{S_{F_0} \cdot \Delta t}{t_T} = D_{S_F} \cdot \Delta t$
Stückgut S_Z	$D_{S_Z} = \frac{S_{Z_0} \cdot v}{l} = \frac{S_{Z_0}}{t_T}$	$K_{S_Z} = \frac{S_{Z_{max}} \cdot v}{l} = \frac{S_{Z_{max}}}{t_T}$	Stück / s	1
Energie E	$D_E = \frac{E_0 \cdot v}{l} = \frac{E_0}{t_T}$	$K_E = \frac{E_{max} \cdot v}{l} = \frac{E_{max}}{t_T}$	Watt	$\frac{E_0 \cdot \Delta t}{t_T} = D_E \cdot \Delta t$
Information I	$D_I = \frac{I_0 \cdot v}{l} = \frac{I_0}{t_T}$	$K_I = \frac{I_{max} \cdot v}{l} = \frac{I_{max}}{t_T}$	Bit / s	1

Tabelle 11.3. Kenndaten der Transportoperationen

11.4. Transportketten

Ähnlich wie die Wandlung der Primärenergie in Endenergie (Gebrauchsenergie) in charakteristischen Energieketten verläuft (vgl.Kap.9.12.), lassen sich auch für Ortsveränderungsprozesse typische Folgen von Transport-, Umschlag- und Lageroperationen angeben, die als Transportketten bezeichnet werden.

"Eine Transportkette ist die geplante und in den technischen Mitteln sowie den organisatorischen Maßnahmen im Voraus bestimmte Aufeinanderfolge aller Operationen beim Transportieren, Umschlagen und Lagern der Güter auf dem Wege vom Versender zum Empfänger" (Lit.11.4.,S.20).

Jede Transportkette ist auf ein bestimmtes Transportobjekt bezogen. So kennt man Transportketten für Container, für Schüttgüter (z.B. Zement, Baukies, Kohle, Düngemittel), für Nahrungsmittel (z.B. Fisch, Kartoffeln, Frischgemüse), für Treibstoffe (z.B. Benzin, Flüssiggas).

In jeder Transportkette treten die TUL-Prozesse in einer bestimmten zeitlichen Folge und mehr oder weniger häufig auf. Typisch für alle Transportketten ist, dass jeder 2. technologische Vorgang eine Umschlagoperation ist. Das liegt auf der Hand, weil der Übergang vom Lager zum Transportsystem, der Wechsel von einem Transportsystem auf ein anderes oder der Übergang vom Transport zum Lagern immer durch Umschlagoperationen realisiert werden muss.

Abb. 11.1. gibt ein Beispiel für eine Transportkette.

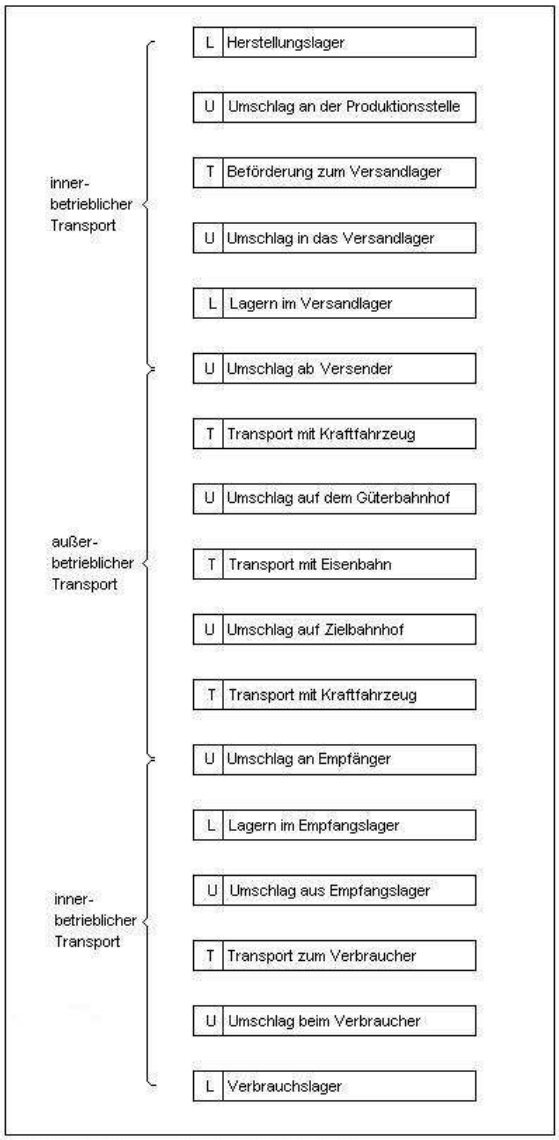


Abb. 11.1. Transportkette für Stückgüter

11.5. Die Teilklassen der Ortsänderungsvorgänge

Für die systematische Ordnung der ortsändernden Vorgänge bieten sich aus allgemein-technologischer Sicht zwei Kriterien an. Das sind zum einem die Art der Transportobjekte (Stoff-, Energie- und Informationstransport) und zum zweiten die Art der technologischen Vorgänge (Transport-, Umschlag- und Lageroperationen). Daraus ergibt sich das in Tabelle 11.4. dargestellte System der ortsändernden Vorgänge.

Art des Transport-objekts	Art des technologischen Vorgangs		
	Transport	Umschlag	Lagerung
Stoffe	Stofftransport	Stoffumschlag	Stofflagerung
Energien	Energietransport	Energieeinspeisung und -entnahme	Energiespeicherung
Informationen	Informations-transport	Informationseingabe und -ausgabe	Informations-speicherung

Tabelle 11.4. System der ortsändernden Vorgänge

Die Bezeichnung der einzelnen Teilklassen ergibt sich aus den Zeilen- und Spalteneingängen (z.B. Feld 13 Stofflagerung). Abweichungen für energetische und informatorische Transportobjekte (Übertragung statt Transport, Ein- und Ausgabe statt Umschlag) erklären sich aus den in diesen Gebieten der Transporttechnologie üblichen Bezeichnungen.

11.6. Symboldarstellung von Transportoperationen

Transportoperationen werden durch ein in ein Quadrat eingeschriebenes Dreieck symbolisiert. Beim Stofftransport wird das Dreieck durch eine Volllinie, beim Energietransport gestrichelt und beim Informationstransport gepunktet (bzw. strichpunktiert) dargestellt (Abb. 11.2.a).

Beim *Stofftransport* treten zwei typische Fälle auf:

- Stückgüter, gasförmige, flüssige oder stückige bzw. pulverförmige Schüttgüter werden unter Aufwendung mechanischer Operationsenergie durch entsprechende technische Systeme durch den Transportkanal bewegt (Abb.11.2.b).
- Beim Schwerkraftfördern wir die im Transportgut gespeicherte potentielle Energie als Operationsenergie genutzt. Graphisch wird das dadurch wiedergegeben, dass unter dem Eingangspfeil des Transportgutes eine Energielinie gezeichnet wird. Im Ausgangspfeil fehlt dann die Energieangabe. Damit wird ausgedrückt, dass die Energie beim Transport "verbraucht" wurde (11.2.c).

Der *Energietransport* weist drei charakteristische Darstellungstypen auf:

- Stofflich gebundene potentielle Energie (Kohle, Erdöl, Gas) muss unter Aufwendung von Operationsenergie transportiert werden. Dabei tretenden im Allgemeinen keine Verluste der zu transportierenden Energie auf. Diese Form des Energietransports ist mit dem Stofftransport identisch (Abb.11.2.d).
- Stofflich gebundene, durch ein Potentialgefälle gekennzeichnete kinetische Energie (z.B. Dampf, Druckluft, gestautes Wasser, Elektroenergie) kann im Allgemeinen ohne besondere Aufwendung von Operationsenergie übertragen werden. Dabei treten notwendig Energieverluste auf (Abb.11.2.e). Strahlungsenergie bedarf zu ihrem Transport ebenfalls keiner von außen zuzuführenden Operationsenergie. Sie wird durch eine Wellenlinie unterhalb des Energieflußpfeiles gekennzeichnet, um Strahlung als Energieträger auszuweisen (Abb.11.2.f).

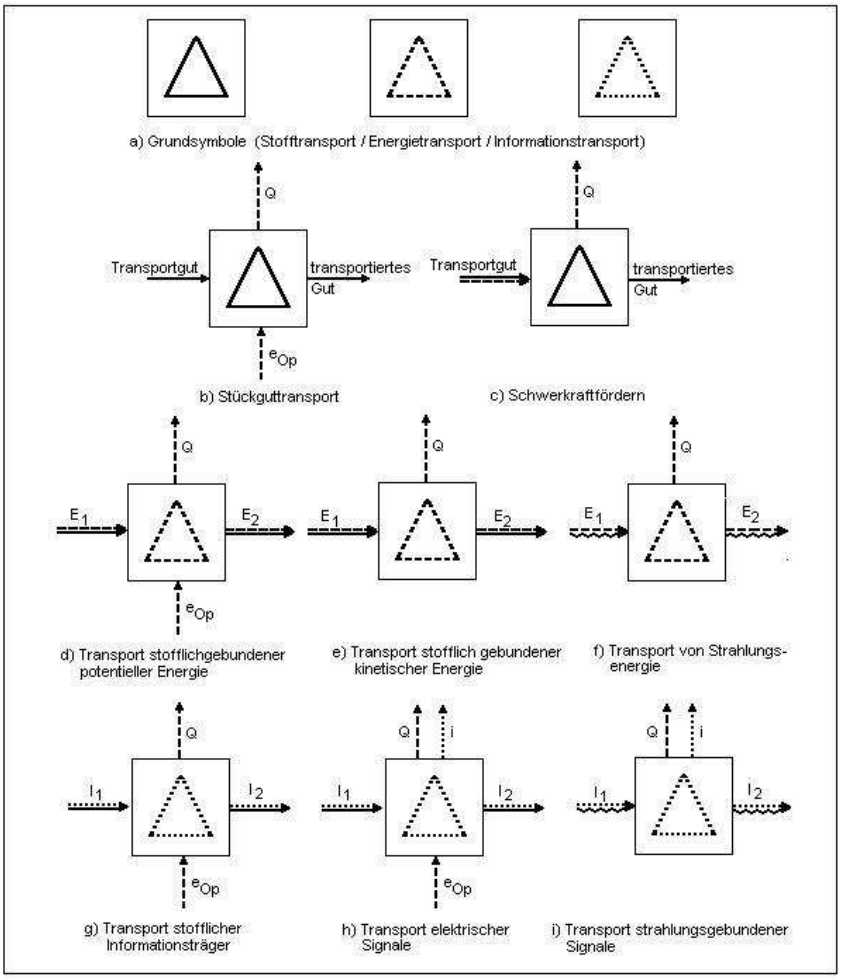


Abb. 11.2. Symboldarstellung von Transportoperationen

Der *Informationstransport* ist letzten Endes immer ein Transport von Stoffen oder Energien, da die Informationen in den Signalen als räumlich oder zeitlich gespeicherte Strukturen auftreten.

- Der Transport von Informationen, die als räumliche Strukturen von Stoffen fixiert sind (Druckschriften, Tonbänder, Disketten, Filme) ist mit dem Stofftransport identisch. Die Symboldarstellung unterscheidet sich von der der Stofftransportoperationen dadurch, dass das Symbol für Informationstransportsysteme verwendet wird und die zu transportierende Information als Doppellinie (punktiert und durchgehend) gezeichnet wird (Abb.11.2.g).
- Der Transport von Informationen, die als Strukturen kinetischer Energieformen fixiert sind, zeigt weitgehende Analogien zum entsprechenden Typ des Energietransports. Graphisch unterscheidet sich die Symboldarstellung dadurch, dass der Signalfluss (als Fluss des Arbeitsgegenstandes) als Information auf einem stofflichen oder strahlungsenergetischen Träger wiedergegeben wird. Die unvermeidlichen Verluste an Informationsentropie durch das Rauschen müssen im Symbol angegeben werden. In den Darstellungen wird zwischen stofflich gebundener Energie und Strahlung als Informationsträger unterschieden (Abb.11.2.h und i).

11.7. Stofftransport

Die Technologie des Stofftransports hat es mit festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen als Transportobjekten zu tun. Die festen Transportgüter liegen entweder als kompakte Stückgüter oder als mehr oder weniger grobkörnige Schüttgüter vor.

Die Transportwege (-linien, -kanäle) können räumlich festgelegt sein und werden dann vorwiegend durch stetige Fördervorgänge überwunden, oder sie sind veränderlich und dann vorwiegend durch unstetige Fördervorgänge charakterisiert.

Stofftransportoperationen im innerbetrieblichen Bereich gehören zum Gegenstand der Fördertechnologie. Sie umfassen das Fördern (die eigentliche Ortsveränderung), Be- und Entladevorgänge, Operationen des Ein- und Ausspannens, Ausrichtens und Ordnens. Auch für letztere trifft zu, dass sie Orts- bzw. Lageänderungen bewirken, den Arbeitsgegenstand selbst aber unverändert lassen.

An den Nahtstellen zwischen innerbetrieblichem und außerbetrieblichem Transport wird das Transportgut umgeschlagen. Der außerbetriebliche Transport wird durch die Verkehrstechnologie erfasst.

Für das Verständnis der Stofftransportoperationen sowie für die Formulierung von technologischen *Wirkprinzipien* ist von Bedeutung, dass in jedem Transportvorgang grundsätzlich drei Teilfunktionen zu realisieren sind:

- das Tragen des Transportgutes
- das Treiben (Bewegen)
- das Führen des Transportgutes.

Die typische Art des Zusammenwirkens dieser drei Funktionen prägt das jeweilige technologische Wirkprinzip.

Die Realisierung eines Wirkprinzips durch technische Mittel stellt bestimmte Forderungen an die einzelnen Wirkfaktoren, die ihrerseits im konkreten Fall unterschiedliche Möglichkeiten zulassen. Sie bilden ein Möglichkeitsfeld von Wirkungsweisen. Die verschiedenen Realisierungsformen spiegeln sich in einer Vielfalt technologischer Grundoperationen des Stofftransports wider und charakterisieren dieses.

Am Beispiel der Operationsgruppe des Schwerkraftförderns soll dieser Zusammenhang in einer tabellarischen Übersicht deutlich gemacht werden. Das allen technologischen Grundoperationen dieser Gruppe gemeinsame Wirkprinzip ist das Prinzip des Schwerkrafttreibens von mechanisch geführtem, (z. T.) gestütztem und kontinuierlich getriebenem Fördergut. Aus Tabelle 11.5. gehen die aus dem Wirkprinzip resultierenden Gemeinsamkeiten, aber auch die durch die jeweilige Realisierungsform bestimmten Unterschiede hervor.

Realisierungsformen (Grundoperationen)	Forderungen an die Wirkfaktoren			
	Wirkfaktor Arbeitsgegenstand	Wirkfaktor Arbeitsorgan	Wirkfaktor Operationsenergie	Wirkungsweise
Allgemein	Feststoffe mit E_{pot}	Geneigte Führungsbahn	Durch Schwerkraft bedingte Abtriebskraft > Reibungswiderstand	AG wird durch Schwerkraft entlang einer abwärts geneigten Führungsbahn bewegt
Rutschenfördern	Gleitfähige Schütt- und Stückgüter (mit E_{pot})	Geradlinige oder gekrümmte Gleit- und Führungsbahn mit muldenförmigem Profil ohne bewegte Teile	Schwerkraft > Reibungswiderstand	AG wird durch Schwerkraft entlang der abwärts geneigten Gleitbahn getragen und geführt
Fallrohrfördern	Unempfindliche Schüttgüter (mit E_{pot})	Geradliniges Führungsrohr (z.T. mit Prallschürzen)	Schwerkraft	AG fällt annähernd frei mit stufenweiser Abbremsung innerhalb des Führungsrohres
Rinnenfördern	Trockne, staubförmige Schüttgüter (mit E_{pot})	Geschlossene Rinne als Führungsbahn mit Druckluftkanal und poröser Zwischenschicht	Schwerkraft, pneumatische Energie als Tragenergie	AG schwebt auf einem Luftkissen und fließt unter Einfluß der Schwerkraft entlang der Rinne abwärts
Rollenbahnfördern	Stückgüter mit ebener Auflagefläche (mit E_{pot})	Geradlinige oder gekrümmte Führungsbahn mit in gleichen Abständen gelagerten Rollen als Tragmittel	Schwerkraft > Rollwiderstand	AG rollt auf der Führungsbahn abwärts

Tabelle 11.5. Durchführungsformen des Schwerkraftförderns

Die *Systematisierung* der Stofftransportoperationen hat zwar zu einer Vielfalt von Ordnungsvorschlägen geführt. Sie finden aber meist nur für bestimmte Bereiche der Transporttechnologie Anwendung und erfas-

sen daher nicht die Gesamtheit der ortsändernden Vorgänge. Das hat seine Ursache zweifellos in der Vielzahl der in jedem Transportvorgang wirkenden Einflussfaktoren. H.KUHNT nennt als für allgemeintechnologische Zwecke brauchbare ordnende Gesichtspunkte die Art der Kraftübertragung (zum Tragen, Treiben und Führen), den Phasenzustand des Transportgutes, die Art des Wirkorts (statisch, dynamisch), den Wirkungsablauf (intermittierend, kontinuierlich) und die Energieart (Lit.11.10., S.168).

Gestützt auf diese Kriterien lässt sich ein allgemein-technologische Forderungen erfüllendes Ordnungssystem aufstellen

Die Stofftransportoperationen werden mittels des Matrixoperators "Art der Operationsenergie / Phasenzustand des Transportgutes" untergliedert (Tabelle 11.6.).

Für die weitere Untergliederung der Operationstypen in Operationsgruppen werden spezifische Kriterien für jeden Typ herangezogen. Im Falle des mechanischen Feststoffförderns sind dies die Art der Kraftübertragung und der Wirkungsablauf (Tabelle 11.7.).

Art der Operationsenergie	Phasenzustand des Arbeitsgegenstandes Feste Stoffe	Flüssigkeiten	Gase
Mechanisch	Mechanisches Feststoffördern	Mechanisches Flüssigkeitsfördern	Mechanisches Gasfördern
Hydraulisch	Hydraulisches Feststoffördern	Pumpenfördern	Hydraulisches Gasfördern
Pneumatisch	Pneumatisches Feststoffördern	Pneumatisches Flüssigkeitsfördern	
Magnetisch	Magnetisches Feststoffördern		

Tabelle 11.6. Typen der Transportoperationen

Wirkungsablauf	Art der Kraftübertragung Schwerkraft	Haftreibung	Trägheit	Zugmittel
Kontinuierlich	Stetiges Schwerkraftfördern	Stetiges Haftreibungsfördern	Stetiges Trägheitsfördern	Stetiges Zugmittelfördern
Intermittierend	Unstetiges Schwerkraftfördern	Unstetiges Haftreibungsfördern	Unstetiges Trägheitsfördern	Unstetiges Zugmittelfördern

Tabelle 11.7. Gruppen des mechanischen Feststoffförderns

Die allgemeinen Überlegungen zu wesensbestimmenden Merkmalen der Stofftransportoperationen, ihren Wirkfaktoren und Wirkprinzipien sollen nun am Beispiel der Strukturanalyse des Bandförderns konkretisiert werden.

11.7.1. Vorgangsdarstellung BANDFÖRDERN

1. Vorgangscharakteristik

Bandfördern ist eine Grundoperation des Stofftransports. Es gehört zur Operationsgruppe "Mechanisches Feststoffördern". Das Fördergut wird auf ein endloses, durch Tragrollen abgestütztes umlaufendes Band stetig oder in Intervallen aufgegeben und abgenommen. Das Band bewegt sich mit dem Fördergut auf einem gemeinsamen Förderweg und ist zugleich Trag- und Zugmittel. Wegen seiner bedeutenden Vorzüge gegenüber anderen Transportoperationen hat das Bandfördern weiteste Verbreitung gefunden (insbesondere im Bauwesen, im Bergbau, in der chemischen Industrie, in der Landwirtschaft und im Transportwesen).

Die besonderen Vorzüge des Bandförderns sind zusammengefasst:

- Durch Bandfördern lassen sich die verschiedenartigsten Schüttgüter und Stückgüter transportieren.
- Hohe Fördergeschwindigkeiten (bis 7 m/s) und entsprechende Förderquerschnitte gestatten Massendurchsätze bis zu 10 000 t/h.
- Förderstrecken von mehreren Kilometern Länge lassen sich ohne größere Schwierigkeiten überbrücken.
- Der geringe Laufwiderstand des Förderbandes erfordert nur einen geringen Aufwand an Transportenergie.
- Hohe Betriebssicherheit, geringer Wartungsaufwand und geräuscharmer Lauf der Anlage machen das Bandfördern außerordentlich wirtschaftlich.

Diesen Vorteilen stehen einige Nachteile gegenüber, die die Einsatzmöglichkeiten des Bandförderns in gewissem Umfang einschränken. Die Förderstrecke muss geradlinig geführt werden, Ablenkungen erfordern relativ aufwendige technische Einrichtungen. Steigungen dürfen je nach dem Reibschluss des Fördergutes 12 bis 27 Winkelgrade nicht überschreiten.

Abb.11.3. veranschaulicht das Prinzip des Bandförderns.

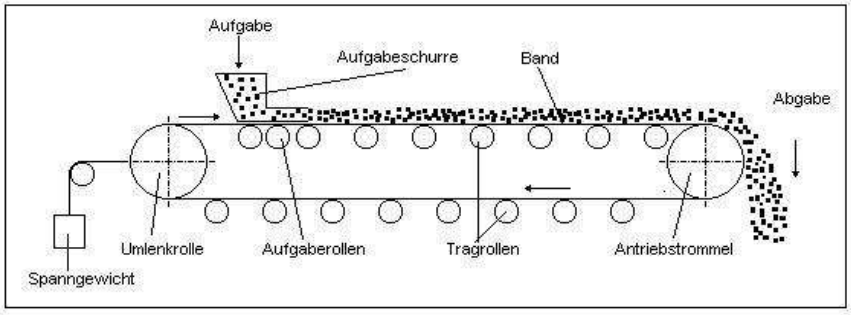


Abb. 11.3. Prinzip des Bandförderns

2. Symboldarstellung

Das Fördergut wird als Schüttgut kontinuierlich oder in Intervallen, als Stückgut periodisch aufgegeben. Das Fördergut bewegt sich gemeinsam mit dem Band und wird am Endpunkt des Bandes kontinuierlich wieder abgesetzt. Die Operationsenergie wird über elektrische Antriebe zugeführt (Abb.11.4.).

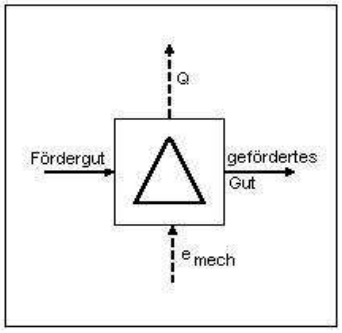


Abb. 11.4. Symboldarstellung des Bandförderns

3. Grundbegriffe und naturwissenschaftliche Grundlagen

Unter der Bezeichnung *Schüttgut* wird eine Anhäufung fester Einzelteilchen, wie Kohle, Kies, Düngemittel, Getreide, Kartoffeln, verstanden, die im Verhältnis zum Gesamtvolumen des Fördergutes sehr klein sind und deshalb nicht einzeln transportiert werden. Die *Schüttdichte* ist die Masse eines Kubikmeters geschütteten Fördergutes (t/m^3); sie ist wegen der Lufträume zwischen den Einzelteilchen immer geringer als die Dichte der Gutteilchen.

Der *Förderweg* (Förderstrecke) ist die Strecke zwischen Aufgabe- und Abgabestelle des Gutes. Als *Stückgüter* werden solche Transportobjekte bezeichnet, die eine beständige Form besitzen und fördertechnisch einzeln behandelt werden müssen (Kisten, Kartons, Maschinen, Säcke). Hauptmerkmale sind Form, Abmessungen, Volumen, Masse, Schwerpunktlage und Stapelbarkeit.

Die naturwissenschaftlichen Grundlagen werden von der Mechanik der Schüttgüter behandelt. Die Mitnahme des Fördergutes auf dem Transportband beruht im Wesentlichen auf der Haftreibung. Sie hängt vor allem von den Eigenschaften des Fördergutes und dem Bandmaterial ab. Die maximalen Anstiegswinkel des Förderbandes werden darüber hinaus von der inneren Reibung der Schüttgutteilchen und der Korngröße sowie dem Schüttwinkel des Fördergutes bestimmt.

4. Wirkfaktor Verarbeitungseigenschaften des Fördergutes

Das Schüttgut als Arbeitsgegenstand wird vor allem durch seine Körnung (Korngröße und Kornform), die Schüttdichte, den Rutschwinkel (als Maß für die äußere Reibung), den Schüttwinkel (als Maß für die innere Reibung), seine Fließfähigkeit, seine Temperatur und seinen Feuchtigkeitsgehalt charakterisiert. Diese Einflussgrößen sind bestimmend für die konkrete Gestaltung des Arbeitsorgans (4), wie die Art und Stärke des Bandmaterials, die Bandbreite und die Bandgestaltung (Gurtband, Plattenband, Stegband). Sie beeinflussen auch die Art der Aufgabe (Fallhöhe) und des Abwurfs

5. Wirkfaktor Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans

Das Arbeitsorgan ist ein endloses Band, das den stetigen Förderstrom mit Aufgabe und Abgabe des Fördergutes während der Bewegung ermöglicht. Es hat Tragfunktion, indem es das Transportgut aufnimmt, gleichzeitig hat es Treibfunktion, denn es überträgt die Fortbewegungskraft auf das Gut, und es übt auch die Führungsfunktion des Förderstromes aus. Die Grundwirkform ist das umlaufende Band. Das Bandmaterial besteht in Abhängigkeit von den von den Förderguteigenschaften (5) aus Gummi, plastbeschichtetem Gewebe oder Stahl. Stahlbänder werden vor allem bei Schüttguttemperaturen über 80 ^{0}C, bei scharfkantigem Material und bei schweren Stückgütern eingesetzt

6. Wirkfaktor Energetische Wirkbedingungen

Die mechanische Operationsenergie wird in der Regel durch elektrische Antriebe hervorgebracht. Ihre Größe ist vor allem von den verschiedenartigen zu überwindenden Reibungswiderständen, der Förderlänge, der Förderlast und der Gurteigenlast abhängig (6,7,9). Die Operationsenergie wirkt kontinuierlich auf das Arbeitsorgan und damit auf das Fördergut ein (8).

7. Wirkprinzip

Dem Bandfördern liegt das Prinzip des Haftreibungstreibens von mechanisch gestütztem und geführtem Fördergut zugrunde (Abb.11.5.). Es bestimmt die Grundform des Arbeitsorgans (2), erfordert kontinuierlich wirkende mechanische Operationsenergie (3) und ermöglicht den Transport von Schüttgütern und von Stückgütern begrenzter Masse (1).

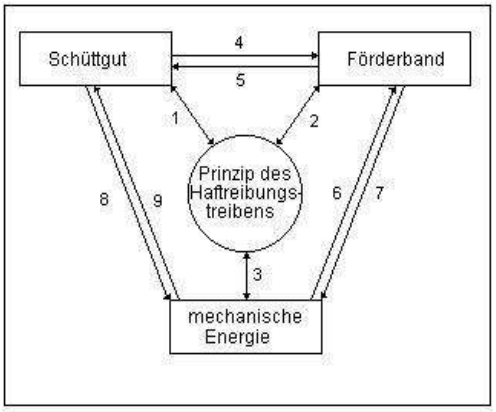


Abb. 11.5. Strukturschema des Bandförderns

11.8. Energietransport

Beim Energietransport können wir in Analogie zum Stofftransport die Ortsveränderung von potentieller Energie (E_{pot}) und von kinetischer Energie (E_{kin}) unterscheiden.

Der *Transport von potentieller Energie* ist im Allgemeinen mit dem Stofftransport identisch, weil die Energie in diesem Falle in stofflichen Energieträgern gespeichert ist (Kohle, Erdöl und Erdgas als Träger chemischer Energien, Warmwasser und Dampf als Wärmeenergieträger).

Der *Transport kinetischer Energie* erfolgt bei jeder Energieart in spezifischer Weise. Eine allgemeine Besonderheit des Transports kinetischer Energie ist die durch Verlustwiderstände der Transportleitungen notwendig auftretende Verlustleistung, die relativ hohe Energieverluste beim Transport bedingt.

Der Transport mechanischer Energie ist mit relativ hohen Übertragungsverlusten verbunden und ist deshalb nur über kurze Entfernungen sinnvoll (z.B. innerhalb technischer Systeme oder begrenzter Produktionsbereiche). Mechanische Energie kann durch Wellen, Riemen, Ketten, Seile Gestänge u. ä. übertragen werden. Bedeutsam ist auch der mechanische Energietransport über hydraulische Systeme (Hydrauliköl in Rohrleitungen oder flexiblen Schläuchen). Gegenüber anderen Übertragungsformen der mechanischen Energie besitzen sie einige Vorteile, wie relativ einfache Übertragung großer Kräfte, gute Steuerbarkeit und geringes Leistungsgewicht. Setzt man Gase als Überträger mechanischer Energie ein, so hat das den Vorteil höherer Strömungsgeschwindigkeit und geringer Eigenmasse des Transportmittels. Pneumatische Anlagen lassen sich besser steuern als hydraulische, besitzen allerdings einen sehr geringen Wirkungsgrad (0,15 bis 0,20).

Thermische Energie wird vor allem durch Warmwasser oder Heißdampf übertragen. Diese Formen des Energietransports gewinnen durch die steigende Fernwärmeversorgung immer mehr an Bedeutung, sie haben allerdings den Nachteil, dass der Versorgungsradius wegen der Transportverluste nur bis zu 10 km reicht.

Zu den großen Vorteilen der Elektroenergie gehört neben der universellen Wandelbarkeit ihre technisch einfache und verlustarme Übertragbarkeit auch über große Entfernungen (über mehrere tausend Kilometer). Die Übertragung erfolgt über Freileitungen oder per Kabel.

Der Energietransport mittels Strahlungsenergie ist zwar möglich, aber technisch erst im Projektstadium. Er besitzt gegenwärtig nur im Zusammenhang mit der Informationsübertragung Bedeutung.

Eine Übersicht über Energietransportoperationen gibt Abb.11.6.

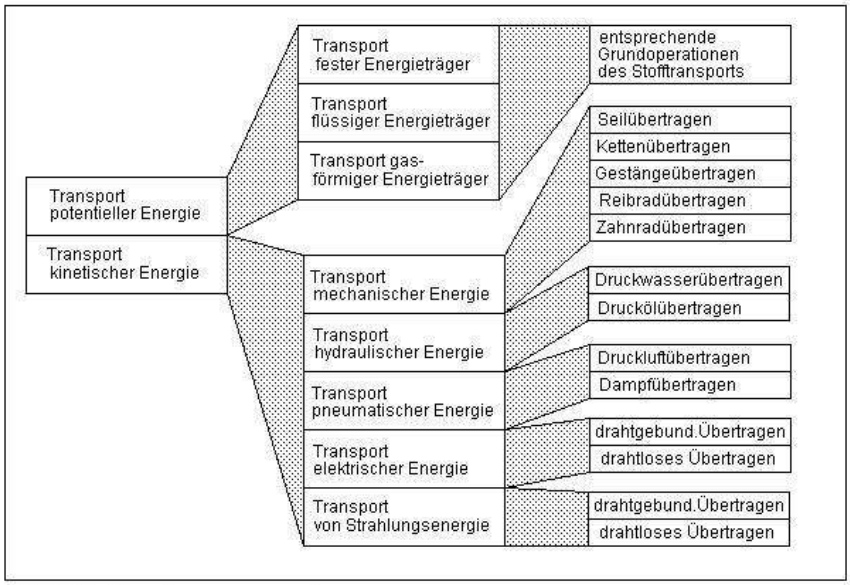


Abb. 11.6. Energietransportoperationen

11.9. Informationstransport

Der Informationstransport weist weitgehende Analogien zum Stoff- und Energietransport auf. Informationen sind jeweils an materielle Informationsträger gebunden. Im Falle stofflich gebundener Informationen (Bücher, Briefe, Zeitschriften, Filme, Disketten) ist der Transport mit dem Stückgut identisch und erfolgt mit den Mitteln der Fördertechnologie und der Verkehrstechnologie.

Andererseits können Informationen in Form dynamischer Signale übertragen werden. Dieser Informationstransport hat viele Gemeinsamkeiten mit dem Energietransport. Er unterscheidet sich vom ihm vor allem dadurch, dass nicht die eigentlichen, sondern Ersatzgüter transportiert werden. Am Zielort kommt deshalb nicht die eingegebene Information, sondern ihre Struktur an, die in Gestalt von Signalfolgen transportiert wird.

Dynamische Signale können neben dem Transport über feste Leitungen auch leiterunabhängig übertragen werden.

Mit der Entwicklung der Faseroptik ist die Möglichkeit der leitungsgebundenen optischen Signalübertragung erschlossen worden, die zahlreiche neue Lösungen der Informationsübertragung eröffnet.

Beim Informationstransport durch elektrische Signale treten - vor allem in langen Transportkanälen - Störungen auf, die schwer zu vermeiden sind (Rauschen). Sie führen zu einem mehr oder weniger großen Informationsverlust und müssen durch technische Maßnahmen auf ein verträgliches Maß eingeschränkt werden.

Für die Klassifizierung der Informationstransportoperationen liefern die Art des Signalträgers (mit den Elementen dynamische und statische Träger) sowie die Art des Übertragungskanals (leitergebunden/leiterunabhängig bzw. streckengebunden/strecken-unabhängig) die wesentlichen Kriterien.

Danach lassen sich 4 Vorgangstypen des Informationstransports angeben:

- *Leitergebundene Übertragung dynamischer Träger* (das sind Übertragungsvorgänge, bei denen die Signale durch ein Potentialgefälle ausgezeichnet sind und über Leitersysteme - wie Druckluftleitungen, Telefonkabel, Lichtleiter - transportiert werden).
- *Leiterunabhängige Übertragung dynamischer Träger* (das sind Übertragungsvorgänge von strahlungsenergetischen und stofflich-energetischen Signalen, die sich wellen- oder strahlenförmig im Raum ausbreiten, z.B. durch Schallwellen, Rundfunkübertragung, Laserstrahlübertragung)
- *Streckengebundene Übertragung statischer Träger* (das sind Übertragungsvorgänge, bei denen statische Informationsträger, wie Lochstreifen, Magnetbänder, Disketten, durch spezielle technische Einrichtungen direkt von einem Sender zu einem Empfänger bewegt werden, z.B. Lochkartenzuführung, Magnetbandzuführung).
- *Streckenunabhängige Übertragung statischer Träger* (das sind Transportoperationen von Speichermedien wie Disketten, Schallplatten, Magnetbändern durch normalen Stückgutversand von einem Absender zu einem Empfänger. Im Vergleich zu den streckenabhängigen Transportvorgängen besteht hier keine direkte technische Systemkopplung zwischen Absende- und Empfangsstation).

11.10. Stoffspeichern

Die Stoffspeicherung ist Aufgabe der Lagertechnologie. Hinsichtlich ihrer Funktion im Produktionsprozess unterscheidet man Versorgungslager, Zwischenlager und Absatzlager.

Versorgungslager nehmen das für die Produktionsprozesse notwendige Sortiment an Grundmaterialien auf. Ihre Funktion besteht in einer bedarfsgerechten Materialbereitstellung.

Zwischenlager sind räumlich, technologisch und organisatorisch verselbständigte Lager. Sie sind einzelnen produzierenden Betriebsbereichen zugeordnet und nehmen die als unvollendete Produktion zwischen einzelnen Produktionsstufen entstehenden Zwischenprodukte auf.

Absatzlager nehmen die Fertigerzeugnisse auf und geben sie den Markterfordernissen entsprechend an die Bedarfsträger ab.

Für alle Speicherarten gilt als grundlegende Bedingung, dass sie so bemessen sein müssen, dass der Füllstand (Fü) nie das maximale Speichervermögen überschreitet oder der Speicher andererseits leerläuft.

$$0 < Fü < Fü_{max}$$

Erfüllt der Speicher diese Funktion nicht, so können schwerwiegende Störungen der Produktion die Folge sein.

Wie beim Stofftransport, so wird auch beim Stoffspeichern zwischen Stückgut- und Fließgutspeichern unterschieden.

Stückgüter werden in Magazinen, Lagerhäusern und auf Stapelplätzen gelagert. Lagerhäuser erfordern je nach Art der zu speichernden Güter z. T. aufwendige Inneneinrichtungen wie Palettenregale, Aufzüge, Stapeleinrichtungen, Klimaanlagen.

Fließ- und Schüttgutspeicher sind Silos, Bunker, Behälter, Tanks und Schüttplätze.

11.11. Energiespeichern

Energien können in potentiellen und kinetischen Speichern gespeichert werde. Eine Ausnahme macht elektrische Wechselstromenergie, die nicht in nennenswertem Maße speicherbar ist. Zur Speicherung wird sie zwischenzeitlich in andere Energiearten umgewandelt, diese werden gespeichert und bei Bedarf wieder in Wechselstrom übergeführt (z.B. Pumpspeicherwerke).

Eine Übersicht über Möglichkeiten der Energiespeicherung gibt Tabelle 11.8.

Energieart	Speicherart Speicher für potentielle Energie	Speicher für kinetische Energie
Mechanische Energie	Federn	Schwungmassen
Hydraulische Energie	Hochbehälter, Stauseen	Träge Massen in Rohrleitungen
Pneumatische Energie	Druckluftbehälter	Träge Massen in Rohrleitungen
Thermische Energie	Schamottematrizen Warmwassertanks	Rekuperative und regenerative Wärmeaustauscher
Elektrische Energie	Kondensatoren, Akkumulatoren	Selbstinduktionsspulen

Tabelle 11.8. Energiespeicher

11.12. Informationsspeichern

Ähnlich wie im Bereich der Transportoperationen bestehen zwischen dem Informationsspeichern und dem Stoff- bzw. Energiespeichern eine Reihe von Analogien. H.KORTUM hat darauf hingewiesen, dass aus der Sicht einer allgemeinen Systemtheorie im Prinzip alle Stoff- und Energiespeicher als Informationsspeicher aufgefasst werden können, auch wenn sie nicht primär der Informationsspeicherung dienen, da Informationen nur an stoffliche oder energetische Träger gebunden existieren können.

Die schnelle Entwicklung der Informationstechnik und -technologie hat eine Vielzahl von Informationsspeichern hervorgebracht. Es gibt mechanische (Lochkarten, Lochstreifen), magnetische (Magnetband, Videoband, Festplatten), optomagnetische und optische Speicher (CD, DVD, Tesafilm), wobei die Magnetspeicher- und Laserverfahren eindeutig das Feld beherrschen. In Analogie zu den Transportoperationen sind mit der Informationsspeicherung immer Aufzeichnungs- und Wiedergabeverfahren verbunden. Sie wurden bei den Informationsumformungsverfahren "Trägerartändern durch Einlesen und Auslesen" erfasst (Kap. 10.7.). Dem Speicherzustand kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu.

!Syntaxfehler, (Für die Informationsspeicherung müssen zwei Bedingungen erfüllt werden:

- im Speicher müssen statische Speicherzustände in Form stabiler Strukturen erzeugt werden können, die eine hinreichend lange Zeit konstant bleiben,
- die Strukturen müssen zum Erzeugen von Signalen genutzt werden können (Abruf der gespeicherten Informationen, Wiedergabe).

Informationen können unter Ausnutzung entsprechender Struktureigenschaften des Signalträgers in analoger oder diskreter (bzw. digitaler) Form gespeichert werden. Die *Analogspeicherung* ist ein Vorgangstyp, bei dem der Informationsinhalt eines Signals bei analogem Wertevorrat des Informationsparameters auf einem statischen Signalträger verfügbar ist. Die *Digitalspeicherung* ist ein Informationsspeicherungstyp, bei dem der Informationsinhalt des Signals in digitaler Form auf einem statischen Signalträger verfügbar ist.

Weiterhin können Informationen reversibel oder irreversibel gespeichert werden. Reversible Speicher lassen sich nach Bedarf löschen (oder löschen sich mit Abgabe der Information selbst) und dann wieder mit neuer Information belegen. Sie werden auch als Arbeitsspeicher (RAM-Speicher) bezeichnet. Die irreversiblen Speicher (Festwertspeicher) lassen nur eine einmalige Informationsspeicherung zu.

Tabelle 11.9. ordnet charakteristische Speicher den genannten Speichertypen zu.

Art der Speicherung	Informationsgehalt der Signale Analog	Diskret bzw. digital
Irreversibel	*Analoge Festwertspeicher* (Schallplette, Fotoplatte, Film, Bücher, technische Zeichnungen, Kurvenscheiben, Schubstangen)	*Diskrete Festwertspeicher* (Lochkarten, Lochstreifen, ROM-Speichermatrix)
Reversibel	*Analoge Arbeitsspeicher* (Magnetband, Videoband, Magnettrommel, Diskette)	*Diskrete Arbeitsspeicher* (Relais, Elektronenröhren, Transistoren, Dioden, Ferritkernmatrizen, Disketten, Festplatten)

Tabelle 11.9. Speichertypen für Informationen

Für die Charakterisierung eines Informationsspeichers sind vor allem zwei Kenndaten von Bedeutung:

- die Speicherkapazität (das Aufnahmevermögen des Speichers in bit bzw. Byte),
- die Zugriffszeit (Zeit, die für den Abruf einer Information benötigt wird).

Die Speicherdichte gibt dabei das Maß der auf dem jeweiligen Datenspeicher fixierbaren Informationsmenge pro Fächeneinheit.

NAND-Flash-Speicher (2005) 1 Gigabyte einfügen

Beim **Brennen** von Informationen auf CD bzw. DVD werden auf Scheiben mit spiralförmiger Spur (von innen nach außen) mittels Laserstrahl Nullen und Einsen geschrieben und die Information so digital gespeichert.. Umgekehrt werden beim Lesen der Informationen diese Spuren mittels Laserstrahl abgetastet und so die Information lesbar gemacht.

Literatur

11.1 H. Kortum: Über eine allgemeine Theorie des Transports als elementare Grundlage der Automatisierungstechnik, Die Technik, Heft 2/1965, Berlin

11.2 H. Kortum: Über eine allgemeine Theorie des Speicherns als elementare Grundlage der Automatisierungstechnik, Die Technik, Heft 4/1965, Berlin

11.3 E. Garbe: Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse im Betrieb, Berlin 1981

11.4 Autorenkollektiv: Transportieren - Umschlagen - Lagern (Technologie), Berlin 1984

11.5 Autorenkollektiv: Transportieren - Umschlagen - Lagern (Technik), Berlin 1984

11.6 Autorenkollektiv: Transportieren - Umschlagen - Lagern (Lagerwirtschaft), Berlin 1984

11.7 G. Heinrich: Ökonomie des Güterumschlags, Berlin 1987

11.8 M. Scheffler: Einführung in die Fördertechnik, Leipzig 1970

11.9 P. Schneider: Untersuchungen zur Organstruktur technischer Funktionssysteme des Energietransports unter besonderer Beachtung technologischer Aspekte, Dissertation A, Martin-Luther-Univ., Halle(Saale) 1983

11.10 H. Kuhnt: Systematik der fördertechnischen Wirkprinzipe, Hebezeuge und Fördermittel, Heft 6/1973, Berlin

11.11 G. Augusta /H.D. Flader / M. Kugler: Transportieren und Lagern, Berlin 1972

11.12 K. Marx / F. Engels: Werke, Band 26.1., Berlin 1974

11.13 H. Krampe (Herausgeber): Transport- Umschlag- Lagerung, Leipzig 1990

12. Technologische Vorgänge in der Agrarproduktion

12.1. Allgemeintechnologische Charakteristik der Agrarproduktion

In dem unserer Darstellung zugrunde gelegten System der Bearbeitungsvorgänge (vgl. Kapitel 6.2.) besitzen die agrotechnologischen Vorgänge kein eigenes Feld. Sie bilden innerhalb dieses Systems keine selbständige Klasse technologischer Vorgänge, weil - wie wir an einigen Beispielen gezeigt haben - alle im Bereich der Tier- und Pflanzenproduktion mittels technischer Systeme durchgeführten Bearbeitungsvorgänge im Prinzip einer der neun Klassen zugeordnet werden können.

Wenn wir den technologischen Vorgängen in der Agrarproduktion doch einen besonderen Abschnitt widmen, so deshalb, weil die Agrarproduktion gegenüber der Industrieproduktion eine Reihe gravierender technologischer Besonderheiten aufweist.

12.1.1. Biologische Systeme als wesensbestimmende Arbeitsmittel

Das wesensbestimmende Merkmal der Agrarproduktion besteht in der planvollen Nutzung des Reproduktionsprozesses von Organismen für die Erzeugung von Nahrungsgütern und Industrierohstoffen. Anders ausgedrückt: die entscheidenden Produktionsmittel der Agrarproduktion sind biologische Systeme (Pflanzen und Tiere). Die charakteristischen Vorgänge, mit deren Hilfe das gewünschte Produkt hervorgebracht wird, sind biologischer Natur (im wesentlichen Stoffwechselprozesse). Die Agrarproduktion ist demnach eine biologische Produktion.

Erläutern wir das an einem Beispiel. Die Produktion von Eiern, einem grundlegenden Prozess der landwirtschaftlichen Nahrungsgüterproduktion, kann unter allgemein-technologischer Sicht als Umwandlung von Hühnerfutter (dem Arbeitsgegenstand) in das gewünschte Produkt (Eier) vermittels eines biologischen Systems (der Henne) betrachtet werden. Diese Stoffwandlung erfolgt im Unterschied zu chemisch-technologischen Vorgängen nicht in einem technischen (dem Reaktor) sondern in einem biologischen System. Die den Prozess charakterisierenden Vorgänge sind nicht chemischer oder physikalischer, sondern biologischer Natur. Eine solche Betrachtung gilt auch dann, wenn das biologische System selbst in das Produkt eingeht, wie bei der Schlachttierproduktion zur Fleischerzeugung oder bei der Pflanzenproduktion, wo die sich aus dem Saatgut entwickelnde Pflanze (oder Teile von ihr) als Produkt geerntet wird.

Die biologischen Produktionssysteme, die die Agrarproduktion in Form von Pflanzen und Tieren einsetzt, weisen im Vergleich zu den technischen Produktionssystemen (Maschinen, Apparate) charakteristische Besonderheiten auf (Tabelle 12.1.).

Technisches System	Komponente des Produktionsprozesses	Biologisches System
Materialdurchgang	Stofffluß ← offen ✳ offen →	Stoffwechsel
Fluß der Operationsenergie	Energiefluß ← offen ✳ offen →	Energiestoffwechsel
Fluß der Steuerungsinformation	Informationsfluß ← offen ✳ relativ geschlossen →	Autoregulation der Stoffwechselprozesse (genetischer Code)

Tabelle 12.1. Vergleich technischer und biologischer Produktionssysteme

Technische Systeme sind stofflich, energetisch und informatorisch offene Systeme. Sowohl die Arbeitsgegenstände, die zur Durchführung der Bearbeitungsvorgänge notwendige Energie und auch die Steuerungsinformationen werden dem System von außen zugeführt und verlassen es auch wieder.

Biologische Systeme sind dagegen nur stofflich und energetisch offene Systeme. Die pflanzlichen Produktionssysteme nehmen Nährstoffe und Wasser aus dem Boden und Kohlendioxid und Sauerstoff aus der umgebenden Atmosphäre auf. Die Stoffwechselprodukte scheiden sie wieder aus, soweit sie nicht zum Aufbau körpereigener Stoffe dienen. Die notwendige Prozessenergie nehmen sie über die Sonnenstrahlung auf, die bei der Photosynthese chemisch gebunden wird. Einen weiteren Teil ihres Energiestoffwechsels bestreiten

die Pflanzen durch dissimilatorische Prozesse, bei denen von den Zellen aufgebaute energiereiche Stoffe zu energieärmeren abgebaut werden. Tierische Produktionssysteme entnehmen dem Futter alle für ihren Baustoffwechsel und ihren Energiestoffwechsel notwendigen Stoffe und Energien und geben die Stoffwechselprodukte wieder nach außen ab, soweit sie nicht in körpereigene Substanz übergehen. Hinsichtlich der Steuerungsinformationen für die im Organismus ablaufenden Stoffwechselprozesse sind die biologischen Systeme relativ geschlossene Systeme. Die Steuerungsinformationen sind im genetischen Code fixiert, auf die der Mensch innerhalb des Produktionsprozesses keinen Einfluss nehmen kann. Das bedeutet, dass ein biologisches Produktionssystem nur ganz bestimmte Produkte hervorbringen kann, nämlich solche, die durch die genetische Information festgelegt sind.

Die informatorische Geschlossenheit biologischer Produktionssysteme besitzt allerdings einen gewissen Grad an Relativität und insofern kann in begrenztem Maße von außen steuernd auf den biologischen Prozessablauf eingewirkt werden.

Neben den die Autoregulation der Stoffwechselprozesse bewirkenden und steuernden genetischen Informationen spielen auch Informationen in diesem Geschehen eine Rolle, die als Umweltreize auf die biologischen Systeme einwirken. Die Entwicklung der Organismen vollzieht sich nur im Zusammenspiel mit bestimmten äußeren Bedingungen. Diese regen die für die Produktbildung bedeutsamen Stoffwechselprozesse an, können sie beschleunigen oder hemmen oder sie überhaupt auch erst auslösen. Für eine ganze Reihe biologischer Prozesse im Organismus bilden solche Umweltreize notwendige Entwicklungsbedingungen. So ist z.B. bekannt, dass bei Pflanzen die Einleitung bestimmter Phasen ihres Entwicklungsprozesses an typische Umweltreize gebunden ist. Viele zweijährige Pflanzen blühen nur nach einem Kälteschock ihres Vegetationspunktes. Wintergetreide erfährt durch Kältereize am Beginn der Entwicklung eine Entwicklungsbeschleunigung von 2 bis 3 Wochen. Die sog. Lichtkeimer keimen nur aus, wenn sie in gequollenem Zustand eine gewisse Zeit dem Licht ausgesetzt waren.

Dieser Außenreizeinfluss ist auch bei Tieren zu beobachten. Allgemein bekannt ist der Wechsel zwischen Sommer- und Winterfell bei Pelztieren unter dem Einfluss der Temperatur. Die tägliche Lichtdauer ist von wesentlichem Einfluss auf das Brunstverhalten der Tiere.

Die aus der Umwelt auf das biologische System einwirkenden Reize (Informationen) haben jedoch keinen den genetischen Code verändernden Einfluss. Sie haben stimulierende, hemmende oder auch auslösende Funktion. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge ermöglicht zunehmend, mit technologischen Mitteln Einfluss auf den Ablauf dieser Naturprozesse im Organismus zu nehmen. Das geschieht u. a. durch den Einsatz von Wachstumsstimulatoren und bei der Brunstsynchronisation.

Von wesentlicher Bedeutung für die Möglichkeiten zur Beeinflussung der biologischen Produktionsprozesse ist die Tatsache, dass das genetische Programm nicht starr wirkt, sondern dass der Organismus eine gewisse Variabilität aufweist. Sie ermöglicht es ihm, auf die ständigen Störeinflüsse aus der Umgebung aktiv zu reagieren, sich den wechselnden Umweltbedingungen anzupassen und damit das die lebenden Systeme auszeichnende Fließgleichgewicht aufrechtzuerhalten.

Hier setzt nun die Aufgabenstellung der Agrartechnologie ein. Der Einsatz von Maschinen und Geräten zur Durchführung technologischer Vorgänge ist in der Agrarproduktion im Grunde immer darauf gerichtet, die Bedingungen für den Ablauf der biologischen Prozesse in den Organismen zu optimieren, um so eine weitgehende Annäherung an die naturgesetzlich determinierten Grenzwerte der Stoffwechselprozesse und Entwicklungsvorgänge der pflanzlichen und tierischen Produktionssysteme zu erreichen.

Im Einzelnen richtet sich die technologische Gestaltung der agrarischen Produktionsprozesse auf:

- die optimale Nährstoffversorgung hinsichtlich der Quantität, der Qualität und dem Zeitpunkt ihrer Verabreichung
- die Sicherung günstiger Standortbedingungen entsprechend den unterschiedlichen Ansprüchen der einzelnen Organismen (Boden, Haltungsräume)
- die Optimierung der klimatischen Umweltfaktoren
- die Pflege der Organismen (Unkraut- und Schädlingsbekämpfung, Tierhygiene)
- die möglichst verlustlose Gewinnung, Aufbereitung und Lagerung der Produkte.

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

Die Agrarproduktion nutzt pflanzliche und tierische Organismen als grundlegende Arbeitsmittel. Die Produkte entstehen als Ergebnis von Stoffwechselprozessen in den biologischen Produktionssystemen. Diese Stoffwechselprozesse werden durch die Autoregulation der Organismen auf der Basis des genetischen Codes gesteuert. Umweltreize in Form verschiedenartiger Reize wirken stimulierend auf sie ein. Ihre materielle Sicherung finden sie im Stoff- und Energieaustausch zwischen den Organismen und der Umwelt.

Die agrotechnologischen Bearbeitungsvorgänge sind vor allem auf die Optimierung der Umwelt- und Entwicklungsbedingungen der biologischen Systeme gerichtet und sollen eine hohe Quantität und Qualität der Produkte sichern.

12.1.2. Der Boden als Hauptproduktionsmittel

Neben den Pflanzen und Tieren ist der Boden unabdingbarer Faktor der Agrarproduktion. Ohne ihn gäbe es keine Pflanzenproduktion, die Basis der Tierernährung und der Nahrungsgüterproduktion. Biologische Systeme und Boden bilden zusammen das grundlegende Produktionsmittelsystem der Agrarproduktion.

Als Boden wird die oberste, aus mineralischen und organischen Stoffen bestehende Erdschicht bezeichnet, die in der Lage ist, Pflanzenwuchs zur landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Nutzung hervorzubringen. Diese Eigenschaft wird allgemein als Bodenfruchtbarkeit; bezeichnet. Sie ist das Ergebnis des Zusammenwirkens von Naturfaktoren und gesellschaftlicher Arbeit. Bestimmt wird die Bodenfruchtbarkeit von dem für die Pflanzen verfügbaren Nährstoffgehalt, von der Wasserführung und von Mikroben, sowie von der technologischen Eignung des Bodens für seine Bearbeitung.

Gerade die technologischen Eigenschaften des Bodens gewinnen im Zusammenhang mit der zunehmenden Technisierung der landwirtschaftlichen Produktionsmethoden schnell an Bedeutung, weil Merkmale wie Struktur der Bodendecke, Steinbesatz, Neigung zur Verdichtung und Klutenbildung den effektiven Einsatz moderner Maschinensysteme wesentlich beeinflussen.

Der Boden ist in der Agrarproduktion wie in den übrigen Produktionszweigen zunächst Standort. Zugleich ist er aber Hauptproduktionsmittel, weil er mit seinen spezifischen Eigenschaften erst die Produktion von Kulturpflanzen ermöglicht. Er gehört zu den wichtigsten Naturressourcen, die in den produktiven Kreislauf zwischen Mensch und Natur einbezogen sind. Der landwirtschaftlich genutzte Boden gehört zu den bedeutendsten Rohstoffquellen jeder Volkswirtschaft.

Der Boden ist auf Grund seiner Zusammensetzung aber auch ein äußerst empfindliches ökologisches System. Das komplizierte Fließgleichgewicht zwischen den einzelnen anorganischen und organischen Komponenten des Bodens verleiht ihm zwar eine hohe Stabilität, wenn aber durch technologische Eingriffe dieses Gleichgewicht irreversibel gestört wird, kommt es zu empfindlichen ökologischen Schäden.

Der Boden weist als Produktionsmittel einige Besonderheiten auf, die ihn zum Teil wesentlich von anderen Produktionsmitteln unterscheiden.

Das betrifft zunächst sein Verhalten im Produktionsprozess. Während technische Mittel als Produktionsmittel auch bei bester Wartung und Pflege einem ständigen physischen und moralischen Verschleiß unterliegen, kann der Boden bei richtiger Nutzung und Behandlung laufend verbessert und in seiner Fruchtbarkeit erhöht werden. Diese Eigenart des Bodens ist die Grundlage für seine ständig intensivere Nutzung.

Zu den Besonderheiten des Bodens gehört weiterhin, dass er als Produktionsmittel erst durch den gleichzeitigen Einsatz anderer Produktionsmittel wirksam werden kann, und zwar durch das Zusammenwirken mit den produktbildenden Biosystemen und den den Boden verändernden technischen Systemen.

Von wesentlicher Bedeutung ist die Tatsache, dass der Boden flächenmäßig nicht vergrößerbar ist. Er ist in seinem Umfang nicht vermehrbar. Es ist im Gegenteil so, dass durch die Zunahme des bebauten Geländes und die Ausdehnung des Verkehrsnetzes die für die landwirtschaftliche Nutzung verfügbare Fläche ständig abnimmt. Der Nutzungsgrad des Bodens ist deshalb ein wichtiges Kriterium für das Entwicklungsniveau der Agrarproduktion. Die räumliche Ausdehnung des Bodens und seine Unbeweglichkeit bestimmen den technologischen Prozess der Agrarproduktion in erheblichem Maße und erfordern den Einsatz mobiler Bearbeitungs- und Transportsysteme mit entsprechenden Antriebsaggregaten.

12.1.3. Doppelfunktion der grundlegenden Arbeitsmittel

Zu den Besonderheiten der Agrarproduktion gehört, dass die grundlegenden Arbeitsmittel, zu denen neben den Nutzpflanzen und den Haustieren auch der Boden zählt, innerhalb des Produktionsprozesses sowohl als Arbeitsmittel als auch als Arbeitsgegenstände auftreten können (Tabelle 12.2.).

System	Funktion Arbeitsgegenstand	Arbeitsmittel
Boden	Bodenbearbeitung Düngung	Standort Nährstoffquelle
Pflanze	Pflegemaßnahmen Ernte	Produktbildung
Tier	Pflegemaßnahmen Produktgewinnung	Produktbildung

Tabelle 12.2. Doppelfunktion grundlegender Arbeitsmittel

Der Boden ist grundlegendes Arbeitsmittel der Agrarproduktion, weil er Standort und wichtigste Nährstoffquelle für die Pflanzen ist. Andererseits ist er Arbeitsgegenstand bei allen technologischen Maßnahmen der Bodenbearbeitung. Diese Bodenbearbeitungsvorgänge haben das Ziel, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und weiter zu verbessern.

Die Pflanzen sind ebenfalls grundlegende Arbeitsmittel der Agrarproduktion. Sie sind Produktionssysteme, die durch die in ihnen ablaufenden Stoffwechselprozesse Pflanzenprodukte hervorbringen. Arbeitsgegenstand sind sie dagegen bei allen Pflegemaßnahmen, z.B. bei der Saatgutvorbereitung, den Pflanzenschutzmaßnahmen und der Ernte.

Ähnlich sind auch die Tiere unersetzliche Arbeitsmittel für die Produktion tierischer Erzeugnisse. Arbeitsgegenstand sind sie bei allen Pflegemaßnahmen.

Der Doppelcharakter des Bodens und der Organismen, sowohl Arbeitsmittel als auch Arbeitsgegenstand zu sein, findet seine Ursache darin, dass sie einerseits aktive Systeme zur Realisierung biologischer Produktionsprozesse und andererseits passive Systeme als Gegenstände technologischer Einwirkung sind.

12.1.4. Produktbildende Naturprozesse und technologische Vorgänge

Ein weiteres Spezifikum der Agrarproduktion ist die Parallelität von produktbildenden Naturprozessen und technologischen Vorgängen. Alle technologischen Vorgänge beruhen auf der gezielten Ausnutzung von Naturvorgängen. Die vom Menschen geschaffenen technischen Bedingungen bewirken dabei ein solches komplexes Zusammenwirken der Naturvorgänge, dass der Bearbeitungsvorgang in bestimmter Richtung verläuft und der Arbeitsgegenstand in der gewünschten Weise verändert wird. Das gilt uneingeschränkt auch für die technologischen Grundvorgänge, die in der Agrarproduktion angewandt werden. Für den technologischen Grundvorgang Mähen lässt sich ein Komplex von Naturvorgängen nachweisen, der im Wirkprinzip seine technologische Ausprägung erfährt.

Die technologischen Vorgänge in der Agrarproduktion sind aber nicht unmittelbar produktbildend. Sie optimieren die in den biologischen Produktionssystemen ablaufenden Naturprozesse, durch die das gewünschte Produkt entsteht.

Wir können deshalb in der Agrarproduktion eine Parallelität von biologischen Vorgängen in den produktbildenden Organismen und technologischen Vorgängen feststellen. Hinzu kommt, dass beide zeitlich oft weit auseinander fallen. Das hat in der Agrartechnologie zu einer Unterscheidung von Arbeitsprozess und Naturprozess geführt.

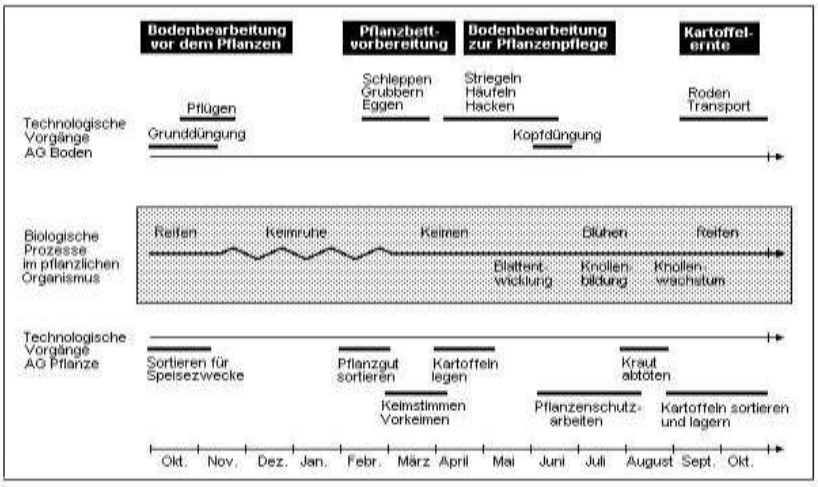


Abb. 12.1. Beziehungen zwischen Arbeitsprozeß und Naturprozeß

Die Beziehungen zwischen technologischen Vorgängen und den Naturvorgängen in den Produktionssystemen sind in Abb.12.1. am Beispiel der Kartoffelproduktion dargestellt.

12.1.5. Gebundenheit der Produktionsprozesse an biologische Rhythmen und Zyklen

Die Produktion agrarischer Erzeugnisse ist wegen der biologischen Determiniertheit der organismischen Produktionssysteme weitgehend an den Entwicklungszyklus der Pflanzen und Tiere gebunden. Diese biologischen Entwicklungszyklen haben jeweils eine für den produzierenden Organismus charakteristische Zeitgröße. Sie haben sich im Evolutionsprozess der Organismen herausgebildet und sind ein Ergebnis der dialektischen Beziehungen des ökologischen Systems Organismus - Umwelt. Der jahreszeitliche Klimagang bestimmt wesentlich die biologischen Abläufe und Entwicklungsprozesse der Pflanzen. Die für die tierischen Produktionssysteme wesentlichen Geschlechtszyklen besitzen keine so enge Bindung an klimatische Faktoren. Sie haben sich unter dem Einfluss der Domestifikation der Haustiere zum Teil stark modifiziert.

Die biologischen Entwicklungszyklen der Organismen bestimmen im großen Rahmen die Produktionszeit der Produkte, und zwar sowohl hinsichtlich ihrer zeitlichen Dauer als auch (bei der Pflanzenproduktion) ihrer jahreszeitlichen Lage. Das Ausbrüten eines Kükens aus einem befruchteten Hühnerei dauert 21 Tage, gleichgültig ob die Brut durch eine Henne oder in einem Brutschrank erfolgt. Die Vegetationsdauer, d.h. die Zeit vom Beginn der Keimung bis zur Samenreife, beträgt bei Winterroggen durchschnittlich 285 Tage, bei Sommerroggen 130 Tage. Zuckerrüben haben eine Vegetationsdauer von 210 Tagen.

Diese Zeiträume sind arten- und sortenspezifisch und schwanken dementsprechend um die angegebenen Mittelwerte. Bei Kartoffeln ergeben sich besonders große Unterschiede, so haben Treibkartoffeln eine Vegetationsdauer von 70 Tagen, Frühkartoffeln von 111 Tagen, mittelfrühe Sorten von 125 Tagen, mittelspäte von 132 Tagen und späte von 140 Tagen. Auf die Länge des Produktionszyklus haben auch klimatische Faktoren einen variierenden Einfluss.

Bei der Schlachtfleischproduktion bestimmt der tägliche durchschnittliche Zuwachs an Fleisch die Dauer des Produktionsprozesses. Der Mensch unterbricht diesen Prozess, wenn ein Optimum hinsichtlich der geplanten Produktbildung erreicht ist. In der Schweineproduktion rechnet man bei optimaler Nährstoffversorgung mit einem täglichen Zuwachs von mindestens 650 g. Die Ferkel werden nach dem Absetzen mit einer Masse von 20 bis 35 kg auf Mast gestellt. Die Endmasse von 105 bis 120 kg wird in 120 bis 150 Tagen erreicht.

Die biologischen Rhythmen und Zyklen determinieren viele technologische Vorgänge in der Agrarproduktion auch zeitlich. Sie müssen zu den agrotechnologisch günstigsten Terminen bzw. Zeitspannen durchgeführt werden, um die gewünschte Wirkung auf den Arbeitsgegenstand optimal zu erreichen. Das gilt z.B. für das Einbringen des Saatgutes in den Boden, für bestimmte Pflegemaßnahmen und für die Erntearbeiten.

Aber auch in der Tierproduktion sind viele technologische Vorgänge zeitlich determiniert. Hier sind es vor allem tägliche Rhythmen, die den technologischen Ablauf bestimmen: Fütterung, Pflegearbeiten, Melken u. a., aber auch Zeitspannen wie Mastperioden und Haltungsabschnitte.

Neben den zeitabhängigen technologischen Verfahren finden wir in der Agrarproduktion auch solche, die

zeitunabhängig sind. Dazu zählen Verfahren, die nicht in direktem Zusammenhang mit den biologischen Prozessen in den Organismen stehen, z.B. Verfahren der Futterzubereitung.

Die zeitliche Determiniertheit der agrarischen Produktionsprozesse durch biologische Rhythmen und Zyklen hat weitreichende technologische Konsequenzen. Die eigentliche Produktionszeit - die Zeit, in der das Produkt biologisch gebildet wird - ist durch technische Mittel nicht verkürzbar. Die Hauptaufgabe der Agrartechnologie besteht deshalb in der Optimierung der Bedingungen für den Ablauf der Naturprozesse. Der wesentliche Rationalisierungseffekt im technologischen Bereich der Agrarproduktion liegt in der Verkürzung der Arbeitszeit und in der Einsparung lebendiger Arbeit.

12.1.6. Stoffansatz- und Stoffumsatzsysteme

Zu den charakteristischen Merkmalen der Agrarproduktion gehört auch die Art der Gewinnung ihrer Produkte. Alle Produkte werden unmittelbar durch das biologische System gebildet. Nach der Art der Produktgewinnung können wir zwischen Stoffansatzsystemen und Stoffumsatzsystemen unterscheiden (Tabelle 12.3.).

Stoffumsatzsysteme		
Arbeitsgegenstand	Arbeitsmittel	Produkt
Futter	→ Legehenne	Eier
Futter	→ Milchkuh	Milch
Futter	→ Schaf	Wolle
Bodennährstoffe	→ Obstbaum	Obst
Stoffansatzsysteme		
Saatgut Nährstoffe	→	Erntereife Pflanze
Jungtier Futter	→	Schlachtreifes Tier

Tabelle 12.3. Produktbildung durch Stoffumsatz- und Stoffansatzsysteme

Stoffansatzsysteme können nur in einem einzigen Produktionszyklus genutzt werden, weil sie als Ganzes oder zu wesentlichen Teilen in das Produkt eingehen und zur Produktgewinnung zerstört werden müssen bzw. weil ihr Lebenszyklus beendet ist.

Das Saatgut in der Getreideproduktion bildet die Pflanze und mit ihr die Ähre. Zur Gewinnung der Getreidekörner muss das Getreide gemäht und die Pflanze damit zerstört werden. Ähnliche Stoffansatzsysteme finden wir bei der Kartoffelproduktion, bei der Zuckerrübengewinnung und in der Forstwirtschaft bei der Holzgewinnung. In der Tierproduktion ist die Fleischerzeugung ebenfalls an Stoffansatzsysteme gebunden.

Stoffumsatzsysteme werden dagegen in mehreren Produktionszyklen genutzt. Die von ihnen hervorgebrachten Produkte werden dem System entnommen, ohne es dabei zu schädigen. Es bleibt für den nachfolgenden Zyklus produktionstüchtig. Obstbäume sind ein Beispiel für Stoffumsatzsysteme aus dem pflanzlichen Bereich. Tierische Stoffumsatzsysteme sind Milchkühe in der Milchproduktion, Legehennen bei der Eiererzeugung, Schafe bei der Wollproduktion und Bienen bei der Honigerzeugung.

12.1.7. Die Züchtung als Weg zur Weiterentwicklung biologischer Produktionssysteme

Eine Besonderheit der Agrarproduktion gegenüber der Industrieproduktion ist schließlich die Art der Weiterentwicklung der biologischen Produktionssysteme. Technische Systeme werden konstruktiv verbessert, in ihren Leistungsparametern optimiert oder neu entwickelt. Die Basis dafür bilden die Technikwissenschaften. Das gilt auch für die Agrartechnik. Pflanzen und Tiere aber, die als Produktionssysteme genutzt werden, können auf diese Weise nicht verändert werden. Das kann nur über Eingriffe in den genetischen Code geschehen. Die relative informatorische Geschlossenheit biologischer Systeme besagt jedoch nicht, dass der Mensch nicht verändernd auf die Erbinformation Einfluss nehmen kann. Das geschieht mit den Methoden der Züchtung und neuerdings auch der Gentechnologie.

Es ist allgemein bekannt, dass unsere Nutzpflanzen und Haustiere von Wildformen abstammen, die sich in ihren Eigenschaften und Merkmalen zum Teil sehr weitgehend von den heute im agrarischen Produktionsprozess genutzten Formen unterscheiden. Durch planmäßige Zuchtverfahren wurden und werden für den jeweiligen Produktionsprozess und die gegebenen Umweltbedingungen günstige Eigenschaften der Organismen verstärkt oder neu geschaffen. Im Prinzip wird durch die Züchtungsverfahren der genetische Code unter Produktionsaspekt optimiert.

12.2. Zur Symboldarstellung biologischer und ökologischer Produktionssysteme

Für die Symboldarstellung agrotechnologischer Grundvorgänge gelten die gleichen Grundsätze, wie sie für die technologischen Vorgänge industrieller Produktionsprozesse angewandt wurden (vgl. Kapitel 6.5.). Es muss jedoch beachtet werden, dass die Besonderheiten der technologischen Vorgänge in der Agrarproduktion dabei zum Ausdruck kommen. Insbesondere gilt es zu beachten, dass in vielen Fällen technische, biologische und ökologische Systeme im Produktionsprozess zusammenwirken und dass biologische und ökologische Systeme als Arbeitsgegenstand und Arbeitsmittel auftreten können.

Die bisher verwendeten Zeichen reichen für die Darstellung biologischer und ökologischer Produktionssysteme nicht aus, weil sie nur technische Systeme erfassen. M. KLEINAU hat auf der Basis unserer Grundsätze und international empfohlener Zeichen Symbole für biologische und ökologische Systeme entwickelt (Lit.12.3.).

Biologische Systeme werden durch einen Kreis symbolisiert. Durch zusätzliche Zeichen können pflanzliche und tierische Systeme näher gekennzeichnet werden.

Pflanzliche Systeme werden innerhalb des Kreises durch eine stilisierte Pflanze (Spross, zwei gegenständige Blätter, Wurzel) charakterisiert. Durch unterschiedliche Umrandung und Auszeichnung des Symbols können die Funktionen des pflanzlichen Systems im Produktionsprozess wiedergegeben werden. Weitere Zusatzzeichen im rechten oberen Teil des Kreises ermöglichen Angaben über Haupt- und Nebenprodukte (Hauptprodukte über den Nebenprodukten). Die Art des pflanzlichen Systems kann, soweit es die Darstellung erfordert, im linken oberen Teil des Kreises angegeben werden. In den Abbildungen 12.2., 12.3. und 12.4. werden die Grund- und Zusatzsymbole in der Übersicht dargestellt und konkrete Beispiele ausgeführt.

Darzustellende Systeme	Darstellungsvorschrift	Symbol
Allgemein	voll ausgezeichnet	
Stoffansatzsysteme	voll umrandet, schraffiert ausgezeichnet	
Stoffumsatzsysteme	voll umrandet, nicht ausgezeichnet	
Systeme in der Pflanzenzüchtung	gepunktet umrandet	

Abb. 12.2. Symbole für pflanzliche Produktionssysteme (nach M. Kleinau)

Darzustellende Systeme	Symbol	Darzustellende Systeme	Symbol
Getreidearten		Pflanzen zur Produktion vorwiegend von Früchten und Samen	
Hackfrüchte		Pflanzen zur Produktion vorwiegend von Stengeln und Blättern	
Futterpflanzen		a) Ernte im grünen Zustand	
Körnerleguminosen		b) Ernte im trocknen Zustand	
Faserpflanzen		Pflanzen zur Produktion vorwiegend von Wurzeln und Knollen	
Obst		a) Wurzeln	
Ölfrüchte		b) Knollen	

Abb. 12.3. Zusatzsymbole für pflanzliche Produktionssysteme (nach M. Kleinau)

Pflanzliches System	Symbol	Produkt
Futterpflanzen		Grünfutter
Getreide		Getreide (Stroh)
Hackfrüchte		Rübenwurzeln (Grünfutter)
Körner-leguminosen		Saatgut (Stroh)
Obstbäume		Früchte

Abb. 12.4. Beispiele für die Darstellung pflanzlicher Produktionssysteme (nach M. Kleinau)

Tierische Systeme werden innerhalb des Kreises durch eine den Rumpf eines Tieres in der Draufsicht symbolisierende Ellipse dargestellt. Die Funktionen des tierischen Systems im Produktionsprozess werden analog den pflanzlichen Systemen durch unterschiedliche Umrandung und Auszeichnung gekennzeichnet. Die Art des tierischen Systems kann durch Zusatzzeichen am und im Ellipsensymbol sichtbar gemacht werden. Die Abbildungen 12.5., 12.6. und 12.7. enthalten die wichtigsten Zusatzsymbole sowie Anwendungsbeispiele.

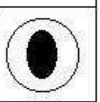
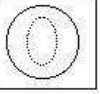
Darzustellende Systeme	Darstellungs-vorschrift	Symbol
Allgemein	voll ausgezeichnet	
Stoffansatz-systeme	voll umrandet, schraffiert ausgezeichnet	
Stoffumsatz-systeme	voll umrandet, nicht ausgezeichnet	
Energieliefernde Systeme	gestrichelt umrandet	
Zuchttiere	gepunktet umrandet	

Abb. 12.5. Symbole für tierische Produktionssysteme (nach M. Kleinau)

Darzustellende Systeme	Sym-bol	Darzustellende Systeme	Sym-bol
Rind		Männliches Tier	
Scvhwein		Kastriertes männliches Tier	
Schaf		Weibliches Tier	
Geflügel		Jungtier in der Milchperiode	
Pferd		Jungier von der Milchperiode bis zur Mast- bzw. Zuchtreife	

Abb. 12.6. Zusatzsymbole für tierische Produktionssysteme (nach M. Kleinau)

Tierisches System	Symbol	Produkt
Mastläufer-schwein		Schlacht-schwein
Kuh		Milch
Jungmast-geflügel		Schlacht-geflügel
Zugpferd		Zugkraft
Zuchtsau		Ferkel

Abb. 12.7. Beispiele für die Darstellung tierischer Produktionssysteme (nach M. Kleinau)

Die enge Wechselwirkung von biologischen und ökologischen Systemen im Produktionsprozess erfordert es, in bestimmten Zusammenhängen letztere ebenfalls in der Symboldarstellung mit zu erfassen. Als Zeichen für natürliche ökologische Systeme wählen wir das auf der Spitze stehende Quadrat. In der Agrarproduktion haben wir es aber vor allem mit künstlichen ökologischen Systemen zu tun. Wir verstehen darunter technisch veränderte natürliche ökologische Systeme. Sie bestehen im Prinzip aus drei Elementen: den technischen, den abiotisch-natürlichen (Klimafaktoren, Bodenfaktoren) und den biotischen (Makro- und Mikroorganismen) Faktoren der Pflanzen- und Tiergemeinschaften. Die Symbole für die künstlichen ökologischen Systeme ergeben sich aus der entsprechenden Kombination von Elementen der Grundzeichen für technische, biologische und natürlich-ökologische Systeme (Abb.12.8.).

Objekt	Symbol
Natürliche Umwelt	
Boden als Standort und Nährstoffquelle der Pflanzen	
Haltungsraum als Weide, Auslauf oder Offenstall	
Haltungsraum als Warmstall	
Haltungsraum als Intensivstall mit Klimaanlage	

Abb. 12.8. Symbole für ökologische Systeme (nach M. Kleinau)

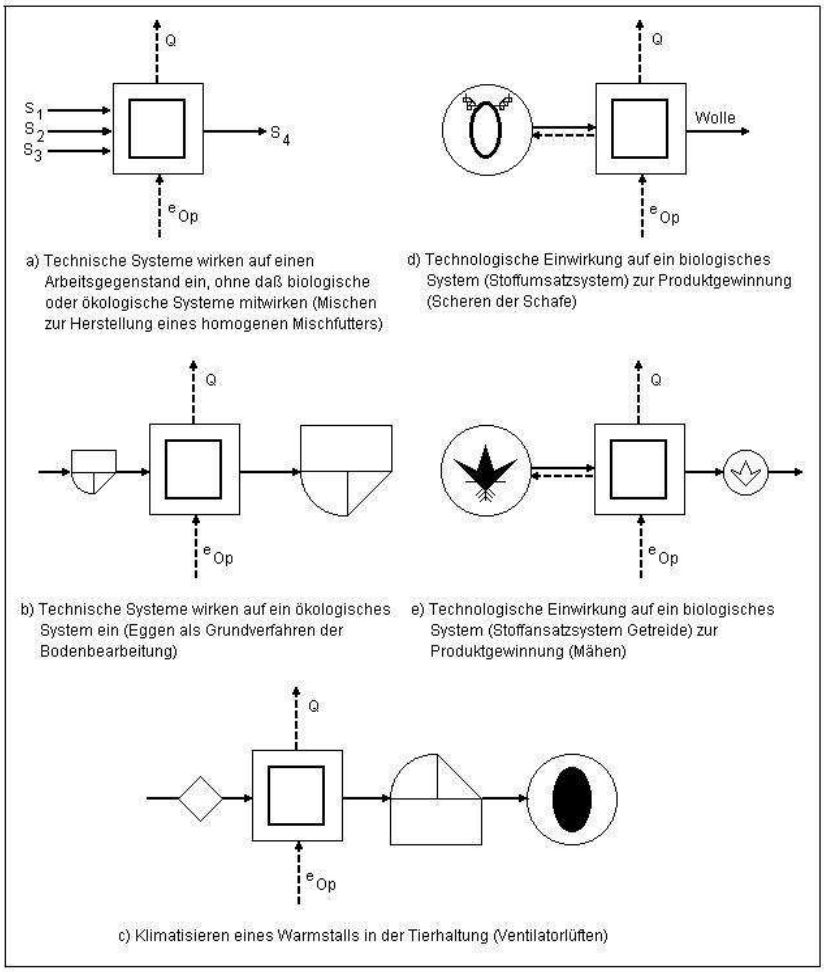
Für die Darstellung einzelner technologischer Grundverfahren gehen wir von folgenden Grundsätzen aus:

- Alle an der Zustandsänderung des Arbeitsgegenstandes mitwirkenden Systeme werden in die Symboldarstellung des betreffenden Grundvorgangs einbezogen.
- Sind mehrere Systeme am Bearbeitungsvorgang beteiligt, werden sie nebeneinander auf einer Ebene angeordnet; das Ausgangssystem steht am weitesten links.
- Hat das biologische oder ökologische System Arbeitsmittelfunktion, werden die entsprechenden

Symbole in der gleichen Größe wiedergegeben wie die Symbole für technische Systeme.

- Ist der Arbeitsgegenstand ein biologisches oder ökologisches System, ohne in diesem technologischen Vorgang Arbeitsmittelfunktion zu haben, wird dessen Symbol verkleinert dargestellt.

Abbildung 12.9. gibt typische Beispiele für die Symboldarstellung agrotechnologischer Vorgänge wieder.



a) Technische Systeme wirken auf einen Arbeitsgegenstand ein, ohne daß biologische oder ökologische Systeme mitwirken (Mischen zur Herstellung eines homogenen Mischfutters)

d) Technologische Einwirkung auf ein biologisches System (Stoffumsatzsystem) zur Produktgewinnung (Scheren der Schafe)

b) Technische Systeme wirken auf ein ökologisches System ein (Eggen als Grundverfahren der Bodenbearbeitung)

e) Technologische Einwirkung auf ein biologisches System (Stoffansatzsystem Getreide) zur Produktgewinnung (Mähen)

c) Klimatisieren eines Warmstalls in der Tierhaltung (Ventilatorlüften)

Abb. 12.9. Symboldarstellung agrotechnologischer Grundvorgänge

12.3. Technologische Struktur der Agrarproduktion

12.3.1 Allgemeine Struktur

Gegenüber der Industrieproduktion weist die Agrarproduktion auf Grund ihrer Besonderheiten eine spezifische Struktur auf. Sie beruht vor allem darauf, dass die Hauptproduktionsmittel biologische Systeme sind und dass ökologische Faktoren einen bedeutenden Einfluss im Produktionsgeschehen haben.

Im agrarischen Produktionsprozess wirken jeweils vier Teilsysteme in charakteristischer Weise zusammen: biologische, ökologische, technische und natürliche Systeme (Tabelle 12.4.).

System	Komponenten
Biologische Systeme	Pflanzen / Tiere
Ökologische Systeme	Boden / Haltungsräume
Technische Systeme	TS zur Nährstoffversorgung TS zur Standortoptimierung TS zur Pflege der Bio-Systeme TS zur Produktgewinnung TS zur Produktaufbereitung und lagerung
Natürliche Umwelt	Licht / Temperatur / Wasser/ Atmosphäre

Tabelle 12.4. Teilsysteme der Agrarproduktion

Stellen wir die einzelnen Systeme in ihrem Zusammenspiel graphisch dar, so ergibt sich das allgemeine Strukturmodell der Agrarproduktion (Abb.12.10.). Im Zentrum des Produktionsprozesses stehen die biologischen Systeme. Sie sind die wesensbestimmenden Arbeitsmittel und bringen als Stoffansatz- und Stoffumsatzsysteme die Produkte hervor.

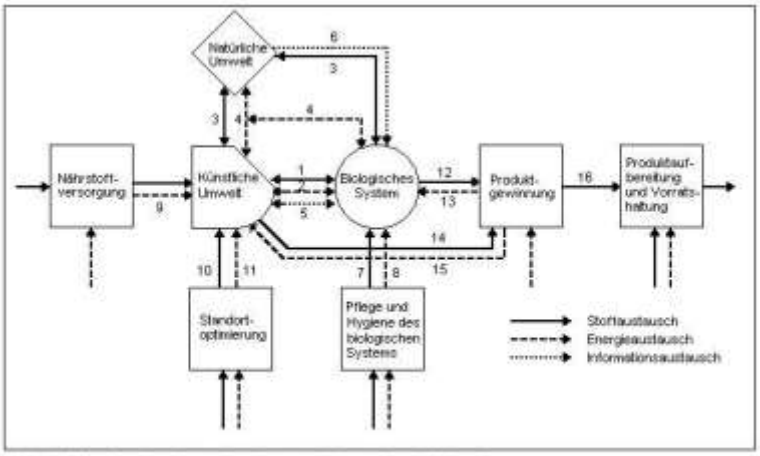


Abb. 12.10. Grundstruktur der Agraproduktion (nach Kleinau)

Mit den ökologischen Systemen stehen sie in einem ständigen Stoff- und Energieaustausch (1, 2,3 und 4). In begrenztem Maße findet wegen der nur relativen informatorischen Geschlossenheit biologischer Systeme auch ein Informationsaustausch statt (5 und 6). Dabei unterscheiden wir in der Strukturdarstellung zwischen natürlich-ökologischen und künstlich-ökologischen Systemen (d.h. der durch den Menschen technisch veränderten Umwelt, wie Boden und Haltungsräume für Tiere).

Die technologische Funktion der agrotechnischen Systeme besteht in der Optimierung der Entwicklungsbedingungen der biologischen Produktionssysteme. Das kann durch direkte Einwirkung auf die pflanzlichen und tierischen Organismen geschehen, indem Pflege- und Hygienemaßnahmen durchgeführt werden (7 und 8).

Indirekte Einwirkungen auf die biologischen Produktionssysteme zur Optimierung ihrer Entwicklungsbedingungen erfolgen über die künstliche Umwelt, indem einerseits Maßnahmen zur Nährstoffversorgung getroffen werden (9), und andererseits durch technologische Vorgänge, durch die die Standortbedingungen dem für die Pflanzen- und Tierentwicklung optimalen Zustand angenähert werden (10 und 11).

Die Gewinnung der Produkte stellt einen selbständigen Typ technologischer Vorgänge im agrotechnologischen Produktionsprozess dar. Sie erfolgt z. T. über direkte Einwirkung auf die biologischen Systeme (12 und 13) und z. T. über die künstliche Umwelt (14 und 15).

Schließlich bilden die Produktaufbereitung und die Vorratshaltung einen weiteren Typ technologischer Bearbeitungsvorgänge in der landwirtschaftlichen Produktion (16).

Insgesamt lassen sich aus den Strukturbeziehungen fünf verschiedene Typen technischer Systeme nach ihrer

technologischen Funktion im Produktionsprozess unterscheiden:

- technische Systeme zur Nährstoffversorgung
- technische Systeme zur Optimierung der Standortbedingungen
- technische Systeme zur Pflege und Hygiene der biologischen Systeme
- technische Systeme zur Produktgewinnung
- technische Systeme zur Produktaufbereitung und Vorratshaltung.

Die hier entwickelte technologische Grundstruktur der Agrarproduktion gilt in ihren Grundzügen in allen ihren Zweigen. Sowohl in der Pflanzenproduktion, in der Tierproduktion als auch in der Forstwirtschaft und in der Fischwirtschaft finden wir biologische, ökologische und technische Systeme als wesentliche Elemente des Produktionssystems. Die grundlegenden Relationen zwischen den einzelnen Strukturelementen, repräsentiert durch die Stoff-, Energie- und Informationsflüsse, stimmen ebenfalls im Prinzip überein. Abweichungen ergeben sich aus den Besonderheiten der einzelnen Zweige.

12.3.2. Die technologische Struktur der Pflanzenproduktion

Die technologische Grundstruktur der Pflanzenproduktion wird durch das Zusammenwirken von Pflanzen, dem Boden, der natürlichen Umwelt und den zur Optimierung der biologischen und ökologischen Systeme sowie zur Produktgewinnung und -aufbereitung eingesetzten technischen Systemen bestimmt (Abb.12.11.).

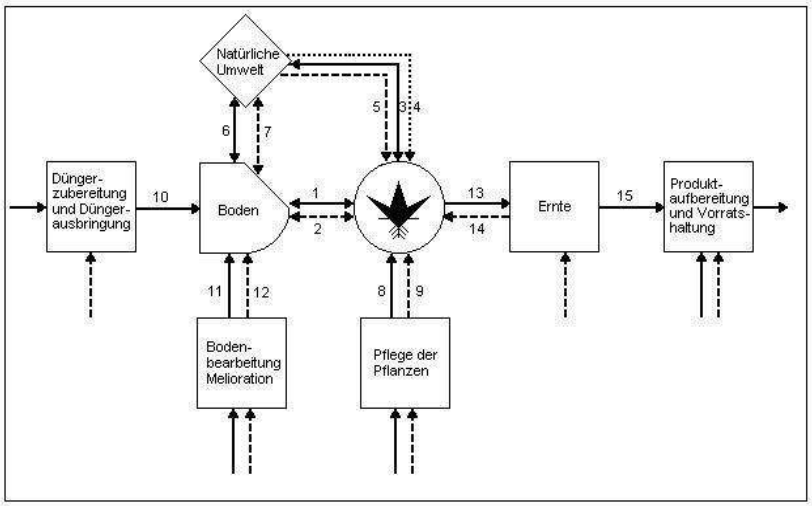


Abb. 12.11. Die technologische Grundstruktur der Pflanzenproduktipon (nach Kleinau)

Die Pflanze steht als produktbildendes System im Mittelpunkt der Strukturdarstellung. Charakteristisch für die Pflanzenproduktion ist die besondere Rolle des Bodens, der nicht nur Standort sondern auch wichtigster Nährstoff- und Wasserlieferant ist (1 und 2).

Im Vergleich zur Tierproduktion besteht in der Pflanzenproduktion eine wesentlich größere Abhängigkeit der pflanzlichen Produktionssysteme von der natürlichen Umwelt. Die Energie für die stoffbildenden Prozesse der pflanzlichen Photosynthese wird direkt aus der natürlichen Umwelt aufgenommen (3). Über die Assimilation des Kohlendioxids steht die Pflanze in direktem ständigen Stoffaustausch mit ihr (4). Hinzu kommen die stimulierenden Umweltreize als Informationsfluss zur Pflanze (5).

Die engen Wechselbeziehungen von natürlicher Umwelt und Boden (als künstlichem ökologischen System), wie der Einfluss der klimatischen Faktoren auf den Wasserhaushalt, die Bodentemperatur, die Bodenstruktur und die Bodenflora und -fauna, sind in den Relationspfeilen 6 und 7 ausgedrückt.

Als einzelne Typen technischer Systeme - konkretisiert auf die Pflanzenproduktion - können angegeben werden:

- Systeme zur Düngerzubereitung und -ausbringung
- Systeme zur Bodenbearbeitung und Regulierung von Klimaelementen
- Systeme zur Ernte
- Systeme zur Produktaufbereitung und -lagerung.
- Systeme zur Pflanzenbehandlung und -pflege

Ihre unmittelbar oder mittelbar auf die Pflanze gerichtete technologische Wirkung ist in den Relationen 8 bis 15 dargestellt.

12.3.3. Die technologische Struktur der Tierproduktion

In der technologischen Struktur der Tierproduktion nimmt das biologische System (Nutztier) ebenfalls die zentrale Stellung ein (Abb.12.12.). Im Symbol für die künstlichen ökologischen Systeme werden die Haltungsräume (Stallungen, Auslauf, Weide) dargestellt. In ihnen kann, abhängig vom technischen Niveau der Haltungsräume, wesentlicher Einfluss auf die Optimierung der Umweltbedingungen durch den Einsatz technischer Mittel ausgeübt werden. In Intensivställen mit Klimaanlage ist es z.B. möglich, unabhängig vom jahreszeitlichen Klimagang eine gleichbleibende, den günstigsten Entwicklungsbedingungen der Nutztiere entsprechende künstliche Umwelt zu schaffen. Der unmittelbare Stoff-, Energie- und Informationsaustausch zwischen den Nutztieren und der natürlichen Umwelt wird durch die dazwischen geschaltete künstliche Umwelt immer mehr regelbar und damit technologisch beherrschbar (1 bis 7).

Die einzelnen Typen technischer Systeme zur Optimierung der Umweltbedingungen der Tiere wirken wiederum direkt auf das biologische System (Tierpflege und Tierhygiene, 8 und 9) oder indirekt über die künstliche Umwelt (Nährstoffversorgung, 10, Klimatisierung und Umwelthygiene, 11 und 12). Analog zur Pflanzenproduktion finden wir technische Systeme zur Produktgewinnung sowie zur Produktaufbereitung und Vorratshaltung (13 bis 17).

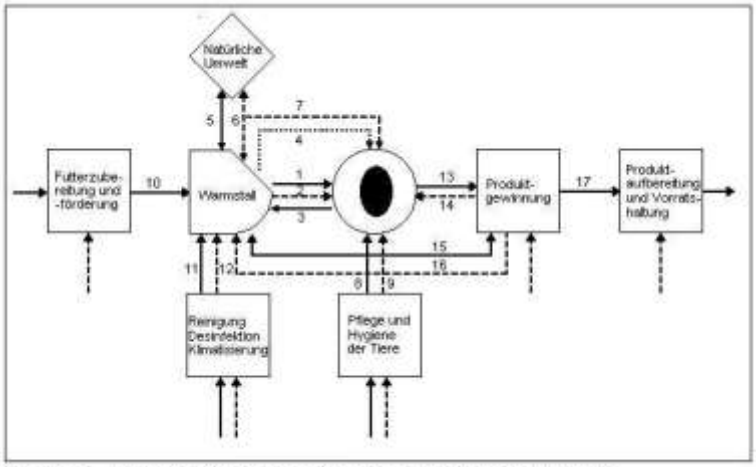


Abb. 12.12. Technologische Grundstruktur der Tierproduktion (nach Kleinau)

12.3.4. Die technologische Struktur der Forstwirtschaft

In der Forstwirtschaft finden wir eine technologische Struktur vor, die sich weitgehend mit der der Pflanzenproduktion deckt. Einige Abweichungen erklären sich aus den Besonderheiten dieses Zweiges der Agrarproduktion (Abb. 12.13.).

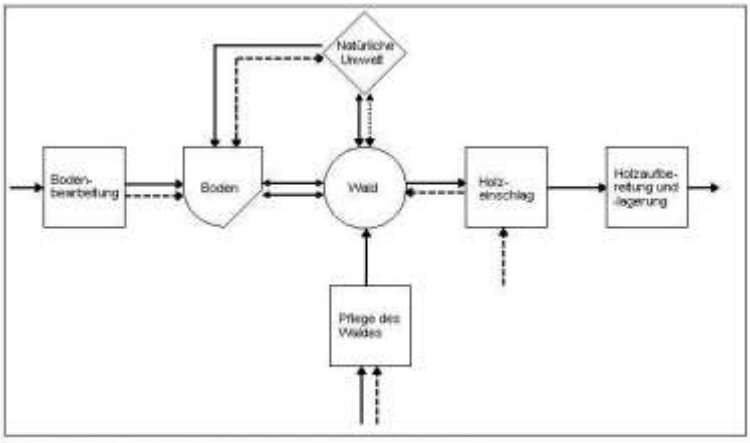


Abb. 12.13. Technologische Grundstruktur der Forstwirtschaft

So hat es die Forstwirtschaft durchweg mit sehr großen Betriebseinheiten zu tun. Die Produktionsdauer ist sehr lang und dauert im Allgemeinen mehr als ein Menschenalter (Tabelle 12.5.). Hinzu kommt, dass die Erntereife für ganze Bestände auf Jahre nicht genau bestimmt werden kann. Während in der Pflanzenproduktion der Erntezeitraum relativ eng begrenzt durch den Abschluss des Wachstums bzw. der Fruktifikation festgelegt ist, ist in der Forstwirtschaft sowohl der alternde, in seiner Zuwachsleistung nachlassende, als auch der leistungsschwache junge oder technisch minderwertige Baum hiebreif.

Holzart	Durchschnittliche Produktionsdauer
Kiefer	80 ... 140 Jahre
Fichte	80 ... 120 Jahre
Lärche	120 ... 140 Jahre
Douglasie	70 ... 80 Jahre
Buche	130 ... 150 Jahre
Eiche	120 ... 150 Jahre
Schwarzerle	60 ... 70 Jahre
Espe	60 ... 70 Jahre

Tabelle 12.5. Produktionsdauer ausgewählter Holzarten

Die Bäume in einem Forst sind zugleich Produktionsmittel und Produkte (Stoffansatzsysteme). Der Holzeinschlag darf dabei den Bestand des Waldes nicht gefährden. Die Produktentnahme erfolgt sowohl unter dem Nutzungsaspekt als auch dem der Aufrechterhaltung der Produktion und der Zuwachspflege.

Neben dem Rohholz liefert die Forstwirtschaft eine Reihe weiterer industriell bedeutsamer Nebenprodukte: Harz und Gerbrinde.

Hinsichtlich der Strukturbeziehungen zwischen den einzelnen Elementen ergeben sich im Vergleich zur Pflanzenproduktion folgende Eigenheiten:

- die dominierende Rolle der natürlichen Umwelt gegenüber der künstlichen Umwelt
- der Wald ist selbst ein ökologisches System mit bedeutendem Einfluss auf den Wasserhaushalt, auf die Luftreinhaltung und auf bestimmte klimatische Elemente
- neben den Arbeiten zur Produktgewinnung (Holzeinschlag) nehmen die Pflegemaßnahmen einen großen Umfang ein (Unkrautbekämpfung im jungen Wald, Schädlingsbekämpfung, Pflegehiebe, Durchforstungen).

12.4. Technologische Vorgänge in der Pflanzenproduktion

Die Notwendigkeit einer eigenständigen Systematisierung der technologischen Grundvorgänge der Pflanzenproduktion ergibt sich aus den Besonderheiten der technologischen Funktion der Bearbeitungsvorgänge. Auf die Analogien zu den Stoffformungsverfahren und den Stoffwandlungsprozessen haben wir bereits hingewiesen. Ihre Einordnung in diese Klassen von Bearbeitungsvorgängen würde aber ihre technologische Funktion und das Wesen der zu erreichenden Veränderung des Arbeitsgegenstandes nicht ausreichend widerspiegeln.

So hat das Pflügen zwar weitgehende Ähnlichkeit mit spanenden Bearbeitungsverfahren (z.B. Hobeln), in der technologischen Zielsetzung (dem Zweck) unterscheiden sie sich jedoch wesentlich. Die durch das Pflügen bewirkte Formänderung des Bodens hat das Ziel, ihn zu lockern, zu wenden und zu durchmischen, um ihn als ökologisches System zu aktivieren und die Bodenfruchtbarkeit zu steigern.

Wir betrachten die technologischen Verfahren der Pflanzenproduktion deshalb als selbständige Klasse von Bearbeitungsvorgängen innerhalb der Agrartechnologie. Die Einteilungskriterien lassen sich zwanglos aus dem Strukturmodell der Pflanzenproduktion ableiten. Entsprechend den im Produktionsprozess zu realisierenden verschiedenartigen technologischen Funktionen ergeben sich fünf Vorgangstypen:

- Technologische Vorgänge zur Optimierung der Standortbedingungen

- Technologische Vorgänge zur Behandlung der Pflanzen
- Technologische Vorgänge zur Nährstoffversorgung
- Technologische Vorgänge zur Ernte
- Technologische Vorgänge zur Produktaufbereitung und Vorratshaltung.

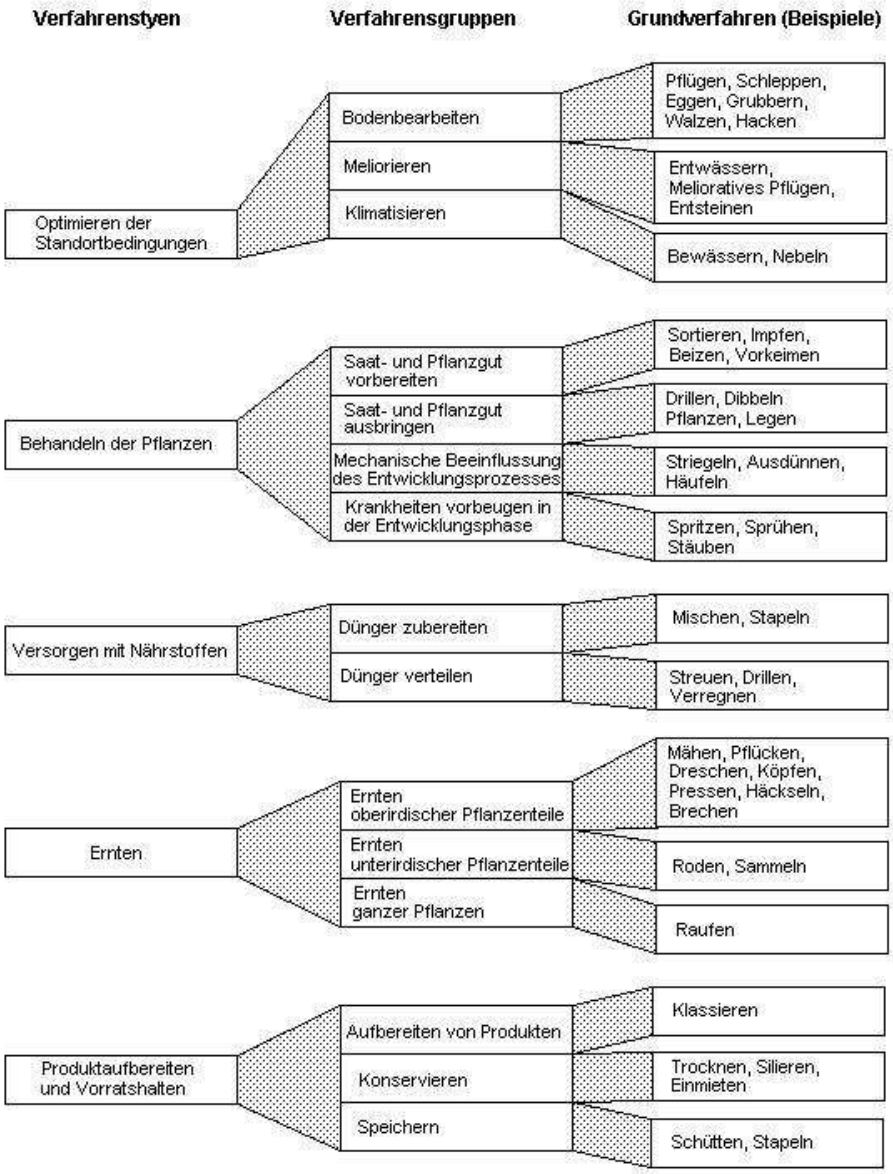


Abb. 12.14. Gliederung der technologischen Verfahren der Pflanzenproduktion

Die weitere Aufgliederung in Vorgangsgruppen erfolgt nach dem gleichen Kriterium, der technologischen Funktion im Produktionsprozess mit biologischen Systemen. Eine Übersicht gibt Abb12.14. Sie enthält zugleich ausgewählte Grundvorgänge zu den einzelnen Vorgangsgruppen.

12.5. Technologische Vorgänge in der Tierproduktion

Auch die Bearbeitungsvorgänge der Tierproduktion bilden eine selbständige Klasse technologischer Vorgänge. Die Vergleichbarkeit mit Verfahren der Stoffformung betrifft ebenfalls nur einige Aspekte und erfasst ihre komplexe technologische Funktion nur unzureichend. Insbesondere geht es bei ihnen um eine andere Zielsetzung (Zweck). Das Putzen der Tiere weist beispielsweise eine Reihe von Analogien mit den Grundverfahren des Verfahrenstyps „Aussondern von Stoffteilchen" auf. Soweit es um die Entfernung von Staub, Schmutz und Kot geht, sind durchaus Gemeinsamkeiten mit dem Stoffformungsverfahren Kratzen und Bürs-

ten vorhanden. Andere Aspekte, die die aktivierenden Wirkungen des mechanischen Bearbeitens der Haut auf deren biologische Funktionen und den Gesamtorganismus sowie die Behinderung der Entwicklung und die Vernichtung von Ektoparasiten, werden bei einer solchen Betrachtung nicht berücksichtigt. Das sind aber wesentliche, das Grundverfahren „Putzen der Tiere" charakterisierende technologische Funktionen.

Die Klasse der Bearbeitungsvorgänge der Tierproduktion lässt sich ebenso wie die der Pflanzenproduktion in fünf Vorgangstypen gliedern. Sie entsprechen den technologischen Grundfunktionen, wie sie sich aus dem Strukturmodell der Tierproduktion ergeben. Sie decken sich weitgehend mit denen der Pflanzenproduktion. Im Einzelnen sind es:

- Technologische Verfahren zum Optimieren der Haltungsräume
- Technologische Verfahren zum Behandeln der Tiere
- Technologische Verfahren zur Nährstoffversorgung
- Technologische Verfahren zum Produktgewinnen
- Technologische Verfahren zum Produktaufbereiten und zur Vorratshaltung.

Eine Übersicht über das System der Bearbeitungsvorgänge in der Tierproduktion gibt Abbildung 12.15. Neben der Aufgliederung der Klasse in Verfahrenstypen ist die Gruppeneinteilung und die Zuordnung einiger ausgewählter Beispiele von Grundverfahren in der Darstellung enthalten.

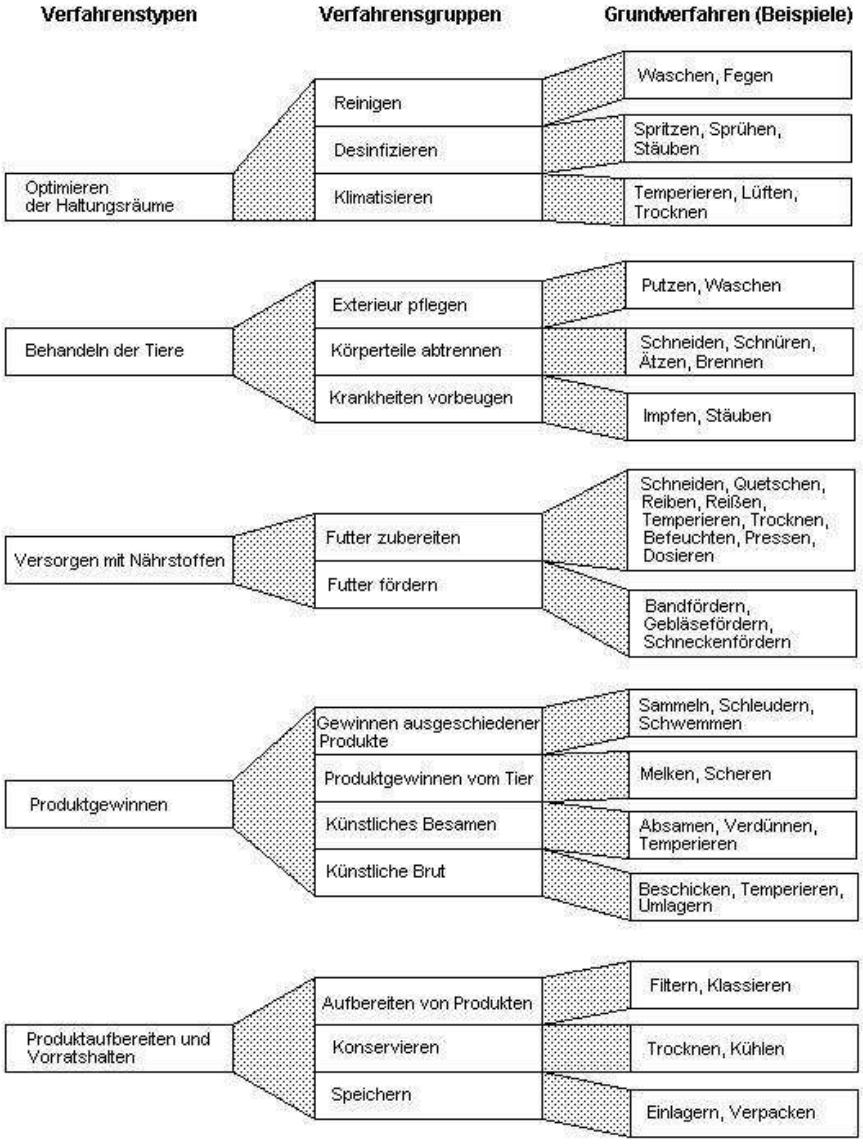


Abb. 12.15. Gliederung der technologischen Verfahren der Tierproduktion

12.6. Struktur und Wirkprinzipien technologischer Grundverfahren der Agrartechnologie

Für die agrartechnologischen Grundvorgänge gelten hinsichtlich ihrer Struktur und ihrer Wirkprinzipien alle theoretischen Grundaussagen, wie sie in den Kapiteln 5.3., 5.4. und 5.5. gemacht wurden. In den Grundvorgängen treten drei Strukturelemente auf (Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes, Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans und energetische Wirkbedingungen) und das Wirkprinzip hat eine gleichartige Aussagenstruktur. Leider fehlt noch eine theoretische Verallgemeinerung des Gesamtgebietes für die Agrartechnologie, so dass wir im Folgenden nur beispielhaft an jeweils einem Grundverfahren der Pflanzen- und der Tierproduktion die Vorgehensweise demonstrieren können.

12.6.1. Vorgangsdarstellung PFLÜGEN

1. Verfahrenscharakteristik

Pflügen ist ein technologisches Grundverfahren der Pflanzenproduktion. Innerhalb des Verfahrenstyps „Optimieren der Standortbedingungen" gehört es in die Verfahrensgruppe „Bodenbearbeiten". Seine technologische Aufgabe ist das Lockern, Wenden und Mischen des Bodens.

Im einzelnen sollen durch die Lockerung das Verhältnis von Porenvolumen und Substanzvolumen verbessert, die Wasserverdunstung eingeschränkt, die Bodendurchlüftung gefördert, Bodenverdichtungen beseitigt und Unkräuter vernichtet werden.

Das Wenden bringt Ernterückstände, Unkräuter und Dünger in tiefere Bodenschichten, fördert tiefer eingewaschene Nährstoffe und Bodenteile aus unteren Bodenschichten wieder in die obere Ackerkrume und schafft günstige Voraussetzungen für die Saatbettvorbereitung.

Die Mischung bewirkt, dass die eingebrachten anorganischen und organischen Stoffe sowie die Feinerdeanteile gut verteilt werden

Beim Pflügen wird durch die Keilform des Pflugkörpers ein Erdbalken von dem Pflugschar horizontal und dem Sech vertikal abgeschnitten und etwas angehoben. Das Streichblech hebt ihn weiter und wendet ihn. Dabei wird der Erdbalken verdreht und zerbrochen. Die Pflugtiefe liegt im Allgemeinen zwischen 15 und 40 cm.

2. Symboldarstellung

Das technische System Pflug wirkt auf den Boden ein, um die Bodenfruchtbarkeit zu regenerieren und ihn für folgende Produktionszyklen zu optimieren. Der Hauptfluss ist der Stofffluss, der durch die Relativbewegung zwischen Boden und Pflugkörper charakterisiert wird. Über ein Zugmittel wird die Operationsenergie zugeführt (Abb.12.16.).

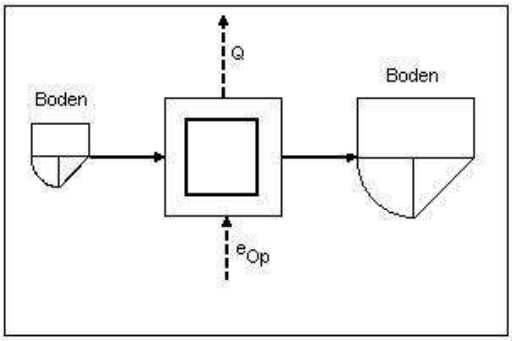


Abb. 12.16. Symboldarstellung des Pflügens

3. Grundbegriffe und naturwissenschaftliche Grundlagen

Nach der Arbeitstiefe unterscheidet man Schälpflügen (4 bis 6 cm), Saatpflügen (15 bis 30 cm) und Tiefpflügen (über 30 cm).

Der Pflugkörper besteht aus Rumpf, Schar und Streichblech mit Streichschiene. Das Pflugschar ist der wichtigste Teil des Arbeitsorgans des Pfluges. Es ist im Prinzip ein Keil, der in den Boden eindringt und in der gewünschten Tiefe einen Erdbalken abschneidet und anhebt.

Das Streichblech ist ein über dem Schar liegendes, mehr oder weniger steil stehendes und gewölbtes Blech mit sehr glatter Oberfläche, das den abgetrennten Erdbalken aufnimmt und ihn wendet.

Das Sech ist ein vor dem Pflugschar befestigtes, senkrecht stehendes Messer oder eine kreisrunde Scheibe, die den Erdstreifen vom ungepflügten Boden abtrennt.

Die mechanische Seite der naturwissenschaftlichen Grundlagen umfasst im Wesentlichen die am keilförmigen Arbeitsorgan des Pfluges auftretenden Kräfte sowie die beim Heben, Wenden, Lockern und Mischen des abgetrennten Bodenstrangs ablaufenden Vorgänge.

Der beim Pflügen zu überwindende Bodenwiderstand ist wegen der großen zu bewegenden Bodenmengen sehr hoch. Er setzt sich aus dem Schneidenwiderstand an Schar und Sech und aus dem Reibungswiderstand am Streichblech zusammen. Hinzu kommt der stark von der Bodenart und dem Bodenzustand abhängende Eigenwiderstand des Bodens gegen das Heben, Wenden und Verformen. Diese Kräfte wirken außerordentlich komplex zusammen.

Der spezifische Bodenwiderstand beträgt bei

- Sandböden 20...40 kPa
- Lehmböden 40...60 kPa
- Tonböden 60...100 kPa.

Der Zugkraftbedarf Z für das Pflügen errechnet sich aus dem Produkt von Furchenquerschnitt F, gemessen in cm^2 und dem spezifischen Bodenwiderstand w

$$Z = F \cdot w$$

Diese Formel gibt nur Näherungswerte, weil der Bodenwiderstand in weiten Grenzen schwankt und auch die Arbeitsgeschwindigkeit und der Zustand des Pfluges erheblichen Einfluss auf den Zugkraftbedarf haben.

4. Wirkfaktor Bearbeitungseigenschaften des Bodens

Die Bearbeitungseigenschaften des Bodens werden vor allem bestimmt durch die Bodenart (Sand/Lehm/Ton), die Bodentextur, die Bodenstruktur und die Bodenfeuchtigkeit. Sie bilden zusammen ein komplexes technologisches System, die Pflügbarkeit des Bodens.

Die Bearbeitungseigenschaften des Bodens beeinflussen in großem Maße die Form des für die Erreichung optimaler Effekte einzusetzenden Pflugkörpers (4). Sandböden erfordern steile Pflugkörper. Stark schräggestellte (liegende) Pflugkörper werden für mittelschwere Böden eingesetzt. Bei verwachsenen, bindigen und schwersten Böden ist der Pflugkörper schraubenförmig gewunden.

Der Pflugkraftbedarf wird ebenfalls durch den Bodenzustand bestimmt (7).

5. Wirkfaktor Funktionseigenschaften des Pflugkörpers

Die Grundform des Pflugkörpers ergibt sich aus den Forderungen des Wirkprinzips (2). Die spezielle Form des jeweiligen Pflugkörpers bestimmt seine Einsatzmöglichkeiten auf bestimmten Bodenarten unter Berücksichtigung des Bodenzustandes (5). Die Größe der aufzuwendenden Zugkraft (8 und 9) hängt in bedeutendem Maße von der Größe des eingreifenden Pflugkörpers, aber auch vom Gerätezustand und seiner Konstruktion ab. Stumpfe Scharkanten, hervorstehende Scharschrauben, schlechte Übergänge vom Schar zum Streichblech, verrostete Streichbleche sind Faktoren, die den Zugkraftbedarf erheblich erhöhen. Konstruktive Einflussfaktoren sind Form und Stellung des Sechs zum Schar.

6. Wirkfaktor Energetische Wirkbedingungen

Die Anwendung mechanischer Zugkraft folgt aus dem Pflugprinzip (3). Ihre Größe ist abhängig vom Furchenquerschnitt (6) und dem Bodenwiderstand (7). Die aufgewandte Zugkraft wirkt sich auf die Qualität der Bodenbearbeitung (Furchentiefe, Furchenbreite) aus. Sie steht aber auch in Relation zu den Einsatzgrenzen hinsichtlich der mechanischen Belastbarkeit des Pflugkörpers (9).

7. Wirkprinzip

Dem Pflügen liegt das Pflugprinzip zugrunde (Abb.12.17.). Es repräsentiert das komplexe Zusammenwirken der Vorgänge an den keilförmigen Schneiden von Schar und Sech beim Abtrennen des Bodenbalkens aus dem Bodenverband und die Vorgänge am steilstehenden, gewölbten Streichblech beim Heben, Drehen, Zerbrechen und Mischen des abgetrennten Bodens im Zusammenhang mit dem angestrebten Bearbeitungszweck

(1). Die Grundwirkform des Pflugkörpers ist der Keil. Das Pflugprinzip ist aber wegen seiner komplexen Struktur nicht mit dem Keilprinzip der spanenden Trennverfahren identisch.

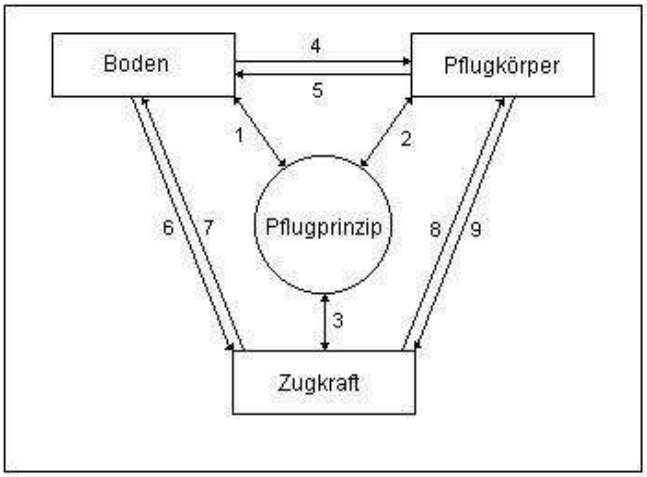


Abb. 12.17. Strukturschema des Pflügens

8. Typische Anwendungsgebiete

Die wichtigsten Anwendungsfelder des Pflügens sind:

- Ziehen der Saatfurche
- Ziehen der Herbstfurche
- Stoppelbearbeitung (Schälpflügen)
- Vertiefung der Ackerkrume
- Melioratives Pflügen zur Unterbodenverbesserung.

12.6.2. Vorgangsdarstellung MELKEN

1. Verfahrenscharakteristik

Melken ist ein technologisches Grundverfahren der Tierproduktion und gehört zur Verfahrensgruppe „Produktgewinnen vom Tier". Wir unterscheiden Melken von Hand und Maschinenmelken. Die folgenden Darstellungen beziehen sich auf das maschinelle Melken, das sich mit der zunehmenden Technisierung der Landwirtschaft überall durchgesetzt hat.

Durch das Melken soll die in den Milchdrüsen der Kuh gebildete und im Hohlraumsystem des Drüsengewebes angesammelte Milch dem Euter entzogen werden.

Über die an den Euterzitzen angesetzten Melkbecher der Melkmaschine wird eine Saugwirkung ausgeübt. Sie überwindet die Schließkraft des den Zitzenkanal verschießenden Muskels und bewirkt den Milchentzug aus dem Euter. Der Saugvorgang wird durch einen Pulsator rhythmisch unterbrochen, so dass sich Saug- und Entlastungstakt in regelmäßiger Folge ablösen (50- bis 55-mal je Minute). Eine Vakuumpumpe erzeugt das für die Saugwirkung notwendige Melkvakuum von etwa 46,5 kPa. Die ermolkene Milch wird in Kannen gesammelt (Kannenmelkmaschine) oder durch Rohrleitungen in das Milchhaus zur Kühlung und Lagerung transportiert (Rohrmelkanlagen, Melkstandanlagen).

2. Symboldarstellung

Über die Melkanlage wird die Operationsenergie e_{Op} (pulsierendes Melkvakuum) dem Euter der Kuh zugeführt und damit der Stoffffluss vom Tier zur Melkanlage bewirkt. Die Steuerung der Melktakte durch den Pulsator symbolisiert der Informationsfluss i_1, den zur Anregung der Melkbereitschaft notwendigen Reiz der Informationsfluss i_R (Abb.12.18.)

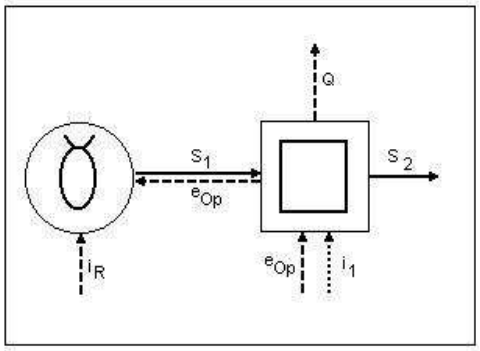


Abb. 12.18. Symboldarstellung des Melkens

3. Grundbegriffe

Im hormonal gesteuerten Prozess der Milchbildung und der Euterentleerung steuert das Hormon Oxytoxin die Milchhergabe. Es wird von der Hypophyse auf taktile Reize am Euter ausgeschieden. Seine Wirkungsdauer ist auf 8 bis 10 Minuten begrenzt. Man spricht in diesem Zeitraum von der Melkbereitschaft der Kuh. Sie ist mit dem „Einschießen der Milch" aus den Milchbildungsdrüsen in die Milchzisternen des Euters verbunden.

Das Anrüsten ist eine Massage des Euters, das den Melkreiz auslöst und die Ausstoßung des Oxytoxins bewirkt.

4. Naturwissenschaftliche Grundlagen

Die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Melkvorgangs beziehen sich auf zwei Komplexe:

- auf die komplizierten hormonal gesteuerten biologischen Prozesse, die zur Melkbereitschaft führen und
- auf die innerhalb des technischen Systems genutzten physikalischen Vorgänge.

Die Kenntnis der biologischen Aspekte ist für das Melken von außerordentlicher Bedeutung. Ebenso wie die Milchbildung wird auch die Milchhergabe durch Hormone gesteuert. Das Hormon Oxytoxin bewirkt eine Kontraktion der Milchdrüsen und veranlasst die Drüsenbläschen zur Abgabe der Milch. Durch taktile Reize auf das Euter (gefühlvolle Euter- und Zitzenmassage -"Anrüsten"-) wird die Hirnanhangdrüse zur Absonderung des Hormons gebracht. Es gelangt über die Blutbahn zum Euter. Für den technologischen Vorgang des Melkens ist weiter von Bedeutung, dass die Hormonwirkung nur 8 bis 10 Minuten anhält. Die Melkbereitschaft der Kuh besteht nur in diesem Zeitraum uneingeschränkt. Deshalb müssen die Melkbecher unmittelbar nach dem Anrüsten angesetzt werden, um das Euter vollständig ausmelken zu können. Beachtet werden muss auch, dass bei Erschrecken des Tieres oder Schmerzempfinden (bei falschem Ansetzen der Melkbecher) durch die Nebennieren das Hormon Adrenalin ausgeschieden wird. Es hebt die Wirkung des Oxytoxins auf. Das führt zum so genannten „Hochziehen" oder „Festhalten" der Milch im Euter.

Eine richtige Eutervorbereitung durch Vormelkprobe, Euterreinigung und Anrüsten ist deshalb Voraussetzung für das Maschinenmelken.

Die physikalischen Grundlagen der Melkanlage betreffen die mit der Vakuumerzeugung zusammenhängenden Vorgänge. Ein durch einen Elektromotor angetriebener Zellenverdichter bringt das zum Antrieb der Melkmaschine notwendige Vakuum hervor. Dieser Zellenverdichter ist im Prinzip eine Ölluftpumpe mit exzentrisch rotierenden Kolben. Der Luftansaugstutzen ist mit der Melkmaschine verbunden.

5. Wirkfaktor Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes

Die im Euter angesammelte Milch bildet den Arbeitsgegenstand. Die spezifischen Eigenschaften der Milch, insbesondere diejenigen hinsichtlich ihrer späteren Verwendung als Nahrungsmittel, erfordern die Einhaltung strenger hygienischer Bedingungen. Die Melkbecher müssen deshalb stets sauber gehalten und nach jedem Gebrauch desinfiziert werden (4).

6. Wirkfaktor Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans

Das Arbeitsorgan der Melkmaschine sind die Melkbecher (2). Es sind zylindrische Hülsen, in denen jeweils ein Formzitzengummi mit Saugkopf angeordnet ist. Über sie wirkt das Melkvakuum (8 und 9). Die ausströ-

mende Milch wird durch die Melkbecher in das Rohr- und Schlauchsystem der Melkanlage gefördert. Die Grundwirkform des Arbeitsorgans ist der Wirkraum.

7. Wirkfaktor Energetische Wirkbedingungen

Die Operationsenergie wird zwar als elektrische Energie zugeführt, sie wird aber über den Zellenverdichter in pneumatische Energie umgewandelt (3). Sie ist die eigentliche Wirkenergie (6).

Die schonende Euterbehandlung verlangt die pulsierende Arbeits- und Entlastungsphase bei der Wirkung der Operationsenergie (7).

8. Wirkprinzip

Dem Melken liegt das Pulsator-Saugtrenn-Prinzip zugrunde. Es wird durch zwei aufeinander folgende Takte gekennzeichnet. Während des Saugtakts wird die Milch dem Euter unter der Einwirkung des Vakuums entzogen. Im darauf folgenden Entlastungstakt wird das Vakuum abgebaut, es strömt Luft in die Melkbecherzwischenräume, der Milchentzug wird gestoppt (Abb.12.19.).

Die pulsierende Arbeitsweise soll einer übermäßigen Gewebeerweiterung des Euters als Folge der Einwirkung des Melkvakuums entgegenwirken (1).

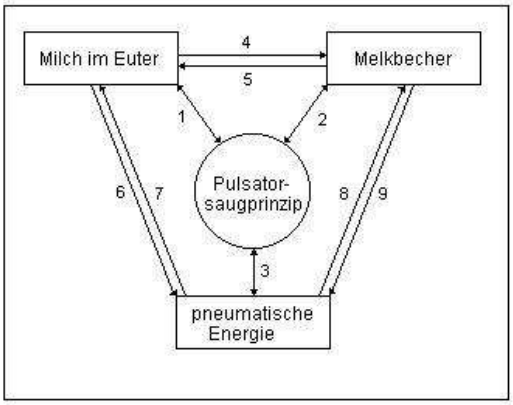


Abb. 12.19. Strukturschema des Melkens

Literatur

12.1 M. Müller: Technologische Grundlagen für die Landwirtschaft, Berlin 1989
12.2 H. Hörnecke: Untersuchungen zum System und zur Struktur der Pflanzenproduktion, Dissertation A, Martin-Luther-Universität, Halle(Saale) 1968
12.3 M. Kleinau: Untersuchungen zum System und zur Struktur der Tierproduktion, Dissertation A, Martin-Luther-Universität, Halle(Saale) 1968
12.4 Autorenkollektiv: Technologische Prozesse der Pflanzenproduktion, Berlin 1989
12.5 R. Lehmann: Technologie der Tierproduktion, Berlin 1986
12.6 W. Ebert / G. Hermann / K. Renner: Grundlagen der Technologie - Landwirtschaft, Berlin 1975
12.7 W. Pampel: Grundlagen der Forsttechnik und Forsttechnologie, Berlin 1978
12.8 Autorenkollektiv: Der Wald, Leipzig/Jena/Berlin 1975
12.9 W. Steffens: Industriemäßige Fischproduktion, Berlin 1979
12.10 M. Müller: Technologische Grundlagen für die industriemäßige Pflanzenproduktion, Berlin 1980

IV. Teil – DAS TECHNOLOGISCHE SYSTEM VON PRODUKTIONS-PROZESSEN UND SEINE STRUKTUR

13. Technologische Struktur von Produktionsprozessen

13.1. Die Phasenstruktur von Produktionsprozessen

Die Analyse der technologischen Grundvorgänge, die Bestimmung ihrer wesentlichen Elemente und deren Relationen haben gezeigt, dass sie eine einheitliche Grundstruktur besitzen. Wenden wir uns nun der Frage zu, ob die technologischen Systeme vollständiger Produktionsprozesse ebenfalls einheitliche Strukturen aufweisen und sich in Form eines allgemeinen Strukturmodells erfassen lassen.

Die Kenntnis der technologischen Struktur von Produktionsprozessen ist von Bedeutung für das Erfassen ihrer wesentlichen Merkmale, insbesondere deshalb, weil sich im Prozess der wissenschaftlich-technischen Revolution qualitative Veränderungen vollziehen, die den Produktionsprozess als Ganzes betreffen.

Ein Aspekt dieser neuen Qualität, den wir hervorheben wollen, betrifft die Dialektik zwischen technischen Mitteln und Bearbeitungsvorgängen im Produktionsprozess und ihr Verhältnis zur menschlichen Tätigkeit. In der handwerklichen Produktion, wie sie für die vorindustriellen Produktionsweisen typisch war, vereinigen sich beide, Mittel und Verfahren, in der Kunstfertigkeit des menschlichen Schaffens. Mit der Herausbildung der Maschinenproduktion im Gefolge der industriellen Revolution des 18. und 19. Jahrhunderts wird diese Einheit aufgehoben. Die Maschinentechnik verselbständigte die Mittel und isolierte den Produzenten von den Mitteln. Die objektivierten technischen Produktionssysteme ermöglichten und erforderten, die durch sie realisierten Verfahren zu bestimmen. Sie wurden damit aus der Summe der menschlichen Arbeitserfahrungen herausgelöst. Die ursprüngliche Einheit von Mittel, Verfahren und menschlichen Arbeitsverrichtungen löste sich auf. Gesetzmäßig war damit eine Vorrangstellung der Produktionstechnik gegenüber den technologischen Verfahren verbunden. Diese bestimmende Rolle der technischen Mittel entsprach der Beschränkung auf die vorwiegende Nutzung mechanischer Verfahren im Produktionsprozess.

In der wissenschaftlich-technischen Revolution kehrt sich nun dieses Verhältnis um und führt zu einer neuen Einheit von Verfahren und Mitteln. In zunehmendem Maße werden nicht nur mechanische und thermische, sondern auch chemische, kernphysikalische, festkörperphysikalische, biologische und weitere Energiearten und -formen komplex im Produktionsprozess genutzt. Damit beginnt die Technologie aber immer stärker Einfluss auf die Gestaltung der technischen Mittel zu nehmen. Den Verfahren kommt nun eine bestimmende Funktion im Verhältnis von Verfahren und Produktionstechnik zu. Hier liegt eine der Ursachen für die Bedeutung der Kenntnis technologischer Prozessstrukturen.

Um einen Arbeitsgegenstand aus seinem Anfangszustand (Ausgangszustand) in das gewünschte Produkt zu überführen, sind zahlreiche einzelne Bearbeitungsvorgänge nötig, die in bestimmter Folge nacheinander wirken müssen. Diese Folge von Zustandsänderungen, repräsentiert durch eine Folge technologischer Grundvorgänge, stellt das technologische System eines Produktionsprozesses dar (vgl. Kapitel 4.6.).

Verdeutlichen wir diesen Sachverhalt an einem Beispiel: Die Produktion von Zement geht von Ton und Kalk als Ausgangsstoffen aus. Zunächst werden beide getrennt bearbeitet (vgl.Abb.13.2.). Der Kalkstein wird durch Brechen und Mahlen zerkleinert. Zwischen die einzelnen Zerkleinerungsvorgänge sind Siebverfahren geschaltet. Der Ton wird im Rührwerk aufgeschlämmt. Die so vorbehandelten Ausgangsstoffe werden sodann in Kugelmühlen sehr fein zu Rohmehl vermahlen und gleichzeitig innig vermischt. Zur Erzeugung einer möglichst gleichmäßigen Konsistenz des Rohmehl wird es homogenisiert. Durch Anreiben mit Wasser erfolgt eine Granulierung des Rohmaterials. Danach wird es in einen flammbeheizten Drehrohrofen eingetragen und beim Durchlauf gebrannt. In einer Kühltrommel werden die entstandenen faustgroßen Zementklinker gekühlt. Darauf folgt die feine Zermahlung der Klinker in Rohrmühlen. Damit ist der Produktionsprozess von Zement abgeschlossen.

Jeder beliebige Produktionsprozess lässt sich als eine solche Folge von Bearbeitungsvorgängen darstellen. Die Vielzahl der miteinander verbundenen technologischen Grundvorgänge macht den Gesamtprozess unübersichtlich. Das lässt uns die Frage aufwerfen, ob die einzelnen technologischen Systeme nicht eine innere Struktur besitzen, die objektive Beziehungen der einzelnen Elemente dieses Systems widerspiegelt, und ob es möglich ist, ein allgemeines Strukturmodell zu entwerfen, das den unterschiedlichen Produktionsprozessen gemeinsam ist.

Eine so orientierte Analyse technologischer Systeme muss von funktionalen Kriterien ausgehen, d.h. sie muss die generellen technologischen Funktionen herausfinden, die die einzelnen Bearbeitungsvorgänge im Hinblick auf die Überführung des Arbeitsgegenstandes aus seinem Ausgangszustand in das gewünschte Produkt ausüben.

Betrachten wir unter diesem Aspekt das technologische System der Zementherstellung, so zeigt sich, dass unter den zahlreichen technologischen Bearbeitungsvorgängen dem Brennen des Rohmehls besondere Bedeutung zukommt. Es stellt den Hauptprozess dar, dem alle anderen Vorgänge unter- bzw. nachgeordnet sind. Beim Brennen erfolgt die eigentliche Umwandlung der Ausgangsstoffe Kalkstein und Ton in Zement.

Untersucht man die technologische Funktion der dem Brennen vorgeschalteten Vorgänge, so ergibt sich, dass sie ausnahmslos dem Ziel dienen, die Ausgangsstoffe in einen für den Brennprozess optimalen Zustand zu versetzen.

Für unser Beispiel heißt das: Der Brennprozess ist eine stoffwandelnde Festkörperreaktion unter Normaldruck bei 1400 ^{o}C. Optimale Reaktionsbedingungen für diesen Prozess liegen dann vor, wenn

- die Ausgangsstoffe eine möglichst große Oberfläche haben (das wird durch Zerkleinerungsvorgänge erreicht),
- die Ausgangsstoffe möglichst ideal gemischt sind (Mischverfahren),
- die Zusammensetzung der Reaktionsteilnehmer in allen Bereichen des Reaktionsgemisches nur in geringen Grenzen schwankt (Homogenisieren).

Das Granulieren lässt sich ebenso der technologischen Funktion "Optimieren der Ausgangsbedingungen des Hauptprozesses**!Syntaxfehler, .**" unterordnen. Hier spielen jedoch weniger die naturwissenschaftlich-technischen Forderungen eine Rolle als vielmehr ökonomische und ökologische Gesichtspunkte. Durch das Granulieren verhindert man größere Verluste von Rohmehl, das bei staubförmigem Eintrag in den Drehrohrofen durch die Flammgase zum Teil in das Abgassystem mitgerissen würde. Neben den Materialverlusten wäre das mit einer erhöhten Umweltbelastung verbunden.

Bei den auf das Brennen folgenden technologischen Grundvorgängen lässt sich ebenfalls eine gemeinsame technologische Funktion bestimmen. Sie überführen das nach dem Brennen vorliegende Rohprodukt in das Fertigprodukt, indem sie aus den Zementklinkern ein zu Mörtel verarbeitbares Pulver (Zement) mit guten Abbindeeigenschaften machen.

Fassen wir die Überlegungen zusammen, so ergibt sich, dass die Zementherstellung drei Abschnitte mit jeweils technologisch einheitlicher Zielsetzung aufweist:

- die vorbereitende Phase
- die Hauptphase
- die Schlussphase.

Die Frage, ob eine solche technologische Gliederung auch für andere Produktionsprozesse typisch ist, kann uneingeschränkt bejaht werden. Die *Drei-Phasen-Struktur* ist ein allgemeingültiges technologisches Prinzip für alle Produktionsprozesse.

Wir können festhalten: Jedes technologische System eines Produktionsprozesses besteht aus einzelnen Phasen. Unter Phasen verstehen wir zusammenhängende Abschnitte des Gesamtprozesses, deren einzelne Teilvorgänge (technologische Grundvorgänge) eine gemeinsame technologische Funktion erfüllen. Alle Produktionsprozesse weisen durchgängig drei technologische Phasen auf: die Vor-, Haupt- und Schlussphase. Wir bezeichnen dies allgemeine technologische Prinzip als Drei-Phasen-Struktur von Produktionsprozessen.

13.2. Technologische Charakteristik der Hauptphase

Von den drei aufeinander folgenden Phasen eines technologischen Systems ist die zweite immer die Hauptphase.

Die in der Hauptphase erfolgenden Veränderungen des Arbeitsgegenstandes prägen das Gesicht des gesamten Produktionsprozesses und bedingen seine Zuordnung zu bestimmten Hauptproduktionszweigen. In dieser Phase erfährt der Arbeitsgegenstand (ganz gleich ob er als Stoff, Energie oder Information vorliegt) die entscheidende Veränderung im Hinblick auf das herzustellende Produkt.

Die technologischen Grundvorgänge der Hauptphase sind im Allgemeinen auf eine der 9 Klassen von Bearbeitungsvorgängen beschränkt.

Stoffformungsverfahren kennzeichnen die Hauptphase der Produktionsprozesse der mechanischen Produktion (Maschinenbau, holzverarbeitende Industrie, Textilindustrie, Plastverarbeitungsindustrie). Die in der Hauptphase durch Stoffwandlungsprozesse charakterisierten Produktionsprozesse gehören zur chemischen Produktion (chemische Industrie, Baustoffindustrie, Metallurgie). Für die Energiewirtschaft sind energieumformende und energiewandelnde Vorgänge in der Hauptphase charakteristisch. Im Transportwesen und der Fördertechnologie sind Transportoperationen bestimmend. Das Nachrichtenwesen und die Rechentechnik finden in den informationsverarbeitenden Vorgängen ihre profilgebenden Bearbeitungsvorgänge.

13.3. Die vorbereitende Phase

Die vorbereitende Phase umfasst Bearbeitungsvorgänge, die den Arbeitsgegenstand (Stoffe, Energien, Informationen) in einen für die Veränderungen in der Hauptphase optimalen Zustand überführen.

In der Walzwerksproduktion müssen beispielsweise die Rohblöcke in Ausgleichsgruben oder Tieföfen auf die geforderte Temperatur gebracht werden, bevor das Walzen erfolgen kann. Die den Elektrolysezellen zugeführte Sole bei der Natriumchloridelektrolyse wird von unerwünschten Beimengungen durch chemische Fällungsprozesse und anschließendes Filtrieren befreit, um unerwünschte (qualitäts- und produktivitätsmindernde) Nebenreaktionen während der Elektrolyse auszuschalten. In der Landwirtschaft wird das Saatgut vor der Einbringung in den Boden in spezifischer Weise vorbereitet (Sortieren, Reinigen, Beizen, Vorkeimen).

Allgemein kann man sagen, dass die Art der Bearbeitungsvorgänge in der Vorphase von den in der Hauptphase zu fordernden Bedingungen für einen optimalen Zustand der vorbereiteten Arbeitsgegenstände abhängt. Dabei werden Bearbeitungsvorgängen aller Klassen angewandt.

13.4. Die Schlussphase

Das am Ende der Hauptphase anfallende Rohprodukt muss einer abschließenden Bearbeitung in einer Schlussphase unterworfen werden, damit die an das Fertigprodukt hinsichtlich eines hohen Gebrauchswertes und seiner Vermarktung zu stellenden Anforderungen erfüllt werden.

In der mechanischen Produktion sind das vor allem Verfahren der Oberflächenvergütung (Galvanisieren, Lackieren, Härten), der Feinbearbeitung (Läppen, Honen) und der Montage.

Chemieprodukte müssen in ihre Komponenten zerlegt (Destillieren, Kristallisieren, Verdampfen), von Beimengungen befreit (Konzentrieren), zerkleinert oder agglomeriert werden.

In der Agrarproduktion sind Ernte- und Lagerverfahren typisch für die Schlussphase.

Die in der vorbereitenden und der abschließenden Phase angewandten technologischen Grundvorgänge müssen nicht aus der für die Hauptphase charakteristischen Klasse von Bearbeitungsvorgängen stammen. Wir finden Verfahren, Prozesse und Operationen aus allen Klassen von Bearbeitungsvorgängen. Gemeinsames Kriterium ist lediglich ihre vorbereitende bzw. aufarbeitende technologische Funktion im Gesamtprozess.

13.5. Strukturdarstellung technologischer Prozessabläufe

Für die Darstellung der Phasenstruktur von Produktionsprozessen haben sich das Strukturschema und das Prinzipschema bewährt.

Das *Strukturschema* gibt die Phasenstruktur von Produktionsprozessen unmittelbar wieder. Es enthält die Arbeitsgegenstände im Ausgangszustand, die auf die Bearbeitungsschritte in der Hauptphase vorbereiteten Arbeitsgegenstände, das Rohprodukt und das Endprodukt. Sie werden in rechteckigen Feldern dargestellt und untereinander angeordnet.

Die Felder werden durch Pfeile miteinander verbunden, die jeweils die Bearbeitungsvorgänge einer Phase charakterisieren. Links neben die Pfeile werden je nach dem Grad der Konkretheit die Bezeichnungen für die Phasen (allgemein oder produktionszweigbezogen) eingetragen. Rechts neben den Pfeilen können bei konkreten Produktionsprozessen die einzelnen Bearbeitungsvorgänge bezeichnet werden.

Das allgemeine Strukturschema für die Phasenstruktur technologischer Systeme zeigt Abb.13.1.

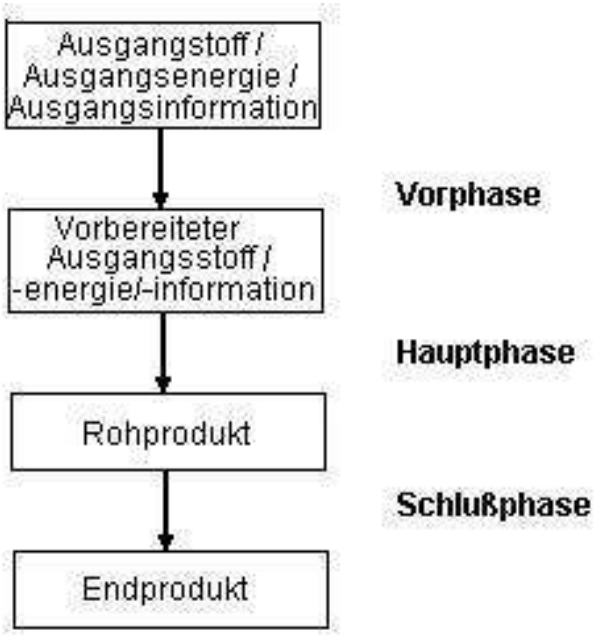


Abb.13.1. Phasenstruktur des Produktionsprozesses

Das *Prinzipschema* gibt eine detaillierte Übersicht über die technologische Verfahrensfolge. Die einzelnen Grundvorgänge werden von oben nach unten durch Rechtecke symbolisiert. Pfeile geben den Verlauf und die Folge der Bearbeitungsvorgänge an.

Die Ausgangsstoffe (-energien, -informationen) werden im Prinzipschema durch Kreise, die Hauptprodukte durch Rhomben, Neben- und Abfallprodukte durch seitlich herausgezogene Dreiecke gekennzeichnet. Die Phasenstruktur kann durch Klammern rechts neben dem Schema verdeutlicht werden.

Die Zwischenzustände der Arbeitsgegenstände am Beginn bzw. am Ende der Hauptphase werden im technologischen Prinzipschema im Allgemeinen nicht explizit aufgeführt.

Als Beispiel für ein Prinzipschema geben wir die Zementherstellung in Abb.13.2 an.

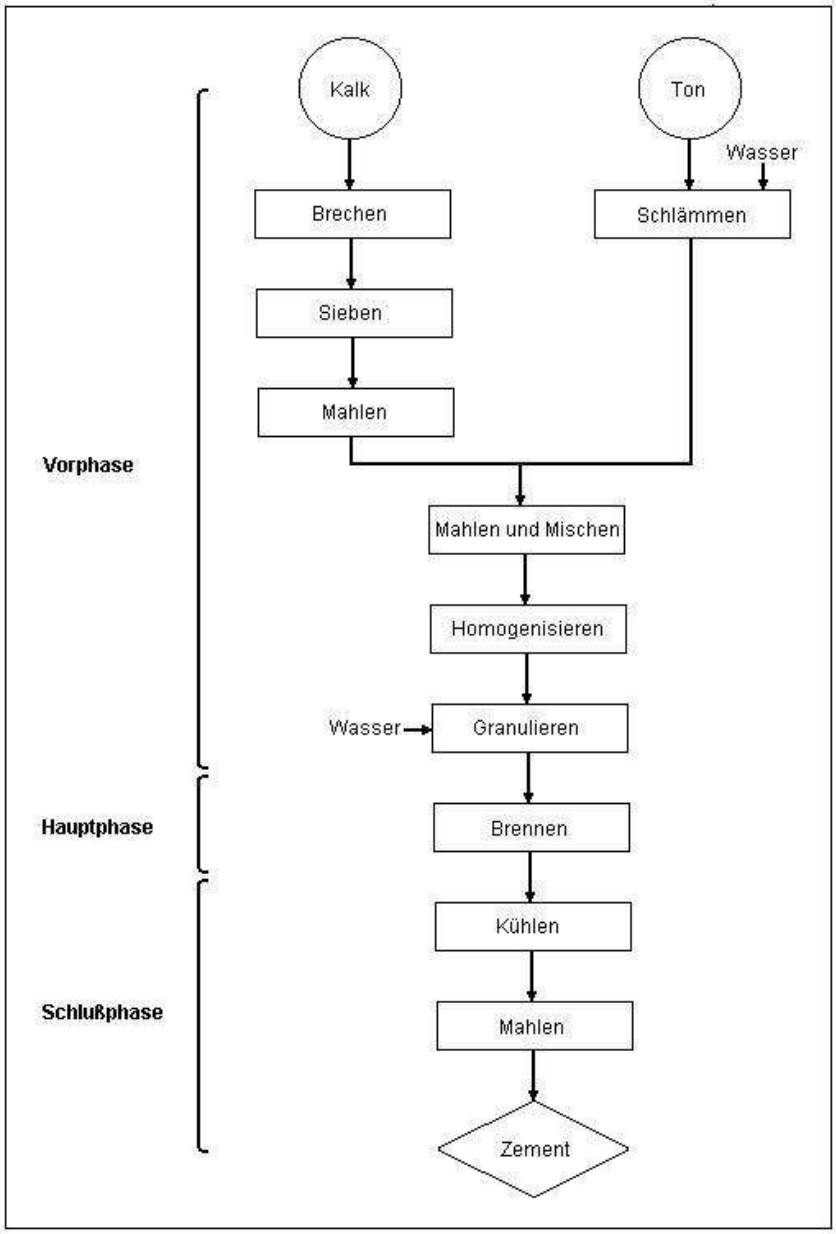


Abb. 13.2. Technologisches System der Zementproduktion

In den folgenden Phasendarstellungen von Produktionsprozessen werden wir ausschließlich Strukturschemata verwenden.

13.6. Beispiele für die technologische Struktur von Produktionsprozessen

Die allgemeinen Aussagen zur Phasenstruktur von Produktionsprozessen sollen nun in zweierlei Richtung konkretisiert werden. Zunächst werden die Besonderheiten der technologischen Prozessstruktur der wichtigsten Volkswirtschaftszweige kurz behandelt und in Strukturschemata dargestellt. An jeweils einem typischen Beispiel wird dann das technologische System eines konkreten Produktionsprozesses in seinen Elementen und seiner Phasenstruktur verdeutlicht.

13.6.1.Mechanische Produktion

Gemeinsames Charakteristikum aller Produktionszweige und -prozesse der mechanischen Produktion ist, dass in der Hauptphase Stoffformungsverfahren bestimmend sind. In sich weisen die Produktionsprozesse jedoch vielfältige Unterschiede auf, was nicht nur auf die Vielfalt der verwendeten Ausgangsmaterialien (Metalle, Holz, Plaste, Textilfasern, Leder) sondern auch auf die unterschiedliche Komplexität ihrer Produkte zurückzuführen ist (von der einfachen Schreibfeder bis zum komplexen technischen System eines Passagierschiffs).

Wenn wir deshalb im Folgenden einige Varianten von Strukturtypen technologischer Systeme aus dem Bereich der mechanischen Produktion vorstellen, so gelten diese gleichermaßen für die metall-, holz-, textil- und plastverarbeitenden Industrien.

Ein erster Typ technologischer Strukturen stoffformender Produktionsprozesse finden wir bei der *Herstellung von Halbzeugen.* Wir wenden den Begriff Halbzeug hier im weiten Sinne an, d.h. neben metallischen Halbzeugen (Rohre, Bleche, Bänder, Drähte, profiliertes Stabmaterial) beziehen wir auch Halbzeuge aus Plasten (Stabmaterial, Platten, Rohre), Holz (Bretter, Kantholz, Leisten) und textilem Material (Garne, Stoffe) mit ein. In diesen Produktionsprozessen werden Werkstoffe, wie Metalle, Holz, Plaste, die als Produkte der Metallurgie, der Forstwirtschaft bzw. der chemischen Industrie vorliegen, so verändert, dass sie fertigungstechnologisch weiterbearbeitet werden können.

Die Hauptphase zur Herstellung metallischer Halbzeuge ist durch Ur- und Umformverfahren (Gießen, Walzen), von Plasthalbzeugen durch Ur- und Umformverfahren (Pressen, Extrudieren, Kalandrieren), von Glashalbzeugen ebenfalls durch Ur- und Umformverfahren (Gießen, Walzen, Ziehen), von Halbzeugen aus Holz durch Trennverfahren und Urformverfahren (Sägen, Fräsen, Schichtpressen) gekennzeichnet. Typisch ist weiterhin, dass in der Hauptphase meist nur *ein* technologisches Grundverfahren auftritt (Abb.13.3. und 13.4.).

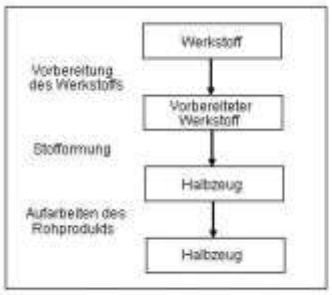


Abb.13.3. Phasenstruktur der Halbzeugherstellung

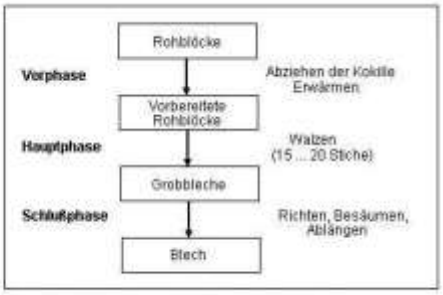


Abb.13.4. Phasenstruktur des Blechwalzens

Ein zweiter Typ technologischer Systeme der mechanischen Produktion liegt bei der *Herstellung einfacher Fertigprodukte* vor. Ausgangsmaterial ist das Halbzeug oder bei Gießverfahren der Gusswerkstoff. In der Hauptphase finden wir vor allem Umform- und Trennverfahren, durch die aus dem Rohling das gewünschte Einzelteil herausgearbeitet wird. In der Schlussphase herrschen Verfahren der Oberflächenveredlung und der Feinbearbeitung vor (Abb.10.5. und 10.6.).

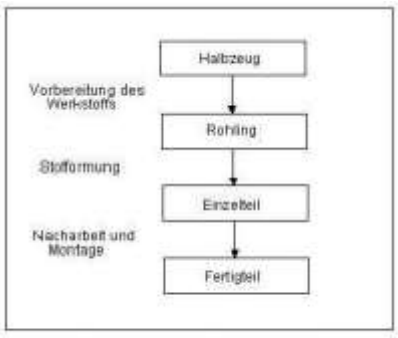


Abb.13.5. Phasenstruktur der Herstellung einfacher Fertigprodukte

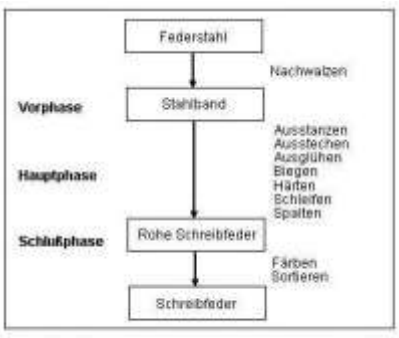


Abb.13.6. Phasenstruktur der Schreibfedernherstellung

Ein dritter technologischer Strukturtyp der mechanischen Produktion ist die *Herstellung von Produkten, die aus vielen Einzelteilen bestehen.* Im Unterschied zu den vorher besprochenen Typen werden die Einzelteile des Produkts parallel nebeneinander produziert und in der Schlussphase durch Montageverfahren zum Fertigerzeugnis verbunden (Abb.13.7.).

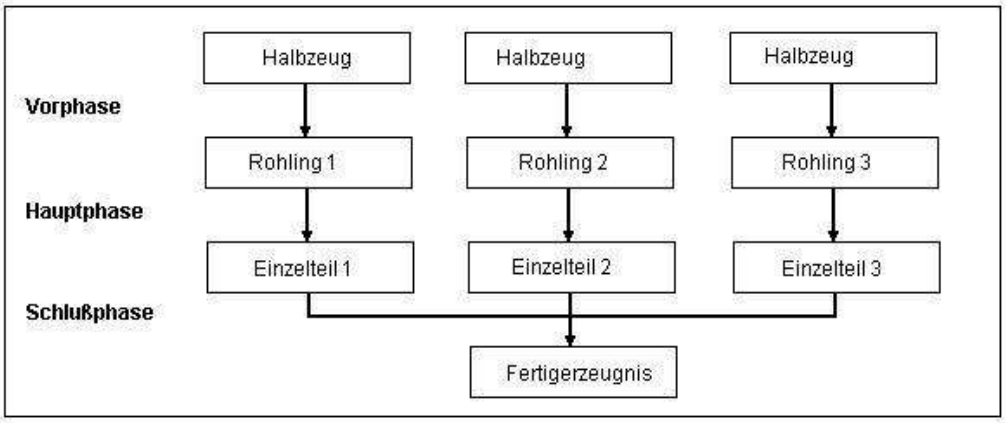


Abb.13.7. Phasenstruktur der Herstellung eines komplexen Fertigerzeugnisses

13.6.2. Chemische Produktion

Chemische Produktionsprozesse zeichnen sich dadurch aus, dass ihre Hauptphase durch Stoffwandlungsprozesse beherrscht wird.

Die Bearbeitungsvorgänge der vorbereitenden Phase sollen die Ausgangsstoffe in einen für den Stoffwandlungsprozess optimalen Zustand überführen. Solche Bedingungen sind im Wesentlichen:

- ausreichender Reinheitsgrad der Rohstoffe (erreichbar durch chemisches Stofftrennen, Sieben, Filtrieren, Magnetscheiden, Flotieren u. a.),
- optimale Größe der Stoffteilchen (durch Brechen, Mahlen, Lösen, Agglomerieren),
- innige Vermischung der Reaktionspartner (Rühren, Suspendieren, Lösen, Mischen).

In der Schlussphase soll das Reaktionsprodukt in ein marktfähiges Chemieprodukt überführt werden. Reinigungsverfahren und ähnliche Bearbeitungsvorgänge stehen im Vordergrund.

Während in der Hauptphase ausschließlich Stoffwandlungsprozesse angewandt werden, finden wir in der Vor- und Schlussphase vor allem Stoffformungsverfahren. Sie werden in der chemischen Verfahrenstechnik unter dem Begriff der Grundoperationen zusammengefasst (Abb.13.8. und 13.9.).

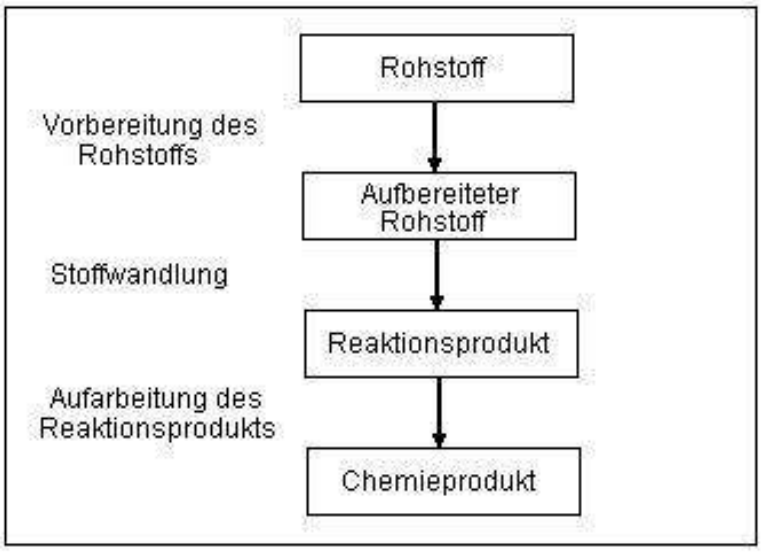


Abb.13.8. Phasenstruktur von Stoffwandlungsprozessen

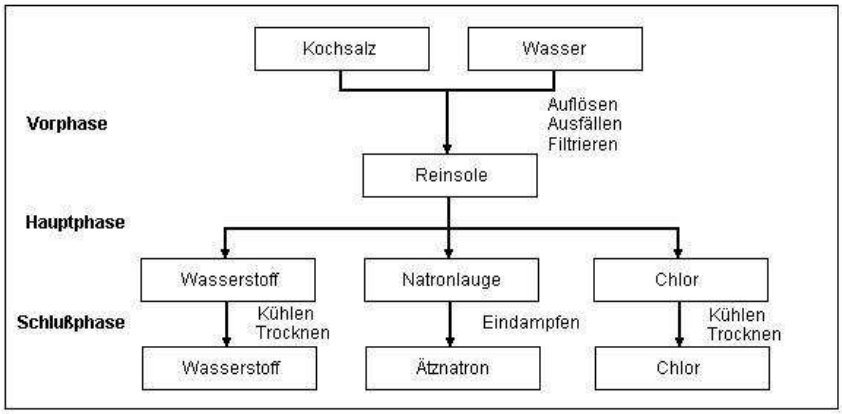


Abb.13.9. Phasenstruktur der Natriumchloridelektrolyse

13.6.3. Energiewirtschaft

In der Energiewirtschaft wird aus Primärenergieträgern Endenergie (Gebrauchsenergie) freigesetzt und für den gesellschaftlichen und individuellen Konsum bereitgestellt. Die Hauptphase wird durch Energiewandlungsprozesse bestimmt. Im Allgemeinen folgen dabei mehrere dieser Wandlungsprozesse aufeinander, ehe die gewünschte End-(Gebrauchs-)energieart vorliegt.

In der Vorphase werden die stofflichen Energieträger aufbereitet. In der Schlussphase spielen Verfahren der Energieumformung und des Transports eine wesentliche Rolle (Abb.13.10. und 13.11.).

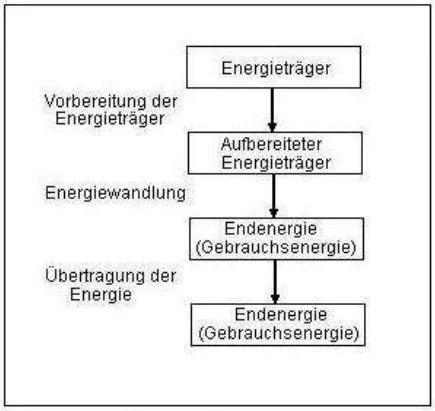


Abb.13.10. Phasenstruktur der Energiewirtschaft

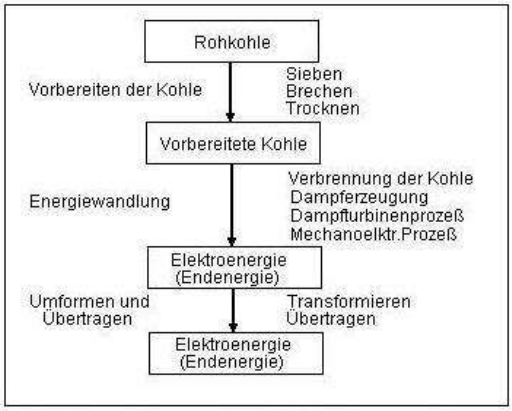


Abb.13.11. Phasenstruktur der Elektroenergieerzeugung im Wärmekraftwerk

13.6.4. Agrarproduktion

Auf Grund der in Kapitel 9 dargestellten Besonderheiten der Agrarproduktion verlaufen in den agrarischen Produktionsprozessen biologische Prozesse und technologische Vorgänge parallel. Während durch die biologischen Prozesse in den biologischen Produktionssystemen das Produkt gebildet wird, dienen die technologischen Vorgänge der Optimierung dieser Prozesse sowie der Produktgewinnung und -lagerung. Damit in direktem Zusammenhang steht, dass die in der landwirtschaftlichen Produktion genutzten Organismen (Pflanzen und Tiere) zugleich Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstand sind. Das bedingt einige Besonderheiten auch der Phasenstruktur der agrarischen Produktionsprozesse.

Zunächst sind pflanzliche und tierische Produktionsprozesse zu unterscheiden. In der *Pflanzenproduktion* tritt neben der Pflanze der Boden als Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstand in Erscheinung. Beide werden zunächst getrennt bearbeitet.

In der vorbereitenden Phase finden wir deshalb zwei parallel verlaufende technologische Verfahrensabläufe: die Vorbereitung des Bodens durch Pflügen, Eggen Walzen, Düngen u. a. und die Vorbereitung des Saat- und Pflanzgutes durch Sortieren, Beizen, Vorkeimen u. a.

Mit dem Einbringen des Saat- bzw. Pflanzgutes in den Boden beginnt die Hauptphase. Sie wird wesentlich durch die produktbildenden biologischen Prozesse in der Pflanze gekennzeichnet (Keimen, Bestocken, Schossen, Blühen, Fruchtbildung, Reifen). Die parallel dazu durchzuführenden technologischen Vorgänge

dienen der Sicherung optimaler Bedingungen für das Pflanzenwachstum (Unkraut- und Schädlingsbekämpfung, Kopfdüngung, Anhäufeln u. a.).

Zur Schlussphase gehören technologische Vorgänge des Erntens, Speicherns, Aufbereitens und Konservierens der pflanzlichen Produkte.

Die allgemeine Phasenstruktur pflanzlicher Produktionsprozesse ist in Abb.13.12. wiedergegeben. Als konkreten Produktionsprozess stellen wir in Abb.13.13. die Sommergersteproduktion vor.

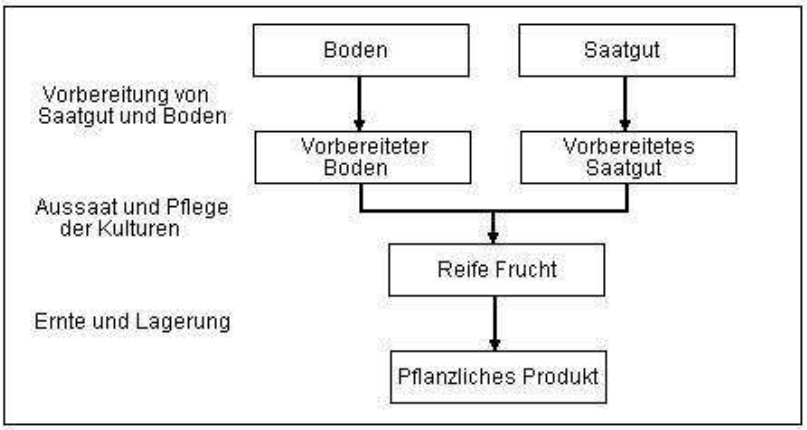


Abb.13.12. Phasenstruktur pflanzlicher Produktionsprozesse

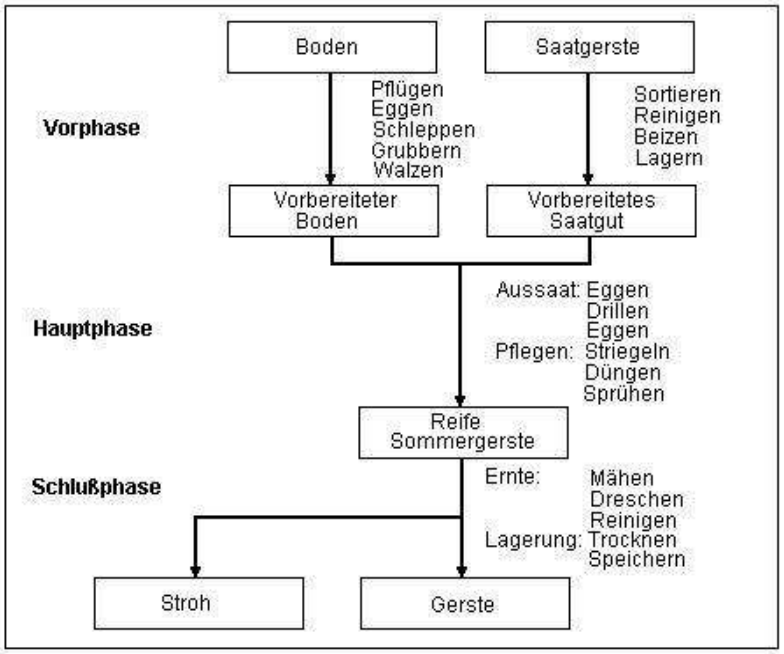


Abb.13.13. Phasenstruktur der Sommergersteproduktion

In der *Tierproduktion* müssen wir drei Varianten der technologischen Struktur unterscheiden:

- Prozesse zur Produktion von Nahrungsgütern und Industrierohstoffen, bei denen das produzierende Tier als Produktionsmittel erhalten bleibt (Stoffumsatzprozesse), z.B. bei der Produktion von Milch, Eiern, Wolle und Honig.
- Prozesse zu Produktion von Nahrungsgütern und Industrierohstoffen, bei denen das produzierende Tier in das Produkt eingeht (Stoffansatzprozesse), z.B. Schlachtviehproduktion, Produktion von Fellen.
- Prozesse zur Reproduktion von Tieren zum Wiedereinsatz als Produktionsmittel (Produktion und Aufzucht von Jungtieren und Zuchttieren).

Beim ersten Typ wandelt das als Produktionsmittel fungierende Tier im Prinzip das Futter in das gewünschte Produkt um. In der ersten und letzten Phase sind die technologischen Vorgänge unmittelbar auf den Arbeitsgegenstand gerichtet. In der Hauptphase laufen die biologischen Stoffbildungsprozesse entsprechend dem genetischen Code innerhalb des Tieres als Naturprozesse ab. Die technologischen Vorgänge dieser Phase

(z.B. Füttern, Stallreinigen, Klimatisieren, Impfen) richten sich nicht unmittelbar auf den eigentlichen Arbeitsgegenstand, sondern auf das Arbeitsmittel. Indem für das Tier (als Arbeitsmittel) optimale Lebens- und Entwicklungsbedingungen geschaffen werden, wird indirekt die Produktbildung gefördert.

Die Produktion von Frischeiern ist ein Beispiel für diesen Strukturtyp technologischer Systeme der Tierproduktion (Abb.13.14.).

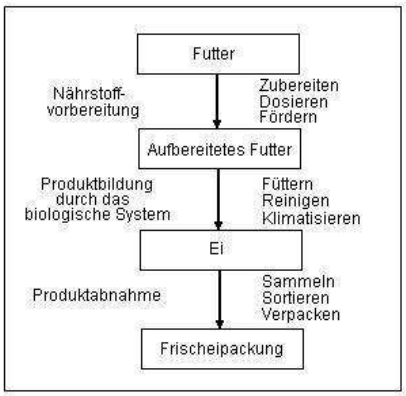


Abb.13.14. Phasenstruktur der Eierproduktion

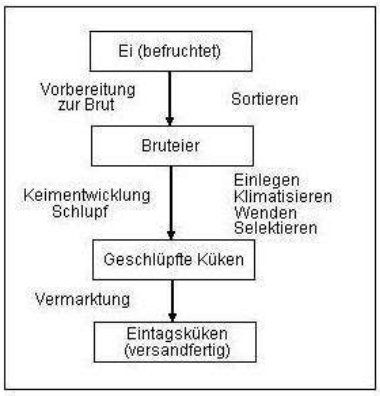


Abb.13.16. Phasenstruktur der Kükenproduktion

Bei einem zweiten Strukturtyp (Schlachtviehproduktion) werden die Produkte ebenfalls im Tier gebildet, aber das Tier wird hier selbst zum Produkt. Es wird am Ende des Produktionszyklus geschlachtet. Die sich daraus ergebende Prozessstruktur zeigt Abb.13.15.

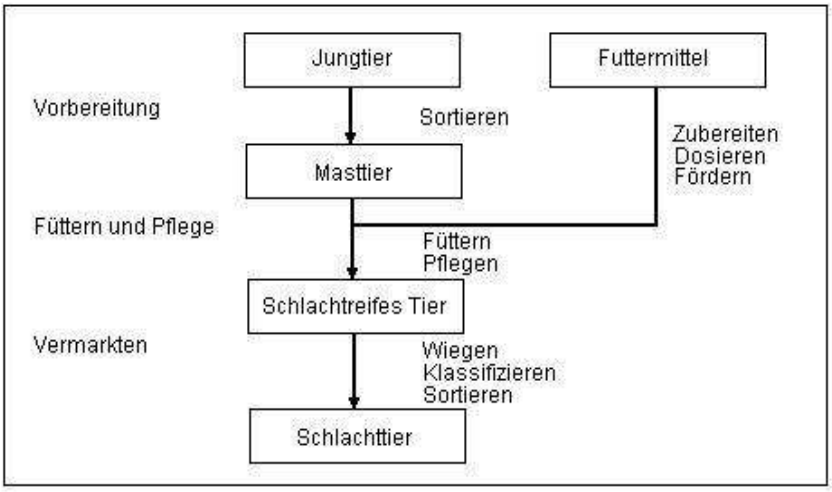


Abb13.15. Phasenstruktur der Schlachtfleischproduktion

Der dritte Strukturtyp umfasst die Produktion von Jungtieren (Kälbern, Ferkeln, Küken usw.), die dann in einem folgenden Produktionsprozess entsprechend dem ersten oder zweiten Typ technologischer Systeme als Arbeitsmittel verwendet werden. Als Beispiel führen wir in Abb.13.16 die Kükenproduktion an.

13.6.5. Informationsverarbeitung

Bei der Informationsverarbeitung geht es darum, die Ausgangsinformationen in bestimmter Weise zu verarbeiten, um qualitativ neue Informationen (Resultatinformationen) zu gewinnen. Die Hauptphase ist deshalb durch Prozesse der Informationswandlung geprägt. Die vorbereitende Phase hat die Aufgabe, die Ausgangsinformation in eine für die Datenverarbeitungssysteme verständliche Sprache und Form zu überführen. Die dabei ablaufenden technologischen Vorgänge gehören im Wesentlichen zur Klasse der Informationsumformungsverfahren. In der Schlussphase muss die maschinenverarbeitbare Sprache wieder decodiert, d.h. in eine für den Menschen verständliche Sprache umgesetzt werden. In alle drei Phasen spielen Transport- und Speichervorgänge eine bedeutende Rolle.

Die allgemeine Phasenstruktur informationsverarbeitender Prozesse wird in Abb.13.17. dargestellt.

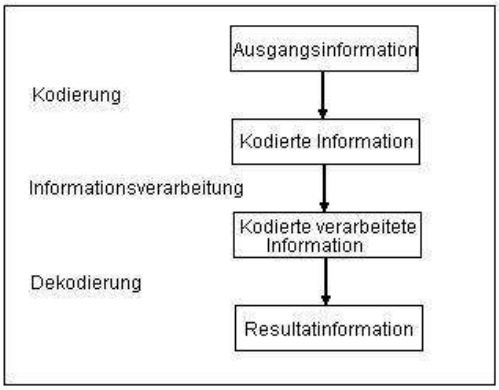


Abb.13.17. Phasenstruktur von Informationsverarbeitungsprozessen

13.6.6. Transportwesen

Im Transportwesen geht es darum, den Arbeitsgegenstand (das Transportgut) vom Ausgangsort zum Bestimmungsort zu befördern. Die Hauptphase wird deshalb durch Transportoperationen charakterisiert. Je nach der Art des Transportgutes sind die Vor- und die Schlussphase durch spezifische technologische Vorgänge gekennzeichnet.

Beim *Stofftransport* sind dafür Belade- und Entladevorgänge (Umschlag- und Lagerungsverfahren) typisch. Die allgemeine Phasenstruktur des Stofftransports ist in Abb.13.18. dargestellt.

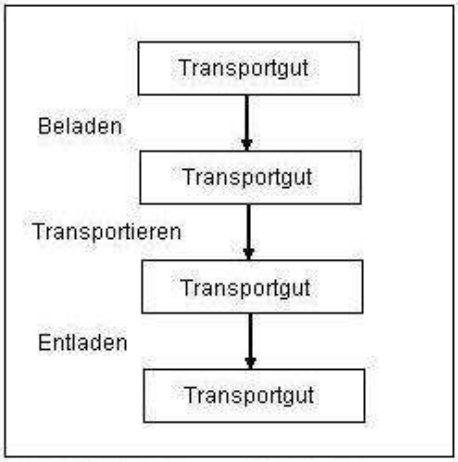


Abb.13.18. Phasenstruktur des Stofftransports

Beim *Energietransport* sind zwei Fälle zu unterscheiden. Wird stofflich gebundene Energie in Form von Energieträgern (Kohle, Erdöl, Ferngas, Warmwasser, Dampf) transportiert, so ist dieser Energietransport mit dem Stofftransport im Prinzip identisch. Eine andere Situation liegt beim Transport von Elektroenergie und Strahlungsenergie vor. Neben den Eingabeoperationen in den Transportkanal (analog dem Beladen) finden wir hier technologische Vorgänge, die Bedingungen für einen optimalen, insbesondere verlustarmen, Transport in der Hauptphase schaffen (Spannungstransformieren). In der Schlussphase treten ebenfalls Energieumformungsvorgänge auf. Die technologische Struktur des Elektroenergietransports wird in Abb.13.19. wiedergegeben.

Der *Informationstransport* erfolgt entweder analog dem Stofftransport, wenn die Information in Speicherform an stoffliche Träger gebunden ist (Zeitungen, Briefe), oder analog dem Energietransport, wenn elektrischer Strom oder Strahlungsenergie der Informationsträger ist (Telefonverkehr, Telefax, Rundfunkübertragung). Hierbei müssen die zu übertragenden Informationen dem Träger aufgeprägt werden (z.B. durch Modulation) und am Bestimmungsort wieder in die natürliche Sprache rückübertragen werden (Demodulation). Diese Vorgänge sind charakteristisch für die Vor- und Schlussphase. Innerhalb der Hauptphase muss bei

Übertragung über größere Entfernungen ein Signalverlust durch Signalverstärkung ausgeglichen werden. Die Phasenstruktur solcher Informationstransportprozesse zeigt Abb. 13.20.

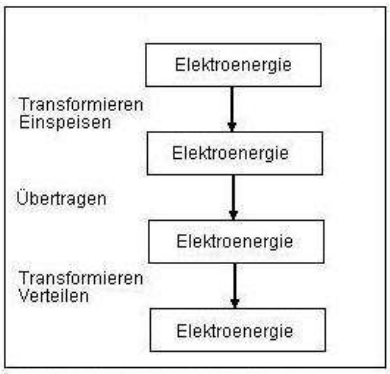


Abb.13.19. Phasenstruktur des Energietransports

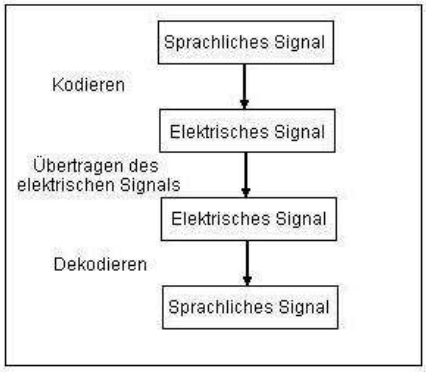


Abb.13.20. Phasenstruktur des Informations-transports (Telefonverkehr)

13.6.7. Bergbau

Technologisch gesehen hat der Bergbau die Funktion, Naturstoffe in Rohstoffe zu verwandeln. Dazu löst er die in der Natur vorkommenden Bodenschätze aus ihrem Naturverband und bereitet sie so weit auf, dass sie als Ausgangsstoffe für andere Produktionszweige (vor allem für die chemische Industrie, die Baustoffindustrie, die Metallurgie und die Energiewirtschaft) dienen können. Auch für die Bergbauprozesse gilt die Drei-Phasen-Struktur, wenn auch mit Besonderheiten.

In der ersten Phase werden die Bodenschätze aus dem Naturverband herausgebrochen. Das geschieht durch Bohr- und Schießarbeit, sowie durch Schrämen und Baggern. Die zweite Phase umfasst die Förderung der abgelösten Rohstoffe vom Ort ihres Vorkommens zu den Aufbereitungsanlagen. In der dritten Phase wird das Rohmaterial aufbereitet. Typische Bearbeitungsverfahren sind das Zerkleinern und das Anreichern. Daraus ergibt sich das Strukturschema in Abb.10.21.

Gegenüber anderen Produktionszweigen besitzt der Bergbau in seiner technologischen Struktur die Besonderheit, dass bei ihm die erste Phase als Hauptphase anzusehen ist, denn zweifelsohne finden in ihr die für den Bergbau typischen und charakteristischen Bearbeitungsvorgänge statt.

Als konkretes Beispiel für die technologische Struktur von Bergbauprozessen geben wir das Prinzipschema für die Kalisalzgewinnung wieder (Abb.10.22.).

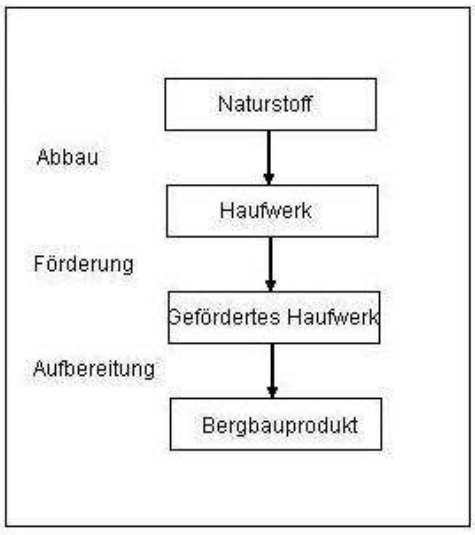


Abb.13.21. Phasenstruktur von Bergbauprozessen

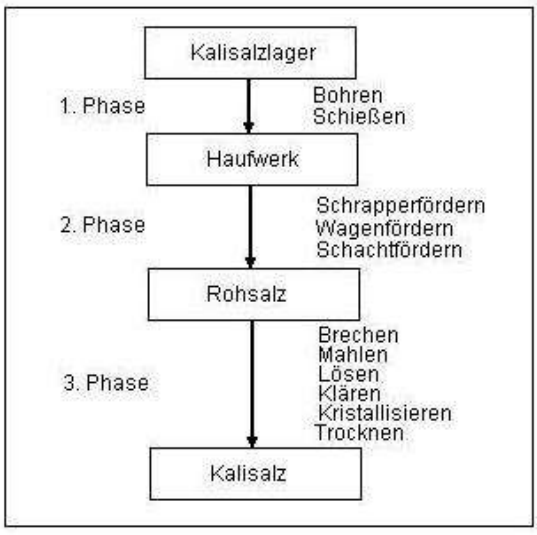


Abb.13.22. Phasenstruktur der Kalisalzgewinnung

13.7. Kombinierte Produktionsprozesse

Wenn wir festgestellt haben, dass die Drei-Phasen-Struktur ein allgemeingültiges Prinzip ist, das in allen Produktionsprozessen nachweisbar ist, so müssen wir ergänzen, dass es nur für *einfache* Produktionsprozesse gilt, einfach in dem Sinne, dass aus einem Ausgangsstoff ein erstes marktfähiges Produkt erzeugt wird.

Neben diesen einfachen Produktionsprozessen gibt es auch eine Vielzahl von kombinierten Produktionsprozessen. Sie bestehen aus zwei oder mehreren gekoppelten, im Grunde selbständigen Prozessen. Bei solchen sind dann mehr als drei Phasen nachweisbar. Ein solcher kombinierter Produktionsprozess ist die Aluminiumgewinnung aus Bauxit (Abb.13.23.).

Sehen wir uns das Strukturschema dieses Prozesses an, so erscheinen fünf Phasen. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass der Gesamtprozess aus zwei einfachen Prozessen zusammengesetzt ist, aus der Tonerde-Produktion und der Aluminiumgewinnung.

Wenn das Produkt des ersten Verfahrens den Anforderungen für die Bearbeitung in der Hauptphase des zweiten entspricht, entfällt - wie in dem hier angeführten Beispiel - die Vorphase des zweiten Verfahrens. In manchen Fällen ist die Schlussphase des ersten mit der Vorphase des zweiten Verfahrens identisch.

Die *Verringerung der Zahl der Bearbeitungsvorgänge* führt zur Einsparung lebendiger Arbeit, vermindert den Aufwand an Material und Energie sowie an Maschinen und führt zur Verkürzung des Produktionszyklus. Der Weg zur Realisierung dieses Trends kann erreicht werden:

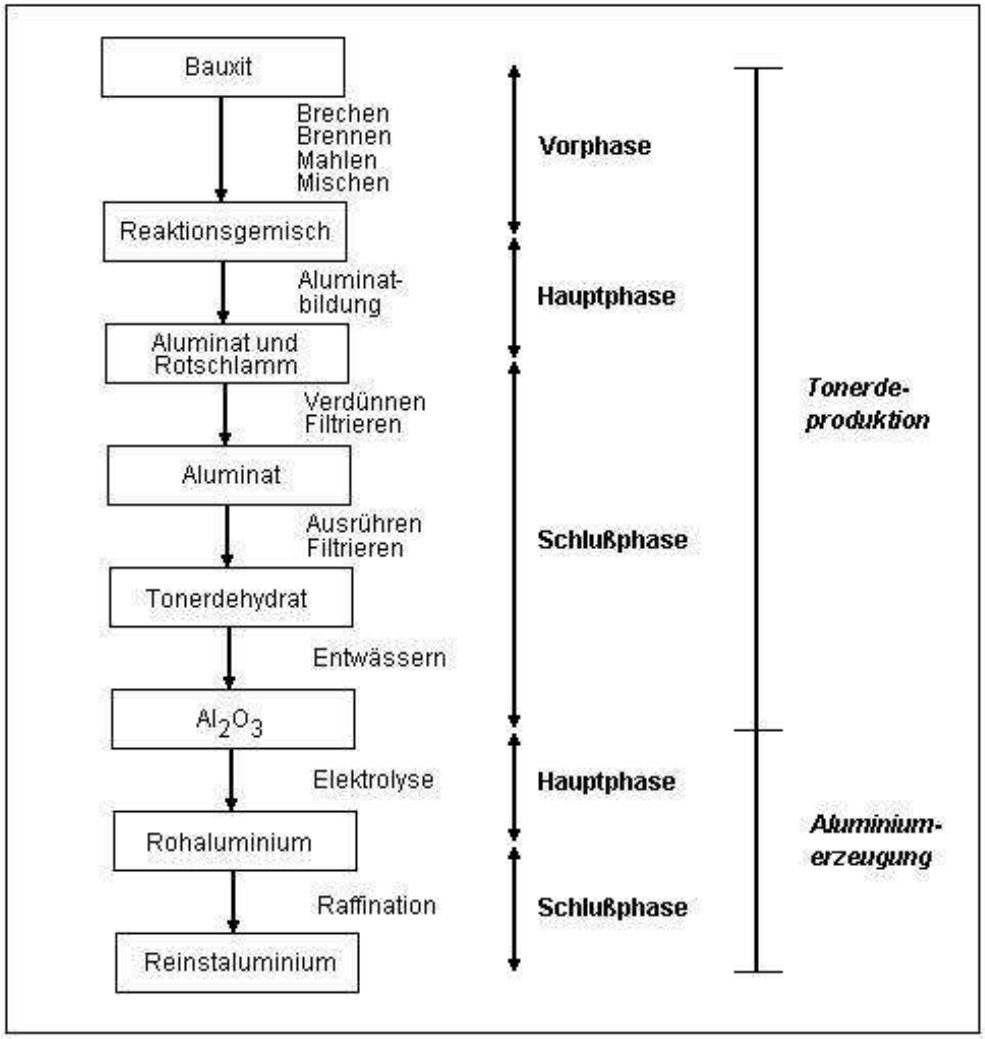


Abb.13.23. Phasenstruktur kombinierter Produktionsprozesse
(am Beispiel der Aluminiumherstellung aus Bauxit)

- über die Roh- und Werkstoffsubstitution (Abb.13.24.),
- durch die Anwendung neuartiger technologischer Grundvorgänge bzw. neuer Wirkprinzipien, durch die mehrere traditionelle Bearbeitungsschritte in einem vereinigt werden (z.B. durch Genauigkeitspressen und Flüssigpressen, wobei aufwendige Nacharbeiten entfallen) (Abb.13.25.),
- durch den Einsatz neuer technischer Systeme, die die gewünschte Präzision des herzustellenden Produkts in einem Arbeitsgang ermöglichen.

13.8. Strukturelle Entwicklungstendenzen der Produktionsprozesse

Die Technologie hat in der gegenwärtigen Phase die Aufgabe, den technologischen Prozess als Ganzes mit wissenschaftlichen Mitteln zu gestalten. Das bedeutet unter anderem, die weithin noch auf der Basis der empirischen technologischen Erfahrung gewachsenen und betriebenen Produktionsprozesse mit Hilfe erkannter technologischer Gesetzmäßigkeiten zu optimieren. Diese Tendenz in der Technologie hat auch Konsequenzen für die strukturelle Entwicklung der technologischen Systeme innerhalb der Produktionsprozesse.

Im Prinzip sind folgende Entwicklungstendenzen zu erkennen:

- der Trend zur Vereinigung zweier oder mehrerer Bearbeitungsvorgänge zu einem innerhalb der einzelnen Phasen.
- der Trend, die Vor- oder die Schlussphase möglichst vollständig einzusparen und im Idealfall zum "Ein-Verfahrensschritt-Prozess" zu kommen.
- der Trend zur Verselbständigung einzelner Phasen (vor allem der Vor- und Schlussphase) zur Ausnutzung der produktivitätssteigernden Spezialisierung der Produktionsprozesse.

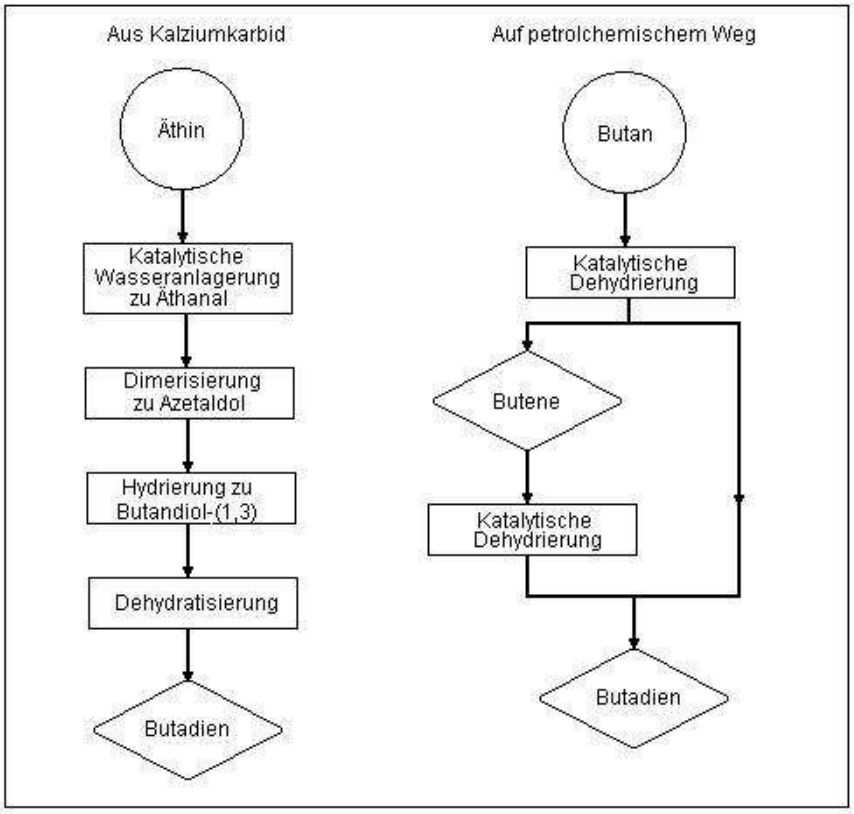


Abb.13.24. Butadienherstellung

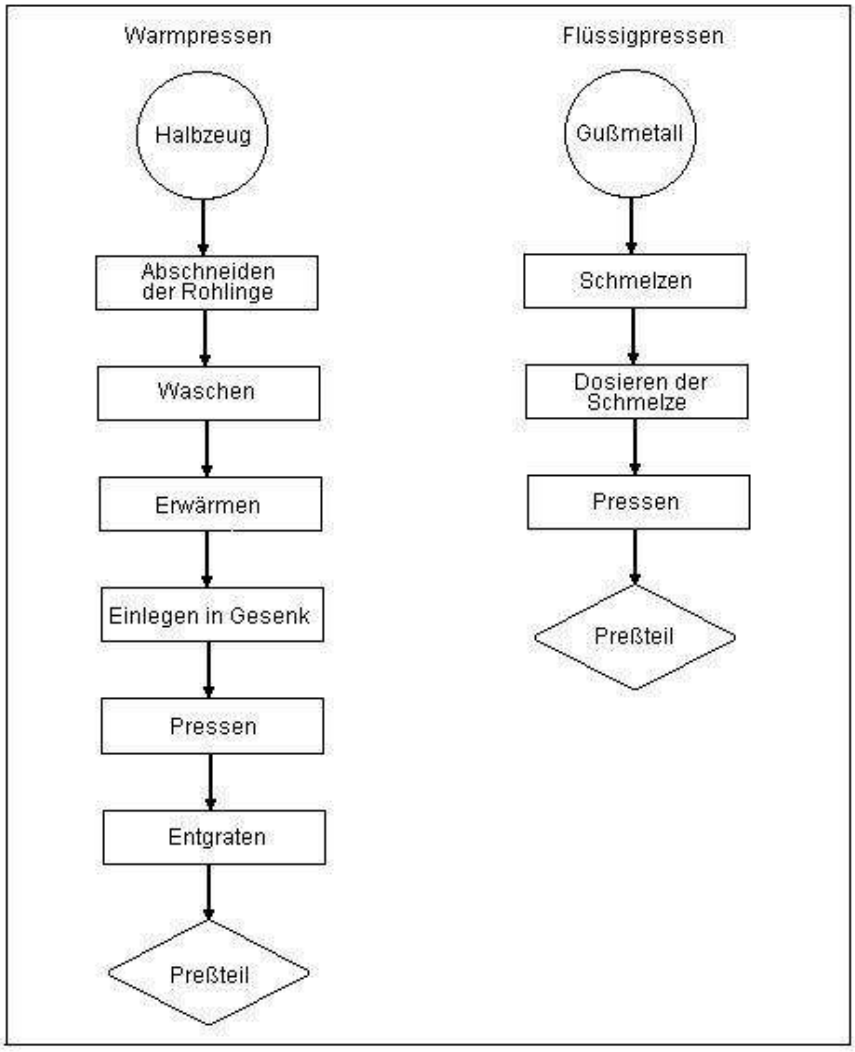


Abb.13.25. Gegenüberstellung der Bearbeitungsschritte beim Warm- bzw. Fflüssigpressen von Einzelteilen

In Abbildung 13.26. werden eine Reihe von Möglichkeiten zur Einsparung von Verfahrensschritten und Prozessstufen durch die Anwendung unterschiedlicher Wirkprinzipien und Grundverfahren im Bereich der Herstellung und Verarbeitung synthetischer Faserstoffe gegenübergestellt.

Die *Einsparung ganzer Phasen* ist in jedem Fall mit einer vollständigen Revolutionierung des gesamten technologischen Systems verbunden. Die Bemühungen zur direkten Stahlgewinnung aus Erz im Elektrohochofen sind ein Beispiel dafür.

Der *Trend zur Verselbständigung einzelner Phasen* ermöglicht den Einsatz hochproduktiver spezialisierter Maschinen und Apparate, führt zu wesentlichen Einsparungen an Arbeitskräften und zur qualitativen Verbesserung der Produkte. Während beispielsweise in der traditionellen Tierproduktion die Futterzu- und -aufbereitung im allgemeinen im Mastbetrieb selbst erfolgte (technologisch als Teil der Vorphase), sind diese technologischen Aufgaben in der modernen Großproduktion auf selbständige Produktionsprozesse übergegangen (Mischfutterwerke). Ähnliche Beispiele finden wir auch in der mechanischen Produktion, wo im Gefolge der Spezialisierung Teilabschnitte der Fertigung zu selbständigen, hochspezialisierten Fertigungsprozessen wurden. So befassen sich ganze Betriebe ausschließlich mit der Oberflächenveredlung (Galvanisierungsbetriebe, Lackierereien usw.).

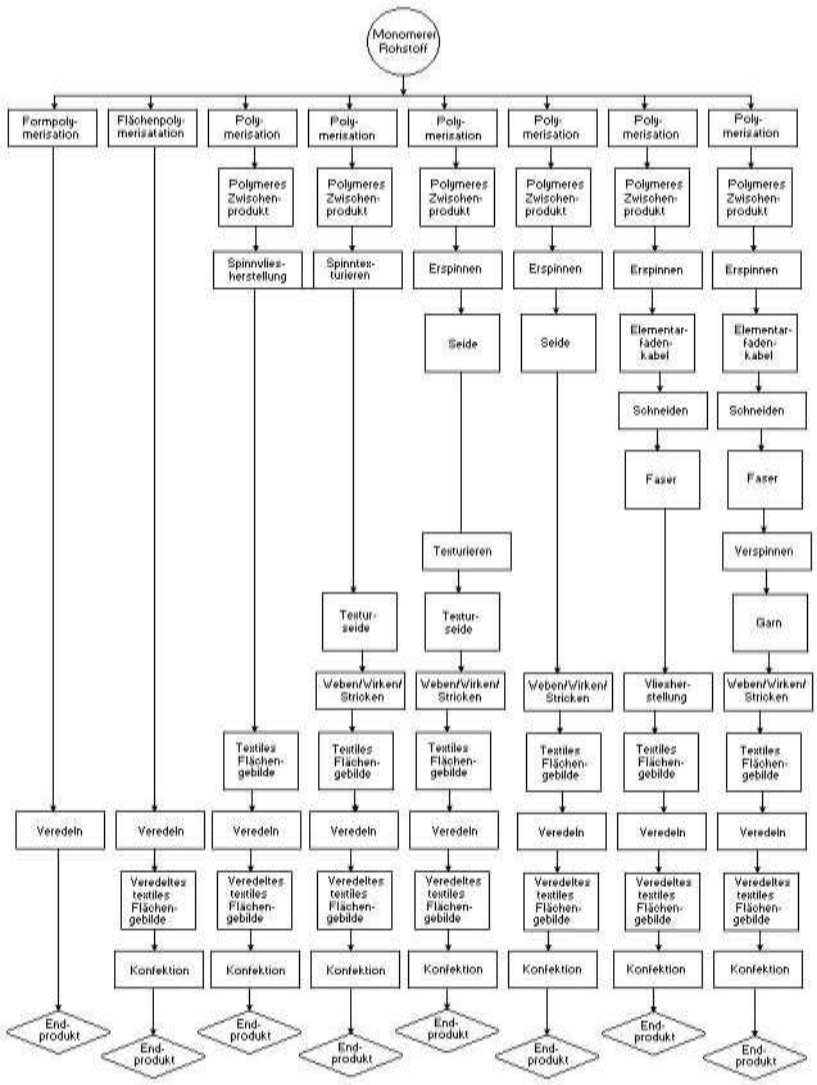


Abb. 13.26. Möglichkeiten der Einsparung von Verfahrensschritten und Prozeßstufen bei Verfahren zur Herstellung und Verarbeitung synthetischer Fasern

Literatur

13.1 H. Wolffgramm, Allgemeine Begriffe und Prinzipien der chemischen Produktion, Berlin 1961

13.2 H. Hörnecke, Untersuchungen zum System und zur Struktur der Pflanzenproduktion, Dissertation A, Martin-Luther-Universität Halle(Saale) 1968

13.3 M. Kleinau, Untersuchungen zum System und zur Struktur der Tierproduktion, Diss. A, Martin-Luther-Universität, Halle(Saale) 1968

13.4 D. Hammerschmidt, Zur Struktur technologischer Systeme in Produktionsprozessen des Maschinenbaus, Diss. A, Martin-Luther-Universität, Halle(Saale) 1982

14. Graphische Darstellung von Produktionsprozessen

14.1. Fließdarstellung von Produktionsprozessen

Technologische Verfahrensabläufe (technologische Systeme vollständiger Produktionsprozesse) lassen sich graphisch in Form von Fließbildern darstellen. Unter einem Fließbild versteht man eine aus Kurzzeichen (technischen Symbolen, Sinnbildern) bestehende bildliche Darstellung von Produktionsprozessen.

Mittels unterschiedlicher Darstellungsformen kann der technologische Prozess unter verschiedenen Aspekten graphisch wiedergegeben werden. In den einzelnen Fachdisziplinen der Technologie hat sich eine Vielzahl von Darstellungsformen herausgebildet, die den jeweiligen Bedürfnissen Rechnung tragen. Sie haben sich überall zu unentbehrlichen Informations- und Dokumentationsmitteln entwickelt. Das kommt u. a. darin zum Ausdruck, dass in vielen Bereichen Standards für die Anfertigung solcher Fließbilder aufgestellt wurden (vgl. Lit.14.6.).

Für die allgemeine Technologie sind vor allem solche Fließdarstellungen von Interesse, die die Folge von Bearbeitungsvorgängen auf dem Weg des Arbeitsgegenstandes vom Anfangszustand bis zum fertigen Produkt abbilden. Das kann durch schematische Fließbilder oder apparative Fließbilder geschehen. Oft kommt es aber auch darauf an, den Material- oder Energiefluss eines Produktionsprozesses anschaulich zu erfassen. Dann bedient man sich der Stoff- und Energieflussbilder.

14.2. Schematisches Fließbild und Prinzipschema

Das *schematische Fließbild* gibt unter weitgehendem Verzicht auf Einzelheiten die charakteristischen Züge des Verfahrensablaufes von Produktionsprozessen wieder. Im Mittelpunkt der Darstellung steht die Folge der Bearbeitungsvorgänge. Es dient sowohl der ersten Festlegung der technologischen Verfahrensfolge bei der Entwicklung neuer Produktionsprozesse, zu Absprachen zwischen Technologen, Konstrukteuren und Technikern, als bildliche Darstellung bei der Beschreibung neuer Verfahren in Patenten als auch in vielfältiger Weise zur Unterstützung der Beschreibung von Produktionsprozessen in Lehrbüchern. Eine besondere Bedeutung kommt ihm beim Vergleich konkurrierender Verfahren zu, weil es die einzelnen Verfahrensschritte, die zu bearbeitenden (umzusetzenden) Stoffe und weitere Prozessfaktoren leicht zu überschauen und gegeneinander abzuwägen gestattet.

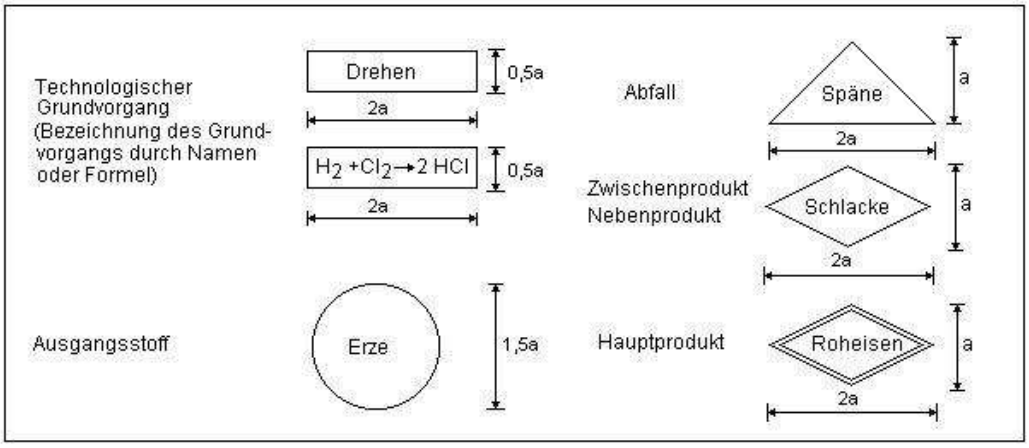


Abb. 14.1. Sinnbilder für das schematische Fließbild

Das schematische Fließbild enthält die Ausgangsstoffe, alle technologischen Bearbeitungsvorgänge, die auftretenden Zwischenprodukte, die entstehenden Haupt- und Nebenprodukte und die Abprodukte. Es zeigt darüber hinaus die Kreislaufführung von Stoffen. Die einzelnen Sinnbilder werden durch Linien verbunden, die die Stoffmenge (Hauptwege starke Linien, Nebenwege durch dünne oder gestrichelte Linien) veranschaulichen. Abb.14.1. gibt eine Übersicht über die Sinnbilder für die einzelnen Elemente des schematischen Fließbildes. In Abb. 14.2. und 14.3. werden Beispiele für die Prozessdarstellung ausgeführt.

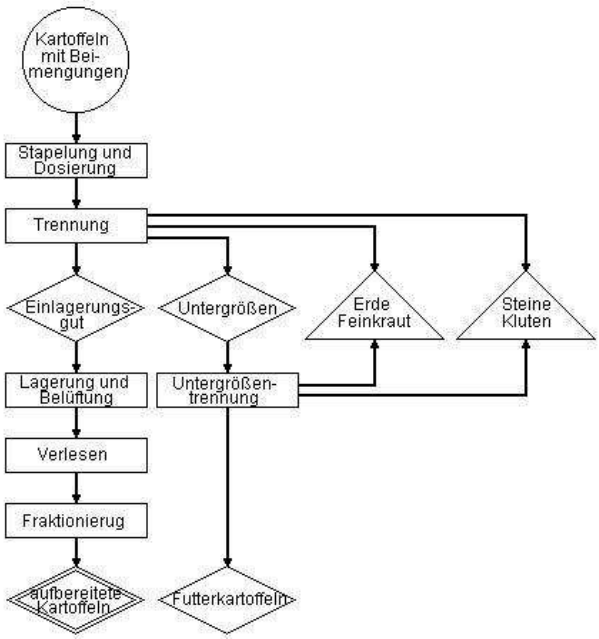


Abb.14.3. Schematisches Fließbild der Kartoffelaufbereitung

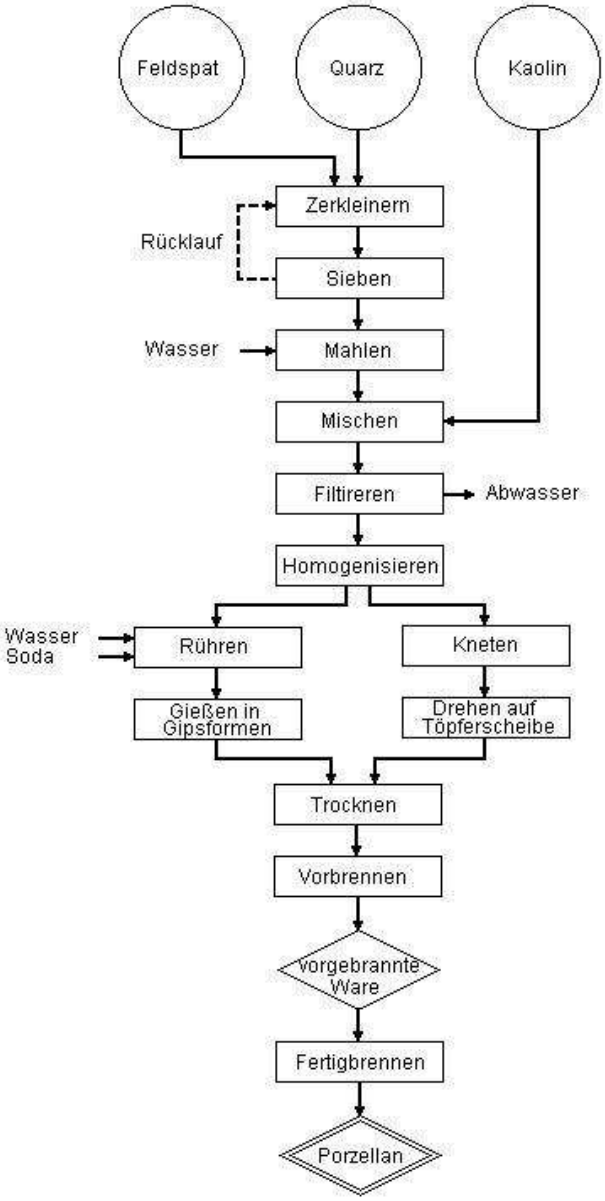


Abb. 14.2. Schematisches Fließbild der Porzellanherstellung

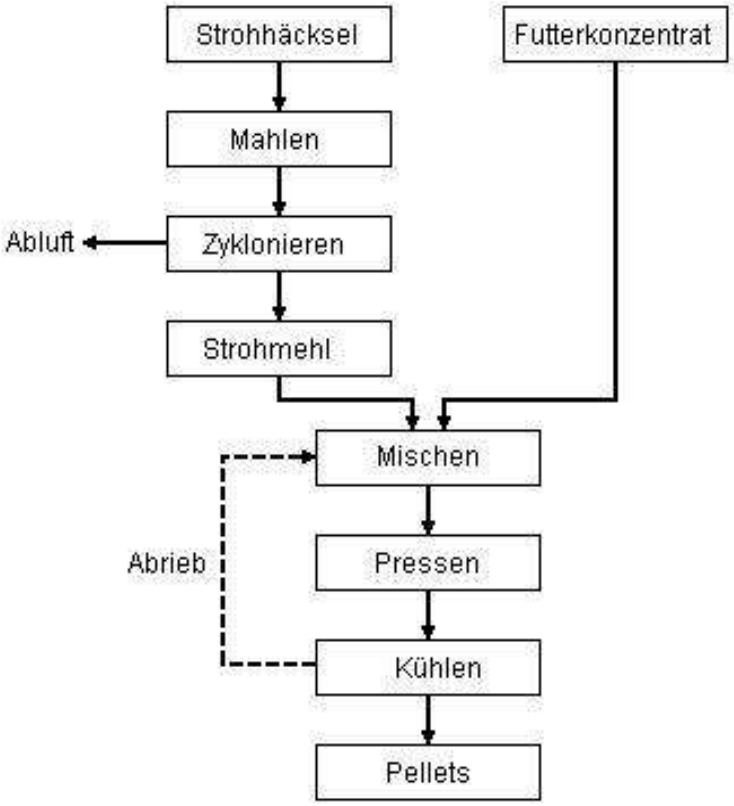


Abb.14.4. Prinzipschema der Mischfutterpellettierung

Das *Prinzipschema* ist ein weiter vereinfachtes schematisches Fließbild. Der Verfahrensablauf wird als Prozessfolgeschema in seinen Grundzügen wiedergegeben. Auf differenzierte Sinnbilder wird verzichtet. Bearbeitungsvorgänge, Arbeitsgegenstände, Zwischen- und Endprodukte werden als Rechtecke dargestellt. Maschinen- und Apparatebezeichnungen werden nur im Ausnahmefall in das Prinzipschema aufgenommen. Die Beschriftung soll nur waagerecht erfolgen. Die Verbindungswege (der Fluss der Arbeitsgegenstände) sollen immer nur senkrecht bzw. waagerecht, nie schräg gezogen werden. Die grundsätzliche Darstellungsweise eines Prinpipschemas ist aus Abb.14.4. ersichtlich.

Prinzipschemata finden vor allem in der technologischen Literatur breite Anwendung. Sie eignen sich für die übersichtliche Darstellung von Verfahrensabläufen, für die Veranschaulichung komplexer Rohstoffnutzung (Abb.14.5.) oder für den Vergleich unterschiedlicher Verfahrenswege zu einem Produkt (Abb.14.6.). Bewährt haben sich Prinzipschemata auch für die Phasenstrukturdarstellung von Produktionsprozessen (vgl. Kapitel 13.).

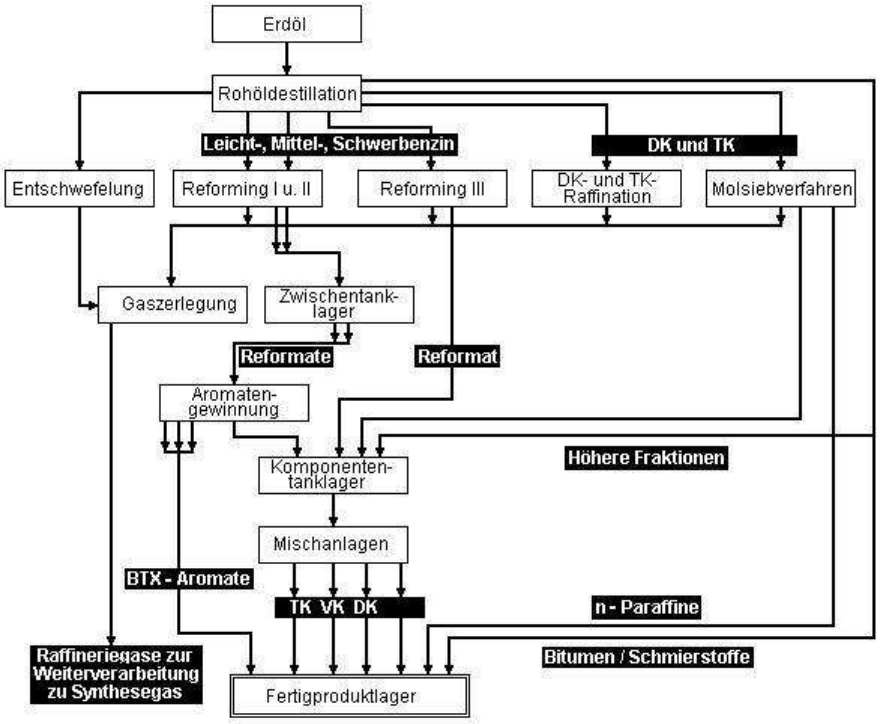


Abb. 14.5. Prinzipschema der Erdölverarbeitung in einer Raffinerie

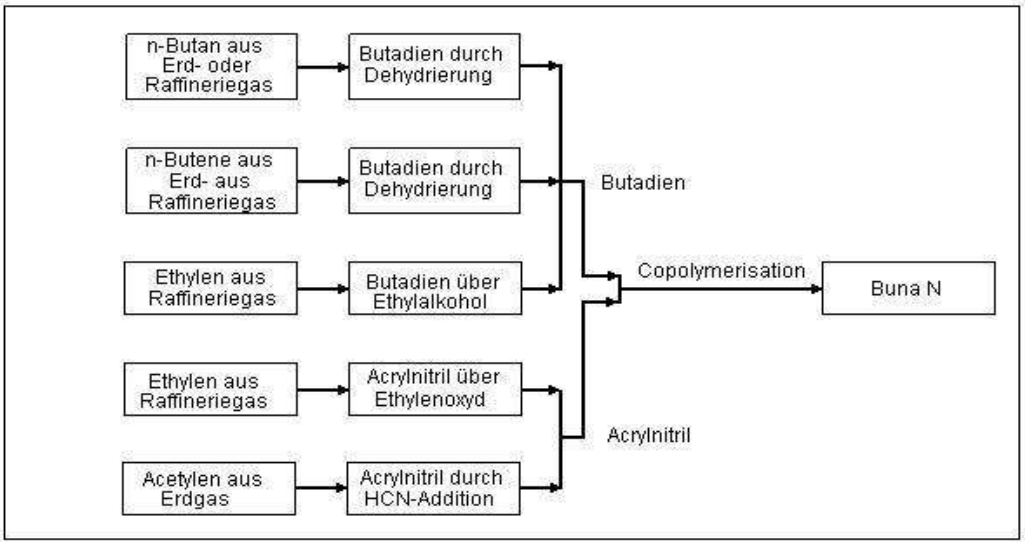


Abb.14.6. Prinzipschema verschiedener Verfahrenswege zum Buna N

14.3. Konstruktives Fließbild

Das konstruktive Fließbild gibt ein sehr anschauliches Bild des darzustellenden Verfahrens, indem es die Bearbeitungsvorgänge durch Sinnbilder für Maschinen und Apparate symbolisiert. Man nennt es deshalb auch apparatives Fließbild. Die Apparatesymbole müssen das darzustellende technische System klar und eindeutig, ohne große Erklärungen erkennen lassen. Größenrelationen und die genauere örtliche Anordnung werden im konstruktiven Fließbild weitgehend vernachlässigt. Für viele Bereiche der Technologie sind Standards oder Vorschläge für einheitliche Apparatesinnbilder entwickelt worden (Lit.14.6.).

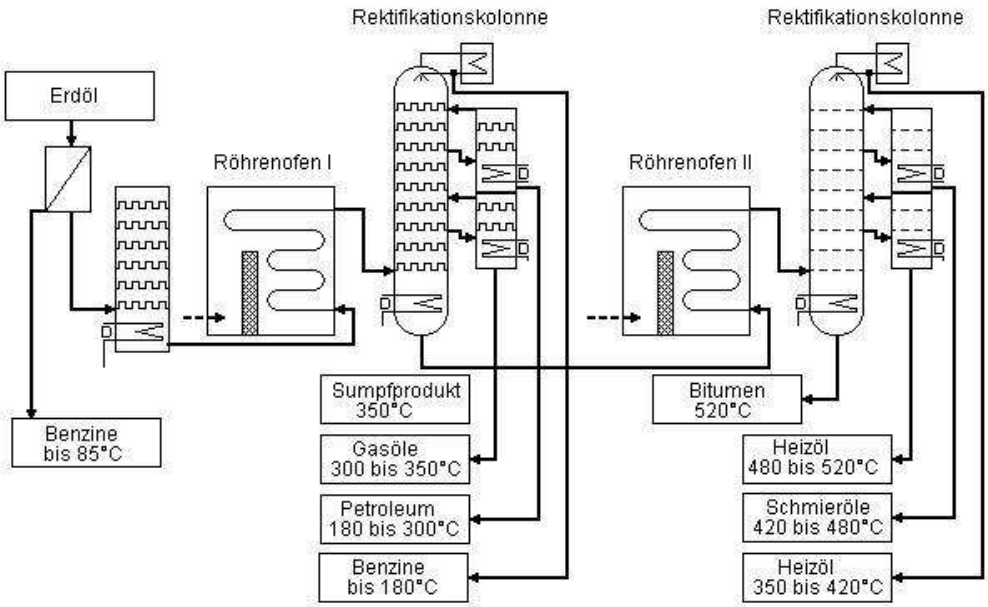


Abb. 14.7. Konstruktives Fließbild der Erdölrektifikation

Konstruktive Fließbilder werden in einer Vielzahl von Ausführungsformen verwendet. Sie können von links nach rechts oder von oben nach unten entwickelt werden (Abb.14.7.). Für die allgemeine Technologie hat sich die senkrechte Anordnung unter Berücksichtigung der Phasenstruktur des Prozesses besonders bewährt. Sie hebt die Hauptprozesse durch die Zusammenfassung von Bearbeitungsvorgängen unter einheitlich technologisch-funktionalem Aspekt heraus und ermöglicht die übersichtliche Darstellung der stofflichen Haupt- und Nebenflüsse sowie aller Ausgangsstoffe, Zwischen-, Haupt- und Nebenprodukte (Abb.14.8.).

14.4. Stoff- und Energieflussbilder

Soll bei einem technologischen Verfahrensablauf der qualitative und quantitative Stofffluss veranschaulicht werden, so bedient man sich des *Stoffflussbildesdes.* Es wird als SANKEY-Diagramm gestaltet und gibt den Stoffstrom und seine Aufspaltung in Teilströme wider. Mengenrelationen werden durch die Breite der Ströme, gegebenenfalls durch zusätzliche Mengenangaben, verdeutlicht. Die Bearbeitungsvorgänge bzw. die technischen Systeme können durch einfache horizontale Striche oder durch Rechtecke angegeben werden. Eine möglichst gerade Linienführung sichert eine hohe Übersichtlichkeit des Stoffflussbildes.

Stoffflussbilder eignen sich für Materialbilanzen (Abb.14.9.und 14.10.).

Energieflussbilder dienen der Aufstellung von Energiebilanzen als Ausgangspunkt für die Minimierung energetischer Aufwendungen.

In der Darstellungsweise besteht weitgehende Übereinstimmung mit den Stoffflussbildern. Die Energieflussbilder erfassen im Allgemeinen nicht alle Energieaufwendungen, sondern konzentrieren sich auf bestimmte Teilenergien, die für die energetische, ökonomische oder ökologische Analyse der Verfahren besonders interessant sind. Man unterscheidet zwischen Energie- und Wärmebilanzen und demgemäß auch zwischen Energie- und Wärmeflussbildern.

Energieflussbilder können für einzelne Verfahren, wie auch für komplexe betriebliche und volkswirtschaftliche Energiebilanzen eingesetzt werden (Abb.14.11. und 14.12).

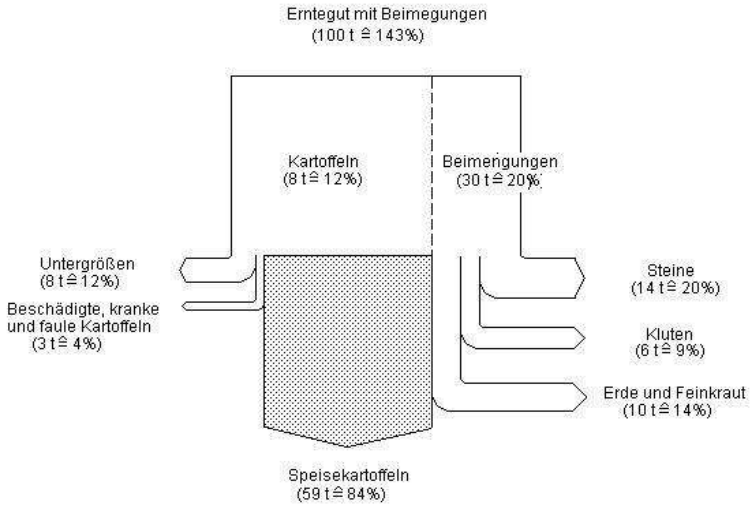


Abb. 14.9. Stoffflußbild der Kartoffelaufbereitung

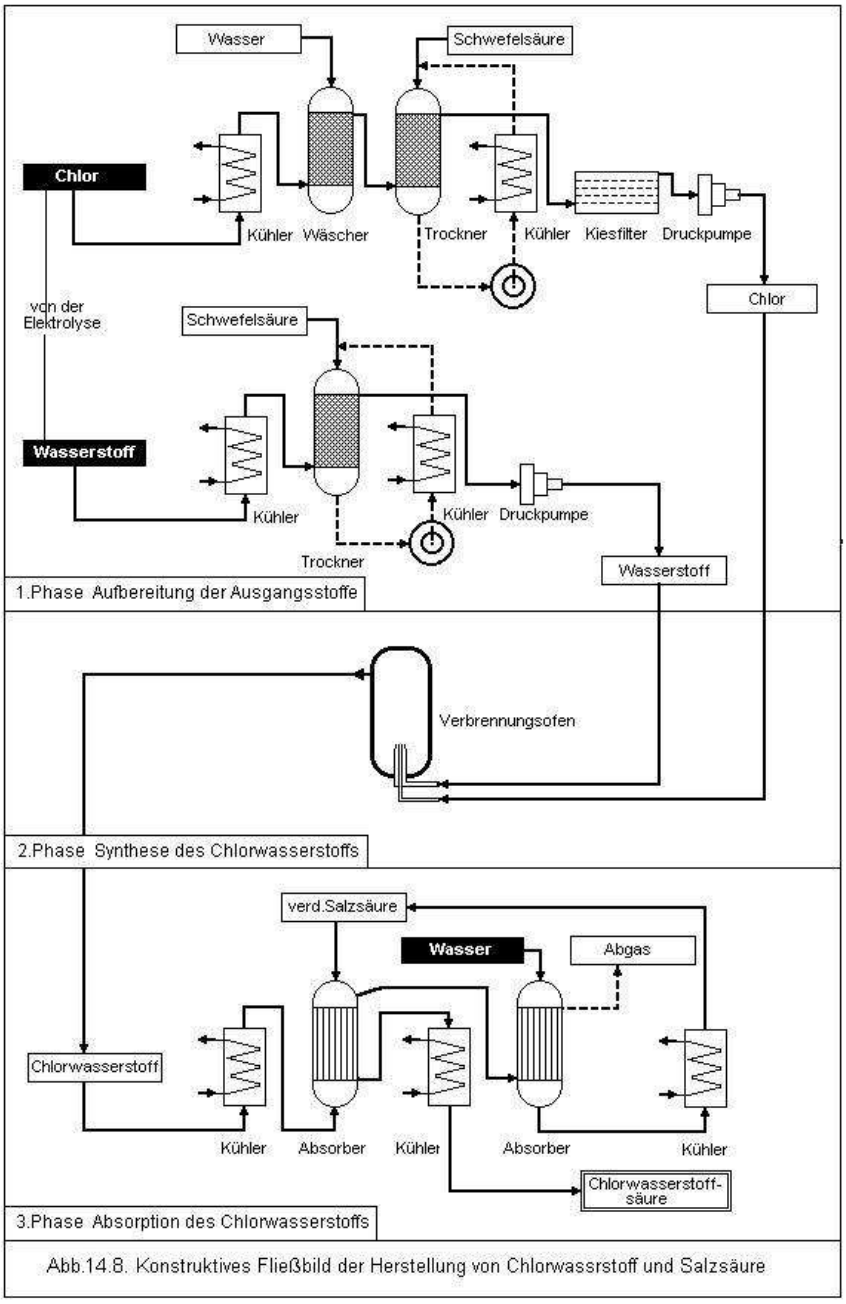


Abb.14.8. Konstruktives Fließbild der Herstellung von Chlorwassrstoff und Salzsäure

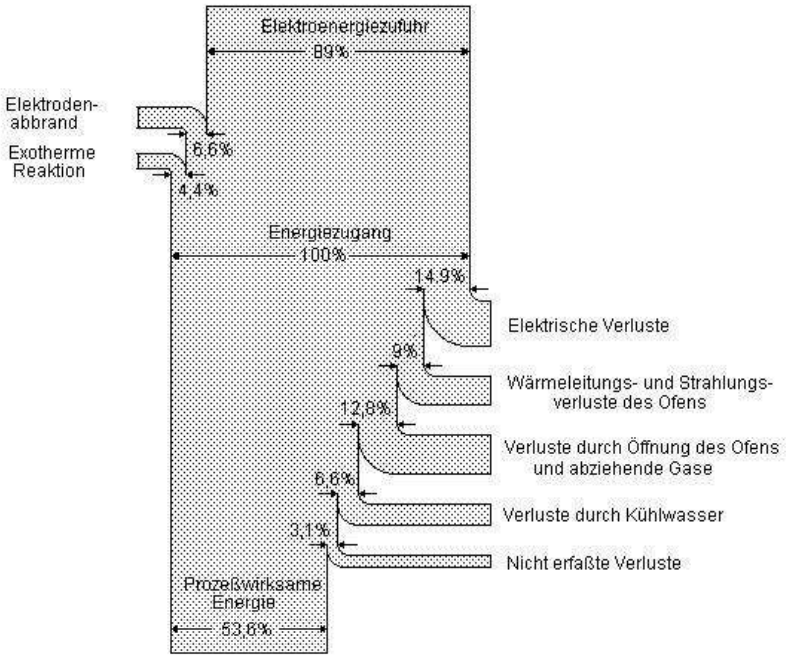


Abb. 14.11. Energieflußbild eines Lichtbogenofens

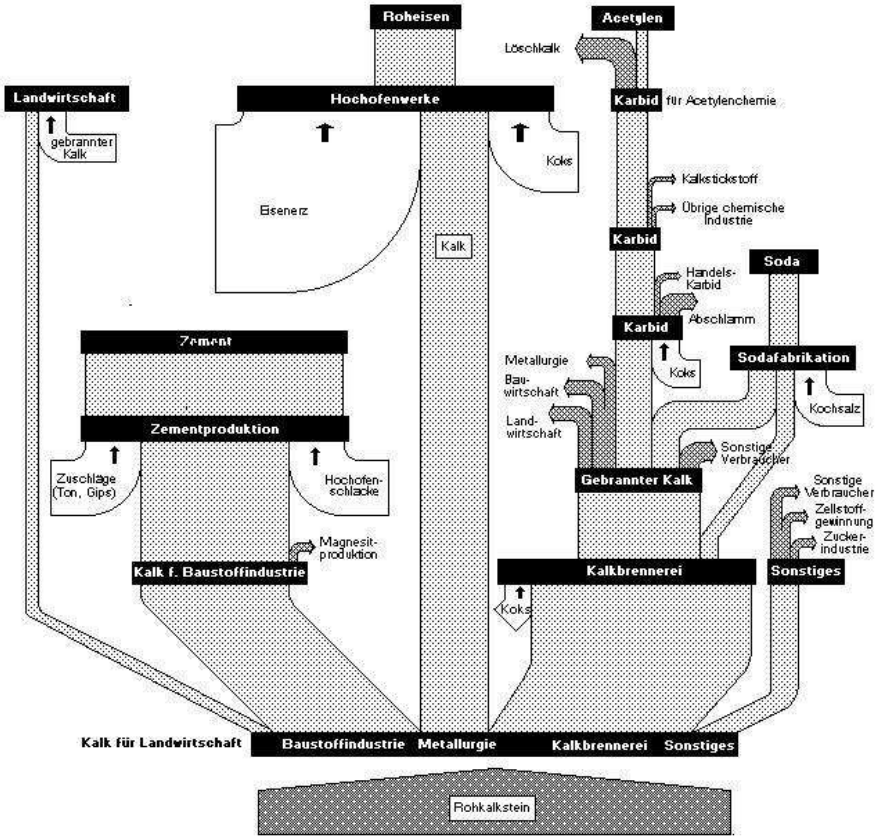


Abb.14.10. Stoffflußbild der volkswirtschaftlichen Einsatzgebiete für Kalkstein

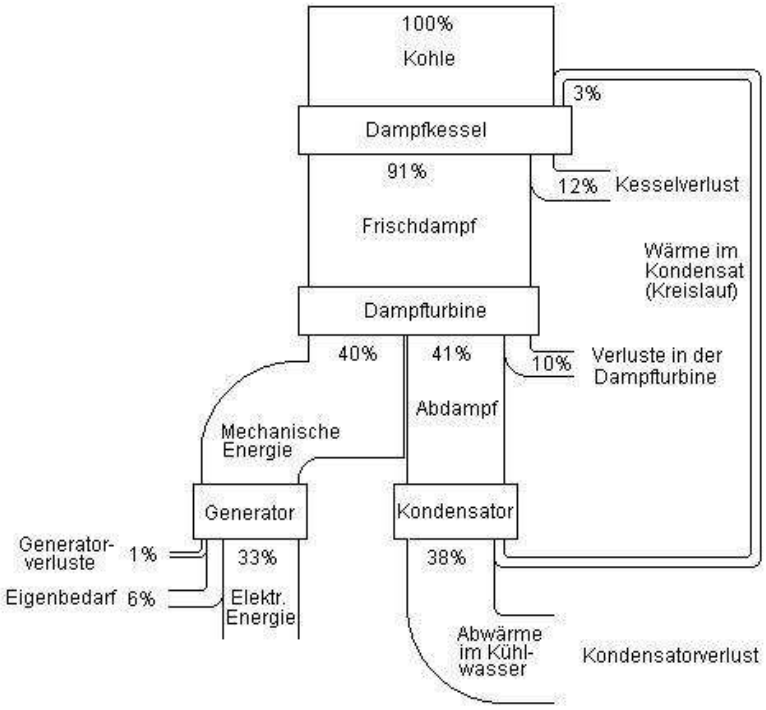


Abb. 14.12. Wärmeflußbild eines Dampfkraftwerkes (Gegendruckverfahren)

Literatur

14.1 F. Tegeder, Verfahren der Chemie-Industrie in farbigen Fließbildern, Braunschweig1955

14.2 A. Lingelbach / K. Sommer / H. Wolffgramm, Vom Rohstoff zum Chemieprodukt, Leipzig 1967

14.3 H. Gena, Fließbilder aus der Grundstoff- und Gebrauchsgüterindustrie, Halle(Saale) 1957

14.4 H. Müller, Technologische Grundlagen für die Landwirtschaft, Berlin 1989

14.5 H. Wolffgramm, Fließdarstellungen von Produktionsprozessen als Mittel der polytech-nischen Bildung, Habilitationsschrift Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1966

14.6 -Standard Schematisches Fließbild (Aufbau und Kurzzeichen), DIN 7091

14.7 -Standard Konstruktives Fließbild, DIN 7092

14.8 -Dechema-Erfahrungsaustausch Fließbilder in der chemischen Technik, Frankfurt/Main 1957, Blätter 2498a bis 2537a

14.9 K. Kutzner, Sinnbilder für Apparate (Dechema-Erfahrungsaustausch), Frankfurt/Main 1957

14.10 H. Börner, Die Fabrik auf einen Blick (Maschinen-Kurzzeichen im Fabrikations-Stammbaum), Goslar 1949

14.11 M.Vlk, Bilder in technischen Veröffentlichungen, Leipzig 1963

V. Teil - ALLGEMEINE VERFAHRENSPRINZIPIEN

15. Allgemeine Verfahrensprinzipien

15.1. Allgemeine Verfahrensprinzipien als Invarianzklasse der Technologie

Zu den zentralen Aufgaben der Wissenschaft Technologie gehört die Erarbeitung von Grundlagen für die durchgängige wissenschaftliche Gestaltung von Produktionsprozessen. Während in der erstem Hälfte unseres Jahrhunderts das Schwergewicht auf der Untersuchung und Weiterentwicklung der einzelnen Bearbeitungsvorgänge lag, rückt seit dem Beginn der wissenschaftlich-technischen Revolution der Produktionsprozess als Ganzes, das Zusammenwirken und die Kombination der einzelnen Glieder des technologischen Systems und seine optimale Gestaltung immer mehr in das Zentrum der technologischen Aufgabenstellung. Das findet seine Ursache in einer Reihe objektiv begründeter Faktoren und Entwicklungsprozesse, die die Funktion der Technologie im gegenwärtigen Prozess der Produktivkräfteentwicklung entscheidend bestimmen.

Die mit der Herausbildung einer qualitativ neuen technologischen Produktionsweise verbundenen Veränderungen und Umwälzungen - insbesondere der breite Übergang zu automatisierten Produktionsprozessen mit dem Zwang zu verketteten und vernetzten technologischen Systemen, dem Übergang zu industriemäßigen Produktionsmethoden im Bauwesen und in der Landwirtschaft, sowie den neuartigen Technologien im Transportwesen - erfordern zwingend, den Gesamtprozess als Einheit mit den Mitteln der Wissenschaft zu gestalten. Im Grunde spiegelt sich darin die Rolle der Technologie als Umwälzungsfaktor der wissenschaftlich-technischen Revolution wider.

Die zunehmende Hinwendung der Technologie zum Gesamtprozess im Produktionsgeschehen ist auch in der Integrationsfunktion der Technologie begründet. Die einzelnen Elemente des Produktionsprozesses stehen in enger Wechselwirkung zueinander, sie ergänzen und bedingen einander. Der Grad ihrer Kombination und ihr effektives Zusammenwirken werden wesentlich von der umfassenden Nutzung technologischer Erkenntnisse bestimmt.

Ein großer Teil der gegenwärtigen Produktionsprozesse beruht nach wie vor auf vorwiegend empirischer Grundlage. Trotz des hohen Entwicklungsstandes, den die Produktion auf der Basis des Erfahrungsschatzes von Generationen erreicht hat, erfordern die Bedürfnisse des technischen Fortschritts, die Produktionsprozesse durchgängig nach wissenschaftlichen Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten zu gestalten. Es ist eine Gegenwartsaufgabe der Technologie, die Gesetze der Prozessgestaltung und der Verfahrensführung im Einzelnen zu bestimmen und ihre Anwendung zu unterstützen.

Der in diesen Gesetzen erreichte Verallgemeinerungsgrad wird es ermöglichen, Prinziplösungen für bestimmte Typen technologischer Aufgabenstellungen auszuarbeiten, um nicht für jedes konkrete technologische Problem eine gesonderte Lösung suchen zu müssen. Die Erarbeitung von Prinzipien und Gesetzen, die den komplexen Produktionsprozess als Gesamtsystem mit wissenschaftlichen Mitteln gestalten, ist deshalb ein wesentlicher Teilbereich der Wissenschaft allgemeine Technologie. Wir bezeichnen diese Klasse technologischer Prinzipien und Gesetze als *allgemeine Verfahrensprinzipien.*

In den verschiedenen technologischen Spezialdisziplinen sind seit längerer Zeit Prinzipien bekannt, die die Gestaltung vollständiger Produktionsprozesse betreffen. Sie enthalten Aussagen zur Art und Weise der Verknüpfung technologischer Grundvorgänge, zur Optimierung einzelner Faktoren innerhalb des Gesamtprozesses und zur Sicherung notwendiger Bedingungen für den stabilen Prozessablauf.

In der chemischen Technologie sind solche Prinzipien unter der Bezeichnung kontinuierliche Arbeitsweise, Gegenstromprinzip, Prinzip des kürzesten Reaktionsweges, Siloprinzip u. ä. bekannt. In der mechanischen Technologie spricht man von Fließfertigung, im Bauwesen von der Taktbauweise und der Gleitkernmethode. Solche Prinzipien mussten zwangsläufig dort entwickelt werden, wo die einzelnen Bearbeitungsvorgänge innerhalb des Gesamtprozesses zeitlich und räumlich zwangsverkettet waren und von einer entsprechenden Koordinierung der Einzelvorgänge die Funktion des Gesamtprozesses abhing. Sie waren aber auch zur Optimierung bestimmter Faktoren des Gesamtsystems hinsichtlich seiner Zuverlässigkeit und seiner Flexibilität notwendig.

So lange die Produktionsprozesse im wesentlichen empirisch gestaltet und weiterentwickelt wurden, war die Ausarbeitung allgemein anwendbarer Regeln, Prinzipien und Gesetze für die optimale Gestaltung des technologischen Regimes dieser Prozesse keine aktuelle Aufgabe. Mit dem Übergang zu mechanischen Taktstra-

ßen, mit der allgemeinen Durchsetzung der kontinuierlichen Arbeitsweise in der chemischen Industrie, mit dem Verbundbetrieb großer Kraftwerkskomplexe, mit den modernen Technologien des Containertransports und industriemäßiger Methoden in der Landwirtschaft, mussten die einzelnen, den Arbeitsgegenstand verändernden Bearbeitungsvorgänge, der Stoff-, Energie- und Informationsfluss innerhalb des Gesamtsystems genau aufeinander abgestimmt werden. Das rückte die Fragen der Gestaltung des technologischen Gesamtsystems in das Blickfeld der technologischen Wissenschaft. Mit der Automatisierung wurden die allgemeinen Verfahrensprinzipien zu unabdingbaren Komponenten der technologischen Prozessgestaltung.

Der Begriff der allgemeinen Verfahrensprinzipien umfasst in seinem Inhalt Prinzipien und Gesetze, die ihrem Wesen und ihrer Funktion nach die Organisation technologischer Systeme von Produktionsprozessen betreffen. Sie haben die Aufgabe, die rationelle Organisation, die Zuverlässigkeit, Stabilität und Flexibilität des Gesamtsystems zu sichern. Sie sind in diesem Sinne Grundsätze zur wissenschaftlichen Gestaltung verketteter Systeme.

Die Ausarbeitung der allgemeinen Verfahrensprinzipien befindet sich gegenwärtig in einer Phase stürmischer Entwicklung. In allen Wirtschaftszweigen werden im Zusammenhang mit der komplexen Automatisierung, mit dem Aufbau flexibler Fertigungssysteme, eine Vielzahl von Lösungen für eine rationelle Prozessorganisation entwickelt und praktisch realisiert. Für die allgemeine Technologie geht es in dieser Phase vor allem um die systematische Erfassung der in den einzelnen Produktionsprozessen angewandten Verfahrensprinzipien. Wesentlich ist dabei, die Funktionsparameter dieser Prinzipien, ihr Einsatzfeld und ihre Wirkungen auf das technologische Geschehen einschließlich der durch ökonomische Vorgaben gegebenen Begrenzungen detailliert zu erfassen, sie damit vergleichbar zu machen und zu klassifizieren. Das ermöglicht Verallgemeinerungen hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit und Anwendbarkeit auch in anderen Produktionsprozessen und -zweigen. Auf dem Wege der schrittweisen theoretischen Verallgemeinerung des empirischen Materials lassen sich grundlegende Begriffe und mehr oder weniger breit anwendbare Verfahrensprinzipien herausarbeiten, die ihrem Charakter nach allgemeine Gesetzmäßigkeiten der rationellen Gestaltung technologischer Produktionssysteme sind.

15.2. Zur Systematisierung der allgemeinen Verfahrensprinzipien

Der gegenwärtige Stand der wissenschaftlichen Untersuchung der allgemeinen Verfahrensprinzipien erlaubt noch keine so weitgehend abgesicherte Systematisierung, wie das für das System der Bearbeitungsvorgänge möglich war (vgl. Kap.6.3.). Wenn wir trotzdem versuchen, eine Verknüpfungsmatrix aufzustellen, die die allgemeinen Verfahrensprinzipien unter einheitlichen Gesichtspunkten zu ordnen versucht, so sind wir uns des hypothetischen Charakters des Ergebnisses durchaus bewusst.

Die Funktion eines solchen Systems liegt nicht nur in einer klassifizierenden Ordnung der in einzelnen Produktionsbereichen empirisch entwickelten Verfahrensprinzipien, sondern auch in der Möglichkeit, aus dieser Zuordnung Aussagen für die Verallgemeinerung spezieller Prinzipien für einen breiteren Anwendungsbereich zu gewinnen.

Die Suche nach möglichen Ordnungskriterien führt zum einen zur angestrebten *Funktion des Prinzips*. Hier lassen sich nennen: Prozessorganisation, Prozessstabilisierung und Flexibilisierung des technologischen Systems. Da die Verfahrensprinzipien jeweils auf einzelne Elemente des Produktionsprozesses (Arbeitsgegenstand, Bearbeitungsvorgang, Arbeitsmittel) orientiert sind, ergibt sich der *Wirkungsaspekt* als zweites Klassifizierungskriterium.

Auf der Grundlage des Matrixoperators "Wirkungsaspekt/Funktion" ergibt sich das in Tabelle 15.1. dargestellte System der allgemeinen Verfahrensprinzipien.

Die verwendete Matrix muss beim gegenwärtigen Stand der wissenschaftlichen Bearbeitung als offenes Ordnungssystem verstanden werden. Es ist damit zu rechnen, dass weitere Funktionen für allgemeine Verfahrensprinzipien aktuell werden, z.B. die Qualitätssicherung, die Toleranzoptimierung. Wichtig ist auch zu erkennen, dass die innerhalb einer Zeile stehenden Prinzipien enge innere Beziehungen aufweisen und oft nur verschiedene Realisierungsformen ein und desselben Prinzips darstellen.

So ist das Fließprinzip unmittelbar mit dem Prinzip der Verkettung technischer Systeme verbunden. Die getrennte Betrachtung der einzelnen Aspekte ermöglicht es jedoch, bestimmte Besonderheiten besser zu erfassen. Schließlich soll noch hervorgehoben werden, dass die Felder der Matrix mit hoher Wahrscheinlich-

keit Typen allgemeiner Verfahrensprinzipien repräsentieren, d.h. dass es sehr verschiedenartige Möglichkeiten zur Realisierung der in den Feldern angegebenen Prinzipien geben kann.

Funktion	Wirkungsaspekt Arbeitsgegen-stand	Bearbeitungs-vorgang	Arbeitsmittel
Prozeßorganisation	Fließprinzip	Kontinuitätsprinzip	Verlettungsprinzip
Stabilisierung	Speicherprinzip	Prinzip der Vor-gangsstabilisierung	Zuverlässigkeits-prinzip
Flexibilisierung	Substitutions – prinzip	Anpassungsprinzip	Baueinheitenprinzip

Tabelle 15.1. System der allgemeinen Verfahrensprinzipien

15.3. Technologische Prinzipien der Prozessorganisation

Für die Kopplung der einzelnen Bearbeitungsvorgänge zur Überführung der Ausgangsstoffe in Produkte haben sich bestimmte allgemeine Prinzipien zur zweckmäßigen und optimalen Prozessorganisation herausgebildet. Sie betreffen die räumliche und zeitliche Anordnung und Abfolge der Bearbeitungssysteme, den Fluss und den Durchlauf der Arbeitsgegenstände und das zeitliche Regime des technologischen Prozessablaufs.

Hinsichtlich der räumlichen Prozessorganisation unterscheidet man die verfahrensspezialisierte und die gegenstandsspezialisierte Prozessorganisation.

Die *verfahrensspezialisierte Prozessorganisation* (Werkstattprinzip) wird vor allem in der mechanischen Produktion (d.h. im Maschinenbau, in der holz- und plastverarbeitenden Industrie) angewandt. Dabei sind technologisch gleichartige Bearbeitungssysteme in besonderen Produktionsbereichen zusammengefasst (Dreherei, Fräserei, Schleiferei usw.). Der Arbeitsgegenstand durchläuft in sog. Losen die einzelnen Produktionsabschnitte in bestimmter Folge. Das Werkstattprinzip hat den Vorteil einer hohen Flexibilität, einer zweckmäßigen Lagerhaltung an Werkzeugen und Vorrichtungen und großer Übersichtlichkeit. Die relative Unabhängigkeit der einzelnen Produktionsbereiche macht diese Art der Prozessorganisation wenig anfällig gegenüber Störungen des Produktionsablaufes. Nachteilig sind der hohe Aufwand an Umlaufmitteln, hohe Durchlaufzeiten (durch Liegezeiten an Maschinen und in Zwischenlagern), hoher Transportaufwand, großer Platzbedarf für Abstellen und Lagern der Teile und die insgesamt niedrige Arbeitsproduktivität.

Bei der *gegenstandspezialisierten Prozessorganisation* (Erzeugnisprinzip) sind die einzelnen Bearbeitungsstationen in der technologisch vorbestimmten Reihenfolge angeordnet. Nach der Art des Durchlaufs der Arbeitsgegenstände durch den Gesamtprozess unterscheidet man zwischen Losfertigung und Fließfertigung. Bei der Losfertigung erfolgt die Weitergabe der bearbeiteten Teile jeweils erst nach der Bearbeitung der gesamten Gruppe von Teilen (des Loses), während bei der Fließfertigung das einzelne Teil unmittelbar nach seiner Bearbeitung zur folgenden Bearbeitungsstation weitertransportiert wird.

Nach dem Erzeugnisprinzip organisierte Prozesse weisen wesentliche Vorteile gegenüber den verfahrensspezialisierten Organisationsformen auf. Sie zeichnen sich durch eine geringe Durchlaufzeit der Arbeitsgegenstände aus, sie machen den Einsatz hochspezialisierter Technik möglich, haben geringe Transportaufwendungen und sind technologisch gut überschaubar. Allerdings sind sie wenig anpassungsfähig an sich ändernde Produktionsaufgaben und relativ anfällig bei Störungen.

Die gegenstandsspezialisierte Prozessorganisation ist die entscheidende Form für eine kontinuierliche Prozessgestaltung und die Automatisierung der Produktionsprozesse. Die Kontinuität des Produktionsablaufs ist ein grundlegendes Merkmal moderner Prozessgestaltung und ihre Realisierung eine der Hauptrichtungen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts.

Kontinuierliche Produktionsprozesse erfordern ein komplexes, genau aufeinander abgestimmtes Zusammenwirken der einzelnen Elemente des Produktionsprozesses und eine rationelle Koordination der Stoff-,

Energie- und Informationsflüsse im Gesamtsystem. Der Übergang von diskontinuierlichen (periodischen) zu kontinuierlich durchgeführten Produktionsprozessen ist immer mit einer grundlegenden Umgestaltung der Produktionstechnologie verbunden. Die Automatisierung von Produktionsprozessen hat als eine wesentliche Bedingung den Übergang zu kontinuierlichem Prozessablauf.

Kontinuierlich gestaltete Produktionsprozesse zeichnen sich durch hohe Produktivität aus, der spezifische Aufwand an technischen Systemen ist geringer als bei diskontinuierlichen Prozessen mit gleich hoher Produktion, der Produktionszyklus verkürzt sich und der Aufwand an lebendiger Arbeit verringert sich. Diesen bedeutsamen ökonomischen Vorteilen steht allerdings ein hoher Aufwand an wissenschaftlich-technischer Arbeit gegenüber.

In kontinuierlich organisierten technologischen Systemen unterliegen der Fluss des Arbeitsgegenstandes, der Ablauf des Bearbeitungsvorgangs und die Kombination der Arbeitsmittel bestimmten Forderungen, die sich in drei sich gegenseitig bedingenden Prinzipien formulieren lassen:

- der Arbeitsgegenstand dem Fließprinzip
- der Bearbeitungsvorgang dem Kontinuitätsprinzip und
- das Arbeitsmittel dem Verkettungsprinzip

15.3.1. Das Fließprinzip

Das Fließprinzip repräsentiert die höchste Form der Produktionsorganisation. Ein technologisches System ist nach dem Fließprinzip organisiert, wenn der Arbeitsgegenstand das Produktionssystem in kontinuierlichem Fluss durchläuft. Der Fluss kann stetig oder rhythmisch sein. Der Durchlauf des Arbeitsgegenstandes ist mit entsprechenden kontinuierlichen bzw. taktweisen Eingabeoperationen, Bearbeitungsvorgängen und der Ausgabe des Produkts verbunden. Das Fortschreiten des Arbeitsgegenstandes von einem Bearbeitungssystem zum anderen erfolgt in vorher bestimmten Zeitintervallen.

Das Fließprinzip kann bei ortsunveränderlichen Arbeitsgegenständen (z.B. im Bauwesen, im Bergbau, in der Agrarproduktion) dadurch realisiert werden, dass die Arbeitsmittel in bestimmter Folge und in bestimmtem Rhythmus zum Arbeitsgegenstand gebracht werden.

Als *allgemeine Merkmale des Fließprinzips* sind zu nennen:

- Das *örtliche Fortschreiten* des Arbeitsgegenstandes (bzw. des Arbeitsmittels) als gerichtete Relativbewegung zwischen Arbeitsgegenstand und den Arbeitsmitteln, die in der Reihenfolge der Bearbeitungsvorgänge angeordnet sind.
- Die *zeitliche Bestimmtheit* des Fortschreitens, die in einer bestimmten Durchlaufgeschwindigkeit oder in einer bestimmten Taktzeit zum Ausdruck kommt.
- Die zeitlich und räumlich *lückenlose Folge* der einzelnen Bearbeitungsvorgänge vom Ausgangszustand des Arbeitsgegenstandes bis zum fertigen Produkt.

Die Realisierung eines kontinuierlichen Flusses des Arbeitsgegenstandes lässt sich verhältnismäßig leicht bei stofflichen Arbeitsgegenständen erreichen, die Fließgüter sind. Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe ohne bestimmte Form (Pulver, Granulate, Haufwerk) erfordern im Allgemeinen nur einen geringen technischen Aufwand für den fließenden Transport.

Schwieriger sind Fließprozesse für Arbeitsgegenstände mit geometrisch bestimmten Abmessungen und konstruktiv vorgegebener makrogeometrischer Form (Werkstücke) zu verwirklichen. Sie erfordern oft aufwendige Einrichtungen für den Transport von einer Bearbeitungsstelle zur anderen. Der Bewegungsablauf ist meist periodisch unterbrochen (Abb.15.1.). Neue Möglichkeiten für die fließende Gestaltung des Gesamtprozesses ergeben sich durch den Einsatz von Industrierobotern und durch die flexiblen Fertigungssysteme.

Für stoffliche Energie- und Informationsträger als Arbeitsgegenstände gelten die hier getroffenen Feststellungen analog. Kinetische Energieformen und strahlungsgebundene Signale müssen im Allgemeinen mit Systemen bearbeitet werden, die nach dem Fließprinzip organisiert sind.

Das Fließprinzip ist besonders für Produktionsprozesse mit großem Massendurchsatz bzw. großen Produktmengen geeignet, die über längere Zeit gleich bleiben

Das Fließprinzip kann in einzelnen Produktionsabschnitten (Fließabschnitt), in ganzen Produktionsabläufen (Fließlinien) oder auch in mehreren miteinander vernetzten Linien (Fließsystem) realisiert werden.

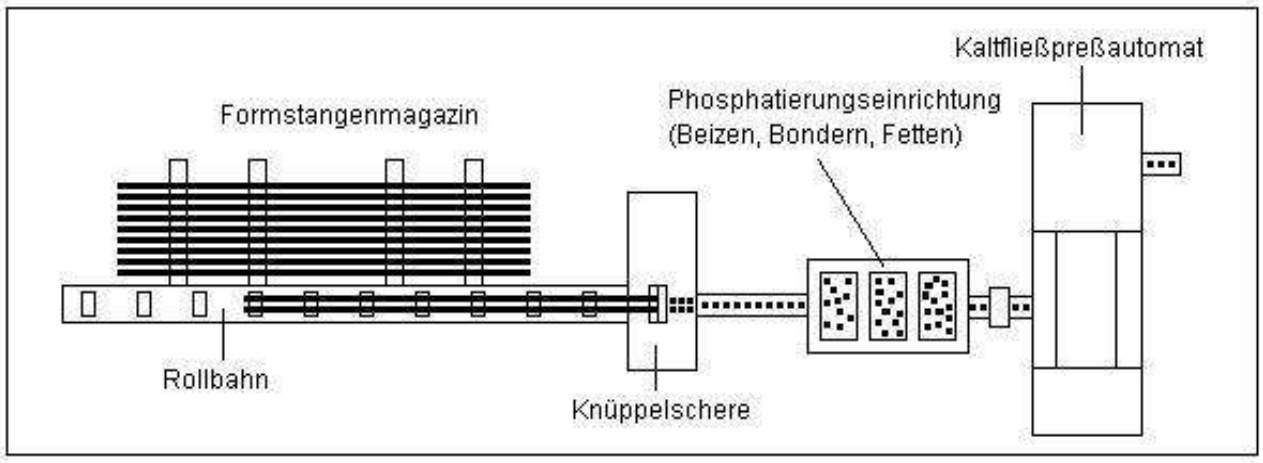


Abb. 15.1. Automatische Fließstraße zur Herstellung von Werkstücken durch Fließpressen

In den verschiedenen Produktionszweigen hat das Fließprinzip eine spezifische Ausprägung erfahren. In den stoffformenden Industrien spricht man von der *Fließfertigung*, wobei zwischen Handfließreihen, Maschinenfließreihen und automatischen Fließreihen unterschieden wird. Die chemische Industrie verwendet den Begriff des *Fließbetriebes* bzw. der kontinuierlichen Arbeitsweise. Im Bauwesen ist das Fließprinzip u. a. durch die *Taktbauweise* realisiert. Im Transportwesen hat das Fließprinzip in der *Transportkette* seine Ausprägung erfahren. In ihr ist eine lückenlose Folge von Transport-, Umschlag- und Lageroperationen verwirklicht, die einen kontinuierlichen Fluss der Transportobjekte ermöglicht.

Zusammenfassend wollen wir zum Fließprinzip einige technologische Bedingungen formulieren und wesentliche Vorteile sowie einschränkende Bedingungen angeben.

Als *technologische Voraussetzungen* sind zu nennen:

- genügender Umfang der Produktion (Massendurchsatz bzw. hohe Stückzahlen) bei gesicherter Produktionsperspektive über einen längeren Zeitraum
- technologische Reife des Produktionsprozesses und der Produkte
- Sicherung der ausreichenden und kontinuierlichen Zuführung von Arbeitsgegenständen mit einer sich in relativ engen Grenzen bewegenden Einheitlichkeit der Qualität
- Sicherung einer ausreichenden Stabilität des Gesamtprozesses
- technologische und organisatorische Zergliederbarkeit des Produktionsprozesses.

Die wesentlichen *Vorteile des Fließprinzips* gegenüber diskontinuierlich betriebenen Prozessen sind:

- Einheitlichkeit des Produkts und seiner Qualität über lange Zeiträume einschließlich der Minderung der Ausschussquote,
- Verkürzung des Produktionszyklus und Senkung des Aufwandes an Umlaufmitteln,
- hohe Auslastung des Maschinenparks,
- Verringerung der Lagerhaltung und des Platzbedarfs für Lagerflächen (bzw. Lagerbehälter) für die unvollendete Produktion,
- Transportaufwandsenkung, weil sich Transportwege um ein Vielfaches verkürzen, spezialisierte Transportmittel eingesetzt werden können und Zwischenlager entfallen,
- hohe Arbeitsproduktivität durch Spezialisierung der Arbeitsmittel und der Arbeitskräfte,
- gute Automatisierbarkeit,
- erleichterte Arbeitsbedingungen,
- Übersichtlichkeit des Produktionsablaufs.

Einschränkende Faktoren sind:

- Geringe Flexibilität des Produktionsprozesses,
- relativ hohe Störanfälligkeit, weil sich Störungen am Einzelplatz auf das gesamte Fließsystem auswirken,
- hohe Anlagenkosten.

15.3.2. Das Kontinuitätsprinzip

Die Kontinuität eines Produktionsprozesses erfordert bei dem stetigen Fluss des Arbeitsgegenstandes auch den kontinuierlichen Verlauf der einzelnen Bearbeitungsvorgänge und ihr organisches Zusammenwirken.

Das Kontinuitätsprinzip wird durch die stetige Zuführung von Arbeitsgegenständen zum Bearbeitungssystem, ihre ununterbrochene Veränderung beim Durchlauf durch das Arbeitsmittel und die ständige Entnahme der jeweiligen Stufenprodukte aus dem technischen System gekennzeichnet.

Besonders ausgeprägt finden wir das Kontinuitätsprinzip in chemisch-technologischen Produktionsprozessen, weil die Eigengesetzlichkeit der Stoffwandlungsprozesse und der Fließcharakter ihrer Arbeitsgegenstände einerseits einen kontinuierlichen Produktionsablauf begünstigen, ihn andererseits direkt erfordern. Charakteristisch für das Kontinuitätsprinzip in Stoffwandlungsprozessen ist die ununterbrochene Zuführung der Ausgangsstoffe zum Reaktor und die gleichzeitige ständige Entnahme der Reaktionsprodukte. Das Reaktionsgemisch durchläuft den Reaktionsraum und wird dabei umgesetzt. Die Reaktionsbedingungen wie Temperatur, Druck und mechanische Kraftwirkungen bleiben dabei in den verschiedenen Bereichen des Reaktors ständig konstant. Besonders das letztere Merkmal (Konstanz der Prozessbedingungen) ist typisch für die Charakteristik des Kontinuitätsprinzips.

Beim Zementbrennen wird beispielsweise das Rohmehl kontinuierlich in den Drehrohrofen eingegeben. Es durchläuft den Ofen und wird dabei chemisch umgesetzt. Die entstehenden Zementklinker treten kontinuierlich aus dem Reaktor aus. In den einzelnen Bereichen Drehrohrofens herrschen konstante Temperatur- und Strömungsbedingungen.

Auch die Roheisenerzeugung im Hochofen ist ein kontinuierlicher Prozess, wenn auch einige Bedingungen aus technologischen Gründen modifiziert sind.

So wird der Möller nicht stetig, sondern in kurzen Intervallen in den Reaktionsraum eingebracht und der Abstich von Roheisen und Schlacke erfolgt im Rhythmus von 3 bis 6 Stunden. Die Reaktionsparameter in den verschiedenen Zonen des Hochofenraumes bleiben ständig konstant. Bei sehr großen Hochöfen (5000 cbm Rauminhalt und mehr) ist der Stoffumsatz so groß, dass das Produkt kontinuierlich aus dem Hochofen entnommen werden kann. Beeindruckend zeigt sich das Kontinuitätsprinzip auch bei der Papierherstellung. An bis zu 200 m langen Fließstraßen durchläuft der Papierbrei die einzelnen zwangsgekoppelten Teilsysteme (Siebteil, Pressen, Vortrockner, Glättwerk, Streicheinrichtung, Nachtrockner und Rollapparat) in einem mehrere Meter breiten Band und wird am Ende der Papiermaschine kontinuierlich aufgerollt. Die technologischen Parameter sind dabei in allen Teilsystemen gleichbleibend (Abb.15.2.).

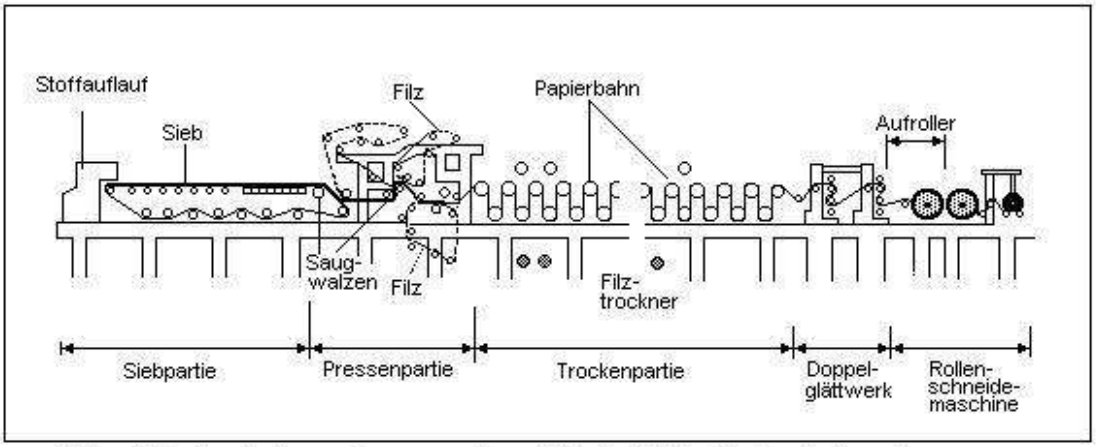


Abb. 15.2. Papierherstellungsstraße als Beispiel für Fließprinzip und Kontinuitätsprinzip in einem technologischen System

Man ist bestrebt, die heute noch diskontinuierlich organisierten Stoffwandlungsprozesse durchgehend kontinuierlich zu gestalten. Die Fortschritte auf dem Gebiet der Reaktionskinetik und in der Reaktortechnik haben unter anderem in den letzten Jahren selbst die kontinuierliche Bierherstellung ermöglicht. Die Vorteile liegen in der wesentlichen Verkürzung der Durchlaufzeit der Reaktionsmasse (6 Tage gegenüber 6 Wochen), der Erhöhung der Raum-Zeit-Ausbeute, geringerem Behältervolumen, der Senkung des spezifischen Energieaufwandes, in günstigen Automatisierungsbedingungen und in der gleichbleibenden Qualität des Produkts.

Das Kontinuitätsprinzip wird aber auch in anderen Bereichen der Volkswirtschaft genutzt. In der stoffformenden Produktion wird der Bearbeitungsvorgang meist durch einen bestimmten zeitlichen Bearbeitungsrhythmus gekennzeichnet. Die Umformung von Blechen auf einer Presse erfolgt in aufeinander abgestimmten Taktfolgen, in denen das Material der Presse zugeführt, umgeformt und bearbeitet entnommen wird. In zahlreichen anderen Bearbeitungsvorgängen liegt aber auch eine weitgehende Analogie zur Kontinuität in Stoffwandlungsprozessen vor, wie beim Strangguss, bei kontinuierlichen Galvanisierungsanlagen oder bei der Herstellung von Garnen und Geweben. Auch in die landwirtschaftliche Produktion hat das Kontinuitätsprinzip in vielfältiger Form Eingang gefunden (Abb.15.3.).

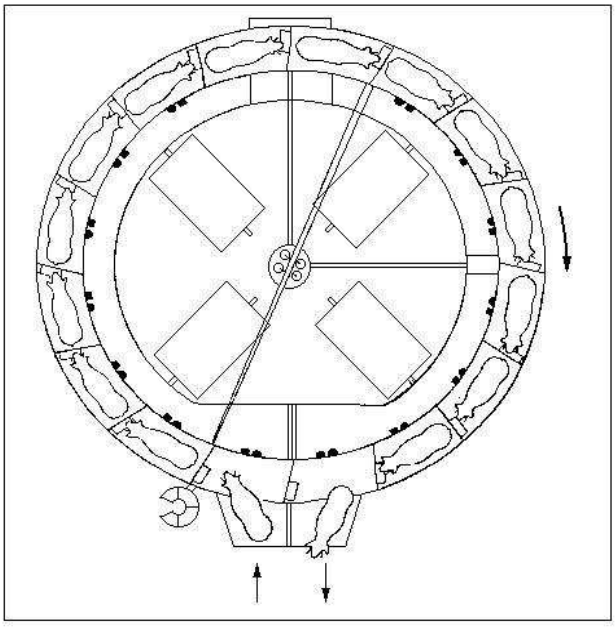


Abb.15.3. Schema einer Melkkarussellanlage

15.3.3. Das Prinzip der Verkettung der Arbeitsmittel

Der dritte Aspekt der kontinuierlichen Systemorganisation von Produktionsprozessen ist die Art der Verknüpfung der Arbeitsmittel. Die Kontinuität des Gesamtprozesses verlangt eine solche räumliche Anordnung der Arbeitsmittel, dass der Arbeitsgegenstand sie in einer bestimmten Reihenfolge passieren (durchlaufen) kann. Wesentlich ist, dass die einzelnen Bearbeitungssysteme durch entsprechende Transporteinrichtungen für den jeweiligen Arbeitsgegenstand miteinander gekoppelt sind. Sie bilden ein verkettetes System.

Für den Betrieb verketteter Systeme müssen eine Reihe von Bedingungen geschaffen und eingehalten werden:

- eine genau aufeinander abgestimmte Dimensionierung der einzelnen Bearbeitungssysteme und der sie verbindenden Transporteinrichtungen
- eine ausreichende Mechanisierung des Gesamtsystems
- eine genügend hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit der einzelnen Bearbeitungssysteme
- ein zeitlich genau getakteter Verfahrensablauf.

Miteinander verkettete Werkzeugmaschinen bezeichnet man als Maschinensysteme. Die Art der Verkettung der einzelnen Aggregate kann ein unterschiedliches Organisationsniveau aufweisen: von der lose durch mechanische Transporteinrichtungen verbundenen mechanischen Fließreihe bis zum komplex verketteten Automatensystem.

Vielfältige Beispiele verketteter Produktionssysteme finden wir in der chemischen Industrie. Auf Grund der Eigenart der Stoffwandlungsprozesse, einmal in Gang gesetzt abzulaufen, solange noch nicht umgesetzte Reaktionspartner vorhanden sind und Operationsenergie verfügbar ist, erfordert die Kontinuität des Gesamtprozesses die Verkettung der Reaktoren und anderer Produktionseinrichtungen durch Rohrleitungen, Bandförderer oder andere dem Reaktionsgut entsprechende Stetigförderer. Es entstehen so zwangsverkettete Produktionslinien.

In Wärmekraftwerken sind die verschiedenen der Energiewandlung und Energieumformung dienenden technischen Systeme ebenfalls durch Rohrleitungen und elektrische Übertragungssysteme zu einem Gesamtsystem verkettet.

Verkettete Produktionssysteme existieren in allen Produktionsbereichen mit kontinuierlichem Prozessablauf. Neben gemeinsamen, das Verkettungsprinzip allgemein widerspiegelnden Merkmalen treten auch spezifische Merkmale auf. Sie werden aber weniger von der Eigenart des Produktionszweiges als vielmehr durch die Art des Arbeitsgegenstandes, insbesondere seinen Aggregatzustand, bestimmt.

15.4. Technologische Prinzipien der Prozessstabilisierung

Die allgemeinen Verfahrensprinzipien zur Stabilisierung technologischer Systeme haben zum Ziel, die Kontinuität des Produktionsablaufs zu sichern. Sie sollen Stockungen oder Ausfälle im Fluss der Arbeitsgegenstände, Störungen oder Unterbrechungen der Bearbeitungsvorgänge und den Ausfall von Arbeitsmitteln verhindern, in engen Grenzen halten oder kompensieren. Ihre Wirkung ist vorwiegend auf die Funktionsfähigkeit des technologischen Gesamtsystems gerichtet.

Im Zusammenhang mit der fortschreitenden Automatisierung gewinnt die Stabilität der Produktionsprozesse zunehmende Bedeutung. Produktionsunterbrechungen oder -ausfälle in hochentwickelten Produktionssystemen sind infolge des hohen Grundmittelwerts der Anlagen und ihres bedeutenden Produktionsvolumens mit großen ökonomischen Verlusten verbunden und können erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen haben.

Unter der Stabilität eines Produktionssystems verstehen wir die Erhaltung seiner Funktionsfähigkeit als Gesamtsystem. Damit fassen wir den Begriff weiter als den in der Fachliteratur verbreiteten Begriff der Zuverlässigkeit, der in vielen Fällen auf das Arbeitsmittel eingeengt wird. Wir möchten sowohl Maßnahmen erfassen, die den Fluss des Arbeitsgegenstandes sichern, als auch Maßnahmen zur Sicherung der Stabilität und Kontinuität der Bearbeitungsvorgänge und der Zuverlässigkeit der Arbeitsmittel.

Der Begriff der Funktionssicherung umfasst in diesem Zusammenhang die Sicherung des Prozessablaufs, die Einhaltung der vorgegebenen Qualitätsparameter des Produkts (einschließlich der Zwischenprodukte) sowie die Abwendung von Gefahren- und Katastrophensituationen.

Je nachdem, auf welchen Faktor des Produktionsprozesses die Maßnahmen zur Stabilisierung des technologischen Systems orientiert sind, unterscheiden wir:

- das Speicherprinzip (auf den Arbeitsgegenstand bezogen)
- das Prinzip der Vorgangsstabilisierung (auf den Bearbeitungsvorgang bezogen)
- das Zuverlässigkeitsprinzip (auf das Arbeitsmittel bezogen).

15.4.1. Das Speicherprinzip

Speicheroperationen sind notwendige Elemente aller Produktionsprozesse (vgl. Kapitel 11.10.). Das Speicherprinzip hat den Zweck, Stockungen im Fluss der Arbeitsgegenstände weitgehend auszuschließen. Dabei können grundsätzlich drei Situationen hinsichtlich der Stabilisierungsfunktion unterschieden werden:

- Versorgungsspeicherung
- Zwischenspeicherung (Pufferung)
- Absatzspeicherung

Die *Versorgungsspeicherung* hat die Aufgabe, ausreichende Mengen an Ausgangsstoffen bereitzustellen, die auch bei vorübergehenden Schwierigkeiten in der Zulieferung dieser Stoffe den Produktionsablauf über einen bestimmten Zeitraum weiterzuführen gestatten. Der Umfang der anzulegenden Vorräte hängt wesentlich von der Art des jeweiligen Produktionsprozesses ab. Kontinuierlich betriebene Produktionsprozesse mit großem Massendurchsatz, wie sie für die chemische Grundstoffindustrie, die Baustoffindustrie, für metallurgische Betriebe und für Wärmekraftwerke typisch sind, müssen Versorgungsspeicher mit Vorräten für mehrere Wochen anlegen, um die Stabilität der Prozesse zu sichern. Begrenzt wird der Umfang der Bevorratung vor allem durch die z. T. hohe Umlaufmittelbindung und durch den ökonomischen Aufwand für die Speichereinrichtungen.

Die Notwendigkeit der Versorgungsspeicherung in größerem Umfang ergibt sich in anderen Fällen aus dem saisonbedingten Anfall der Ausgangsstoffe. So müssen in der Tierproduktion die während der Vegetations-

periode und in der Erntezeit anfallenden pflanzlichen Futtermittel eingelagert werden, um während des ganzen Jahres zur Verfügung zu stehen. Hier treten zusätzliche Probleme der Konservierung und Lagerhaltung auf. Ähnliches gilt für die Nahrungsgüterindustrien, die landwirtschaftliche Produkte (Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben) verarbeiten.

Für die *Absatzspeicherung* gilt, dass sie die Produkte des Produktionsprozesses aufnehmen muss, um den schwankenden Bedarf des Marktes und auch Transportprobleme zwischen Produzenten und Nutzern auszugleichen.

Zwangsläufig tritt die Notwendigkeit einer umfangreichen Absatzspeicherung bei saisonbedingt anfallenden Produkten (z.B. landwirtschaftliche Produkten) und saisonbedingt benötigten Produkten (z.B. Düngemitteln) auf, um die kontinuierliche Versorgung der Verbraucher zu garantieren.

Besondere Bedeutung hat dieser Aspekt des Speicherprinzips für die Energiewirtschaft, weil die Erzeugung und der Verbrauch von Energie sehr unterschiedlichen Rhythmen unterworfen ist. Im Sinne eines kontinuierlichen Produktionsablaufs müssen die Energieerzeugungsprozesse aus technischen und ökonomischen Gründen einen möglichst gleichmäßigen, schwankungsfreien Ablauf aufweisen. Der Energieverbrauch ist aber beträchtlichen tageszeitlichen und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Das gilt sowohl für Elektroenergie und Stadtgas wie auch für Kraftstoffe und Heizöle. Während die flüssigen und gasförmigen Energieträger verhältnismäßig einfach, wenn auch mit entsprechendem technischen und ökonomischen Aufwand in Behältern, Tanks, Gasometern und Untergrundspeichern eingelagert werden können, ergeben sich für die in technischen Maßstäben nicht speicherbare Elektroenergie besondere Probleme. Hier muss der Weg über Spitzenlastkraftwerke und Pumpspeicherwerke gegangen werden.

Die *Zwischenspeicherung* (Pufferung) übt Stabilisierungsfunktionen innerhalb des Produktionsprozesses aus. Das soll am Beispiel des in Abbildung 15.4. dargestellten technologischen Schemas erläutert werden. Nehmen wir an, dass bei einem der Bearbeitungsvorgänge (BV 1 bis BV 9) Störungen auftreten, so hätte das in einem kontinuierlich organisierten technologischen System den Ausfall des Gesamtprozesses zur Folge, was mit erheblichen ökonomischen Verlusten verbunden wäre. Durch die Einschaltung eines Zwischenspeichers (z.B. ZS 4 bei Ausfall von BV 6), könnte dieser das von BV 5 abgegebene Zwischenprodukt aufnehmen. Damit kann die vor der Störstelle liegende Produktion über einen gewissen Zeitraum weitergeführt werden. Ein weiterer Zwischenspeicher (ZS 5) könnte aus seinem Vorrat die Produktion der hinter der Störstelle liegenden Produktionsabschnitte aufrechterhalten, bis die eingetretene Störung beseitigt ist.

Selbstverständlich können innerhalb eines Produktionsprozesses nicht beliebig viele und beliebig umfangreiche Zwischenspeicher eingebaut werden. Ihr Umfang wird durch die Aufwand-Nutzen-Relation begrenzt.

In der Praxis finden wir zahlreiche Beispiele für Prozessstabilisierende Speicher. Erdölraffinerien mit ihrem hohen Stoffdurchsatz verfügen über bedeutende Eingangstanklager mit Speicherkapazitäten von mehreren Hunderttausend Tonnen Rohöl. Sie haben vor allem Pufferungsfunktion zwischen der Versorgungspipeline und den Verarbeitungsanlagen. Die Kapazität des Eingangstanklagers muss so ausgelegt sein, dass der Raffineriebetrieb auch bei Ausfall der Pipeline über eine gewisse Zeit (mehrere Tage) fortgeführt werden kann. Die Kapazität von Zwischentanklagern als Puffer zwischen den einzelnen Verarbeitungsstufen des Erdöls soll Produktionsschwankungen ausgleichen. Für die Speicherung von Erdöl werden überwiegend sog. Schwimmdachtanks eingesetzt, die eine variable Kapazität aufweisen. Die zylindrischen Behälter besitzen ein Schwimmdach, das mit Hilfe von Pontons auf dem eingelagerten Erdöl schwimmt und mit speziellen Gleitdichtungen versehen ist. Dadurch wird das jeweilige Tankvolumen eingeschlossen. Eine Dachentwässerung sorgt für den Ablauf des Regen- und Schmelzwassers. Schwimmdachtanks benötigen kein Atmungssystem und ermöglichen deshalb eine sehr verlustarme Lagerung.

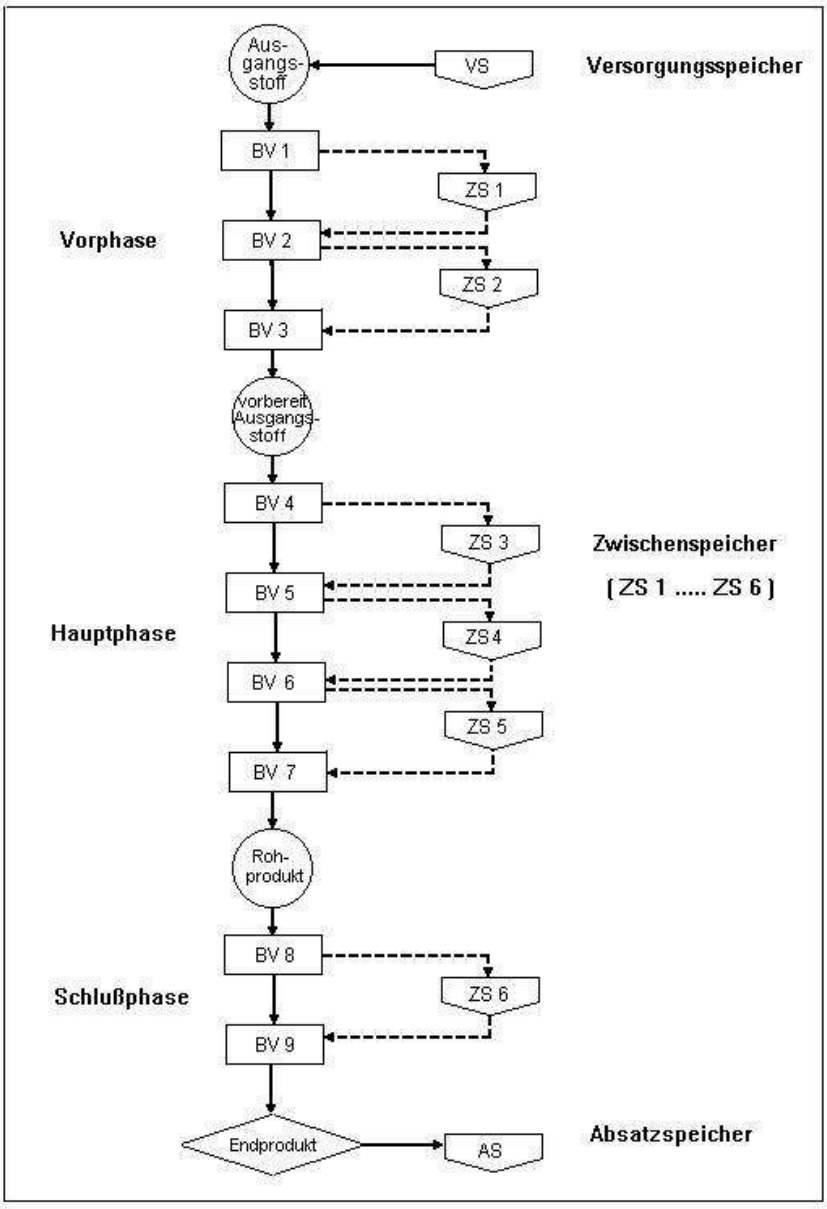


Abb. 15.4. Stabilisierungsfunktion von Speichern in technologischen Systemen (Speicherprinzip)

Durch Zwischenspeicher kann aber nicht nur der Stofffluss an sich gesichert werden. Es ist auch möglich, Qualitätsschwankungen innerhalb des Prozesses auszugleichen, insbesondere solche, die eine sich ändernde chemische Zusammensetzung des Arbeitsgegenstandes betreffen. So werden zwischen Hüttenwerk und Stahlwerk Roheisenmischer als Zwischenspeicher geschaltet, die den zeitlich schwankenden Roheisenanfall (wegen des periodisch erfolgenden Hochofenabstichs) auffangen und zugleich Schwankungen in der Zusammensetzung des Roheisens ausgleichen. Aus den Roheisenmischern kann das Stahlwerk entsprechend seinem Bedarf kontinuierlich versorgt werden.

Eine besondere Form des Schwankungsausgleichs finden wir in der Wasserwirtschaft. Um den Wasserstand auf Kanälen auch bei starkem Schleusenverkehr möglichst konstant zu halten, werden Stichkanäle zu nahe liegenden Seen angelegt, die für einen ständigen Wasserausgleich sorgen. Talsperren an Flüssen fangen bei starkem Zufluss überschüssige Wassermengen auf und geben diese in trockenen Jahreszeiten wieder ab. Damit können Schwankungen des Wasserstandes ausgeglichen und bessere Bedingungen für die Schifffahrt geschaffen werden.

Die Beispiele zeigen, dass das Speicherprinzip stabilisierend auf den Produktionsablauf wirkt, wenn Abweichungen hinsichtlich Quantität und Qualität des Stoffflusses auftreten. Voraussetzung ist ein Überschuss an Arbeitsgegenständen und das Vorhandensein ausreichender Speicherkapazitäten.

15.4.2. Das Prinzip der Vorgangsstabilisierung

Die Stabilität des Ablaufs der einzelnen Bearbeitungsvorgänge ist ein wesentlicher Faktor für die Stabilität des technologischen Gesamtsystems. Sie hängt vor allem von der Einhaltung der bestimmenden Parameter des Bearbeitungsvorgangs ab.

Oft müssen aber im Interesse des technologischen Gesamtablaufs Schwankungen im Fortgang des Bearbeitungsvorgangs ausgeglichen werden, die durch abweichende Mengenzuführung oder wechselnde Qualität bzw. Zusammensetzung des Arbeitsgegenstandes hervorgerufen werden. Dem lässt sich durch eine entsprechende Dimensionierung des Bearbeitungsvorgangs entgegenwirken, die eine Anpassung an wechselnde Bearbeitungsbedingungen ermöglicht.

Das Prinzip der Vorgangsstabilisierung hat demnach die Funktion, die wesentlichen Parameter des Bearbeitungsvorgangs sowohl unter Normalbedingungen wie auch bei wechselnden Belastungsbedingungen (hervorgerufen durch Quantitäts- und Qualitätsschwankungen des Arbeitsgegenstandes) konstant zu halten.

Den erstgenannten Aspekt hat H.JAHN mit dem Begriff des Kontrollprinzips (Lit.15.4.) belegt. Er versteht darunter alle Maßnahmen, die der operativen Kontrolle und Regelung technologischer Vorgänge, insbesondere durch Einsatz der Automatisierungstechnik, dienen. Er verweist darauf, dass moderne chemische, metallurgische und energetische Produktionsprozesse ohne Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik mit mikroelektronischer Prozessortechnik technisch nicht mehr beherrscht werden können.

Die Erfassung der wesentlichen Vorgangsparameter sowie der Zustands- und Eigenschaftsparameter der am Vorgang beteiligten Arbeitsgegenstände und Arbeitsmittel ist die Voraussetzung für ihre zielgerichtete Beeinflussung im Sinne der Stabilisierung des Bearbeitungsvorgangs.

Der durchgängige Einsatz technischer Mittel zur Prozesssteuerung führt auch zu einer weitgehenden Ausschaltung subjektiver Momente bei der Überwachung der Produktionsprozesse. In Prozessen, die mit hoher Geschwindigkeit ablaufen und das Reaktionsvermögen des Menschen bei weitem überschreiten, wird die automatische Prozesssteuerung zu einer Voraussetzung der praktischen Beherrschung der Produktionsprozesse und ihrer Stabilisierung.

Ein zweiter Aspekt der Vorgangsstabilisierung betrifft das Auffangen bzw. Ausgleichen von Quantitäts- und Qualitätsschwankungen im Fluss des Arbeitsgegenstandes. Eine grundlegende Möglichkeit zur Lösung dieser Aufgabe ist die *Vorgangsredundanz*, das heißt eine solche Auslegung (Dimensionierung) des Bearbeitungsvorgangs, die schwankende Belastungen des Prozesses auszugleichen gestattet.

Wir führen dazu ein Beispiel aus der Erdölverarbeitung an. Erdöl muss aufbereitet werden, bevor es aus dem Eingangstanklager der Rohöldestillation zugeführt werden kann. Das bereits am Förderort vorentsalzte Erdöl enthält immer noch 20 bis 250 mg Salz je Liter. Es muss in der Raffinerie eine weitere Entsalzung auf 5 bis 10 mg/l erfolgen, um Korrosionsschäden in den Destillationskolonnen und unerwünschte Einflüsse auf den Destillationsvorgang zu vermeiden. Um auch unverhofft eintretende höhere Salzgehalte im angelieferten Rohöl prozessmäßig zu beherrschen, wird der Entsalzungsprozess anstelle einer prinzipiell möglichen einstufigen Entsalzung als zweistufiges Verfahren ausgelegt. Das Verfahren enthält eine gewisse Redundanz, die im Bedarfsfalle genutzt werden kann.

15.4.3. Das Zuverlässigkeitsprinzip

Der dritte Faktor, von dem die Stabilität technologischer Systeme wesentlich abhängt, ist die Zuverlässigkeit der Arbeitsmittel. Die Zuverlässigkeit eines technischen Systems ist ein Ausdruck seiner Fähigkeit, seine Funktion unter festgelegten Bedingungen während einer bestimmten Zeitdauer zu erfüllen. Ein Ausfall des technischen Systems liegt dann vor, wenn Arbeitsgegenstände nicht mehr bearbeitet werden, aber auch dann, wenn die Bearbeitung nicht mehr den Qualitätsanforderungen entspricht.

Alle Maßnahmen, die der Stabilisierung technologischer Systeme über das Arbeitsmittel dienen, fassen wir unter dem Zuverlässigkeitsprinzip zusammen. Das Zuverlässigkeitsprinzip gewinnt im Zusammenhang mit den immer komplexer werdenden Produktionssystemen ständig an Bedeutung. Das gilt insbesondere für kontinuierliche automatisierte Produktionsprozesse, wo der Ausfall eines Teilsystems erhebliche Auswirkungen auf das technologische Gesamtsystem hat. Die Zuverlässigkeit technischer Systeme ist ein komplexes Problem, das von der Zuverlässigkeitstheorie untersucht wird.

Besondere Bedeutung für die Sicherung der Funktionsfähigkeit technischer Systeme besitzt das *Redundanzprinzip*. Systeme mit Redundanz enthalten zusätzliche Funktionsgruppen oder Bearbeitungsmaschinen, die bei Ausfall von Anlagenteilen deren Funktion übernehmen und damit die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems erhalten. In der Weltraumtechnik und in der Luftfahrt hat das Redundanzprinzip weite Verbreitung gefunden. Aber auch in der chemischen Industrie und in der Energietechnologie ist es zu finden.

Die allgemeine Nutzung des Redundanzprinzips ist vor allem ein ökonomisches Problem. Man wird sich dann für Redundanzschaltungen entscheiden, wenn der durch die redundanten Funktionsgruppen und -systeme entstehende Mehraufwand durch die erhöhte Verfügbarkeit und damit Produktivität des Gesamtsystems zumindest kompensiert wird.

Ein anderer Weg der Zuverlässigkeitssicherung technischer Systeme sind systematische und planmäßige *Instandhaltungsmaßnahmen*.

15.5. Technologische Prinzipien der Prozessflexibilisierung

Die hohe Dynamik der technischen Entwicklung in der wissenschaftlich-technischen Revolution prägt zunehmend Produktionsbedingungen aus, die durch schnell wechselnde Marktanforderungen, zunehmende Erzeugnisvielfalt, steigende Qualitätsanforderungen, kurze Innovationszeiten und hohe Erneuerungsraten gekennzeichnet sind. Damit gewinnen solche Gestaltungsprinzipien in der Technologie an Bedeutung, die es ermöglichen, technologische Systeme innerhalb bestimmter Grenzen flexibel zu gestalten.

Unter *Flexibilität* verstehen wir im Hinblick auf Produktionsprozesse:

- die Möglichkeit einer schnellen, mit geringem Aufwand verbundenen Umstellung des technologischen Systems auf die Produktion weiterentwickelter oder neuer Erzeugnisse und Sortimente
- die variable Nutzung der vorhandenen Kapazitäten hinsichtlich der Anpassung an ein verändertes Produktionsvolumen und die wirtschaftliche Fertigung unterschiedlicher Losgrößen (letzteres in der verarbeitenden Industrie)
- schnelle Änderung des Erzeugnisdurchlaufs bei auftretenden Störungen.

Die flexible Gestaltung der Produktionsprozesse ist insbesondere im Zusammenhang mit komplexen Automatisierungslösungen zu einer grundlegenden Aufgabe geworden. Die Automatisierungskonzepte, wie sie für die Großserien- und Massenfertigung angewandt werden, sind für Klein- und Mittelserienfertigung, die im Maschinenbau und in der verarbeitenden Industrie über 50% des Produktionsanteils ausmachen, nicht anwendbar. Die Lösung wurde in der Konzeption flexibler Fertigungssysteme gefunden, die bestimmte, universell anwendbare Prinzipien repräsentieren und deren technische Realisierung durch mikroelektronische Steuerungssysteme möglich wurde.

Insgesamt ist die Flexibilität ein wesentliches Charakteristikum moderner technologischer Systeme. Sie wird durch Prinzipien der Prozessflexibilisierung ermöglicht und gefördert. Im Einzelnen unterscheiden wir drei Gruppen:

- das Substitutionsprinzip
- das Anpassungsprinzip
- das Baueinheitenprinzip.

15.5.1. Das Substitutionsprinzip

Das Substitutionsprinzip verfolgt das Ziel, Möglichkeiten aufzudecken, wie unter Beibehaltung der Prozessbedingungen und der technischen Ausrüstungen die Austauschbarkeit von Ausgangsmaterialien (Rohstoffe, Werkstoffe) und Operationsenergie (Energieträger, Energiearten) für die Herstellung eines bestimmten Produkts erreicht werden kann. Des Weiteren erfasst es Möglichkeiten, wie aus im Wesentlichen gleichartigen Arbeitsgegenständen bei sonst konstanten Bedingungen des technologischen Systems die Palette der zu erzeugenden Produkte variierbar zu gestalten ist. Wirkungen dieses Prinzips sind die Verbesserung der Versorgungssicherheit mit Ausgangsmaterialien, Erhöhung der Produktqualität und Senkung des ökonomischen Aufwands.

In der *stoffformenden Produktion* hat das Substitutionsprinzip in der *Gruppentechnologie* seine klassische Ausprägung erfahren. Sie ermöglicht, die Vorteile der in der Großserien- und Massenproduktion herrschen-

den Typentechnologie mit hochspezialisierter Fließproduktion in bedeutendem Umfang auch auf die Serienfertigung mit geringen Stückzahlen zu übertragen. Die Grundlage dieser Methode beruht auf einer Zusammenfassung formähnlicher Produkte nach konstruktiven und technologischen Gesichtspunkten zu einer Gruppe, die dann nach einer einheitlichen Technologie, mit der gleichen Maschinenausrüstung und im wesentlichen gleichartigen Maschineneinstellungen bearbeitet werden können. Bei der Gruppenbildung der nach der Gruppentechnologie herzustellenden Erzeugnisse wird von den Grundabmessungen der Fertigteile, der Ähnlichkeit ihrer geometrischen Form, der Gemeinsamkeit der zu bearbeitenden Flächen, den zu fordernden Toleranzen, der Oberflächengüte u. a. ausgegangen. Die Gruppenmerkmale gestatten dann die Ausarbeitung einer einheitlichen Technologie mit hochproduktiven Bearbeitungsmethoden unter Verwendung gleichartiger, schnell umrüstbarer Maschinen und Ausrüstungen.

Im *Transportwesen* entspricht die *Containertechnologie* dem Substitutionsprinzip. Durch den Einsatz international genormter Container, die die verschiedenartigsten Transportgüter aufnehmen können, ist es möglich geworden, stabile Transportketten mit typisierter Technologie und einheitlicher Transport- und Umschlagausrüstung aufzubauen. Sie weisen alle ökonomischen Vorteile von kontinuierlichen Produktionsprozessen auf und sind von der Art der Transportobjekte weitgehend unabhängig.

In der *chemischen Produktion* stützt sich das Substitutionsprinzip auf die Eigenart stoffwandelnder Produktionsprozesse, dass durch sie bestimmte Produkte aus sehr unterschiedlichen Ausgangsstoffen erzeugt werden können. So kann man Schwefelsäure aus Elementarschwefel, aus Anhydrit, aus Pyrit und auch aus schwefelhaltigen Abgasen gewinnen. Ammoniak als wichtiger Ausgangsstoff für Stickstoffdüngemittel kann sowohl aus Synthesegas auf Braunkohlenbasis wie aus Erdgas hergestellt werden. Die Ausgangsstoffe für die Kautschuksynthese können über das Kalziumkarbid, aus Erdgas, aus Erdöl und auch über Äthanol gewonnen werden.

Auf diese Weise lässt sich bei gleichbleibender Erzeugnisstruktur in der chemischen Produktion der Ausgangsstoff in vielfältiger Weise variieren. Das ermöglicht es, auf Veränderungen in der Rohstoffbasis, auf Entwicklungstendenzen des Weltrohstoffmarktes und auch auf gesellschaftliche Erfordernisse hinsichtlich der Nutzung neuer Wirkprinzipien, des Umweltschutzes und der Erschließung neuer Rohstoffquellen schnell zu reagieren.

In der *Verpackungswirtschaft* erleben wir eine durch den technischen Fortschritt stimulierte ständige Verdrängungssubstitution traditioneller Verpackungsmittel durch neuartige. Aktuelle Beispiele sind die Ablösung von gläsernen Flüssigkeitsbehältern durch plast- oder aluminiumbeschichtete Papierbehälter (Milch, Obstsäfte) oder von Holzkisten durch Wellpappefaltschachteln.

Ein besonderer Aspekt des Substitutionsprinzips ist die Wiederverwendung von Altstoffen und Abprodukten als Sekundärrohstoffe, die im Sinne einer zunehmenden Umweltbewusstheit an Bedeutung gewinnt (vgl. Kapitel 18.5.) .

15.5.2. Das Anpassungsprinzip

Die Erzeugnisstruktur eines Produktionsprozesses lässt sich auch über die Variabilität des technologischen Prozesses selbst in gewissen Grenzen beeinflussen. Das ist dann der Fall, wenn bei unverändertem Einsatz von Arbeitsgegenständen und bei gleichbleibender technischer Ausrüstung unterschiedliche Produkte durch Veränderung der Prozessbedingungen hergestellt werden können.

Breite Anwendung findet das Anpassungsprinzip in den stoffwandelnden Produktionszweigen. Die Grundlage dafür bildet die in Stoffwandlungsprozessen grundsätzlich gegebene Möglichkeit, aus bestimmten Ausgangsstoffen durch Variation der Prozessbedingungen zu unterschiedlichen Endprodukten zu gelangen.

In chemischen Produktionsprozessen gilt das für alle jene Verfahren, die sich durch *Kuppelprodukte* in einem variablen Mengenverhältnis auszeichnen. Dazu gehören u. a. die Erdöldestillation, die pyrolytische Olefinproduktion, die Erzeugung substituierter Kohlenwasserstoffe und Synthesen aus Kohlenmonxid-Wasserstoff-Gemischen.

In der petrolchemischen Industrie zeigt sich dieser Trend in einem zunehmenden *Übergang von der Einproduktsynthese zur Vielproduktsynthese*, wobei in einer Reaktionsstufe gleichzeitig mehrere nutzbare Produkte in einem von den Reaktionsbedingungen abhängigen Mengenverhältnis anfallen. Damit wird eine große Variabilität des technologischen Systems erreicht, indem durch einfach zu realisierende Veränderungen in den Reaktionsbedingungen eine Anpassung der jeweils erzeugten Mengen der einzelnen Produkte an die

Bedarfslage möglich ist. Ein typisches Beispiel dafür ist die Methanchlorierung. Aus einem Gemisch von Methan und Chlor bilden sich während des Stoffwandlungsprozesses gleichzeitig Methylchlorid, Methylenchlorid, Chloroform und Tetrachlorkohlenstoff. Durch Veränderung der Molverhältnisse der Reaktionspartner lässt sich der Anteil der entstehenden Produkte in weiten Grenzen variieren (Tabelle 15.2.).

Temperatur (°C)	Molverhältnis Cl_2 / CH_4	Produktzusammensetzung (Mol-%) CH_3Cl	CH_2Cl_2	$CHCl_3$	CCl_4
440	0,5 : 1	62	30	7	1
440	1,1 : 1	37	41	19	3
440	1,7 : 1	19	43	33	4
440	2,0 : 1	11	35	45	9
440	2,3 : 1	5	29	52	14
440	3,0 : 1	3	15	53	29
440	3,3 :1	-	6	43	51
460	3,9 : 1	-	-	4	96

Tabelle 15.2. Reaktionsprodukte der Methanchlorierung bei variiertem Molverhältnis der Ausgangsstoffe

In anderen Fällen, z.B. bei Synthesen aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, bewirken unterschiedliche Reaktionsbedingungen (Temperatur, Druck) und selektiv wirkende Katalysatoren den gewünschten Reaktionsverlauf in Richtung auf das bevorzugte Produkt.

Bei der Stahlerzeugung lassen sich die Eigenschaften der zu erschmelzenden Stähle durch spezifische Zusatzstoffe ohne wesentliche Eingriffe in das technologische System in weiten Grenzen beeinflussen.

15.5.3. Das Baueinheitenprinzip

Das Baueinheitenprinzip ist im Maschinenbau entwickelt worden und hat dort vor allem die Funktion, durch die Standardisierung von Bauelementen, Baugruppen und Grundausrüstungen zu rationellen Produktionsprozessen zu kommen. Für die Technologie schafft das Baueinheitenprinzip die Voraussetzung für die Anpassung der Arbeitsmittel an die Vielfalt der Bearbeitungsaufgaben, gestattet die Umstellung technologischer Systeme auf veränderte Produkte mit vertretbarem ökonomischen Aufwand, sichert den problemlosen Austausch von Verschleißteilen und reparaturbedürftigen Baugruppen und bietet die Möglichkeit zur Erweiterung der technologischen Funktionen der technischen Ausrüstungen. Bei der Herstellung komplexer Erzeugnisse hat es sich vor allem dadurch bewährt, dass es den Einsatz vorgefertigter Baugruppen und Funktionsteile im Montagebereich ermöglicht. Inzwischen hat das Baueinheitenprinzip einen festen Platz auch in zahlreichen anderen Produktionszweigen gefunden, z.B. in der Elektrotechnik, in der Möbelindustrie und im Bauwesen.

Untersuchungen in chemischen Produktionsprozessen haben ergeben, dass sie sich zu 80 bis 90% aus wiederkehrenden Verfahrensstufen (und damit wiederkehrenden Apparatetypen) zusammensetzen. Das Baueinheitenprinzip erlaubt den Austausch einzelner Elemente und Baugruppen bei Produktionsumstellung, aber auch bei notwendigen Instandhaltungsarbeiten. Bei den Werkzeugmaschinen hat das Baueinheitenprinzip zu Baureihen geführt, die durch den Einsatz austauschbarer Baugruppen den unterschiedlichsten technologischen Forderungen angepasst werden können.

Mit der Entwicklung flexibler Fertigungssysteme erreicht das Baueinheitenprinzip eine qualitativ neue Stufe. Diese Systeme bestehen aus flexibel miteinander verketteten Bearbeitungseinheiten, bei denen der Werkstückfluss und die Folge der Bearbeitungsvorgänge rechnergestützt variiert werden können. Solche flexiblen Fertigungssysteme enthalten neben den eigentlichen Bearbeitungseinheiten eine Reihe weiterer Systembaugruppen, wie Werkzeugwechseleinheiten, Transportroboter, Werkstückspeicher, Werkzeugmagazine, Spanneinheiten, Übergabestationen und Paletten. Alle diese Systemeinheiten müssen wie Elemente eines Baukastens zueinander passfähig und untereinander austauschbar sein. An den Schnittstellen müssen sie miteinander verknüpfbar (kompatibel) sein.

Die Entwicklungstendenz des Baueinheitenprinzips geht dahin, Maschinenstrukturen für flexible Fertigungssysteme auf dem Wege zur automatischen Fabrik zu entwickeln, die sich durch automatische Wechsel- und Ergänzungsmöglichkeiten nicht nur von Werkzeugen, Werkzeug- und Werkstückspanneinrichtungen aus-

zeichnen (wie jetzt schon realisiert), sondern auch Bewegungsführungen und Antriebe bis zu ganzen Maschinenbetten als austauschbare Elemente enthalten.

Literatur

15.1 Autorenkollektiv, Industrielle Produktionstechnik, Berlin 1979
15.2 F. Blume, Einführung in die Fertigungstechnik, Berlin 1975
15.3 G. Müller/L. Friedrich, Stabilität und Zuverlässigkeit von Fertigungsprozessen, Berlin 1977
15.4 H. Jahn, Allgemeine technologische Prinzipe, Wiss. Zeitschr. der Univ. Halle(Saale), 24(1975)G, Heft 3
15.5 E. Hartmann, Untersuchungen zu allgemeinen Verfahrensprinzipien in der stoffwandelnden Produktion, Dissertation A, Martin-Luther-Univ., Halle(Saale) 1979

VI. Teil – TENDENZEN DER TECHNOLOGIEENTWICKLUNG – STRATEGIEN UND PRINZIPIEN IHRER REALISIERUNG

16. Tendenzen, Strategien und Prinzipien der Technologieentwicklung

16.1. Triebkräfte und Fortschrittskriterien der Technologieentwicklung

Es gehört zum Wesen der Technologie, nie lange auf einem Entwicklungsniveau zu verharren. In ihrer Auseinandersetzung mit der Natur zur Sicherung ihrer materiellen Bedürfnisse haben die Menschen ständig neue wirksamere Methoden und verbesserte Mittel zur Bedürfnisbefriedigung erfunden und konstruiert. Zwar hat es in der Menschheitsgeschichte immer wieder Phasen scheinbarer Ruhe der Technikentwicklung gegeben, doch auch in diesen Zeiten wurden Technik und Technologie ständig, wenn auch in meist kleinen Schritten verbessert und effektiver gestaltet. Auf Zeiten allmählichen evolutionären Fortschritts folgten zwischenzeitlich Phasen stürmischer revolutionärer Entwicklung, die durch die schnelle Umwälzung der gesamten technischen Basis der Gesellschaft und der technologischen Produktionsweise gekennzeichnet waren (vgl. Tabelle 1.4. Technische Revolutionen). Gegenwärtig erleben wir eine Umwälzungsphase der Technikentwicklung, als deren charakteristische Merkmale wir die Entstehung eines strukturell neuen Techniktyps (der automatischen Maschinensysteme) und einer neuen technologischen Produktionsweise genannt hatten.

Die Breite und die Tiefe dieses Umwälzungsprozesses lassen die Frage aufwerfen, ob über diese grundlegenden Merkmale hinaus weitere allgemeine Prozesscharakterisierende Entwicklungslinien bestimmbar sind, die den komplexen Prozess durchschaubarer machen und das Wesen des Gesamtprozesses tiefer erfassen lassen.

Technikentwicklung vollzieht sich ganz wesentlich im Spannungsfeld von gesellschaftlichen Anforderungen, individuellen Bedürfnissen und technischen sowie wirtschaftlichen Möglichkeiten. Dabei sind insbesondere gesellschaftliche und individuelle Bedürfnisse zur Überwindung von Engpässen hinsichtlich einer ausreichenden Produktmenge, Produktpalette und Produktqualität, hinsichtlich verfügbarer Rohstoffressourcen, von Produktionskapazitäten oder auch der Produktivität von Produktionsprozessen Ausgangspunkt für technische Neuerungsprozesse. Sie sind entscheidende Triebkräfte der Technikentwicklung.

Aus diesem Beziehungsgefüge von Gesellschaft, Wirtschaft und Technik lassen sich tragende *Fortschrittskriterien der Technikentwicklung* ableiten. Die immer vollkommenere Funktionserfüllung neuer Technik, die höheren Leistungsparameter gegenüber der herkömmlichen Technik und das immer bessere Aufwand-Nutzen-Verhältnis sind zweifelsohne Kriterien, die zu allen historischen Zeiten Maßstab für den Technikfortschritt waren. Neben solchen technisch und wirtschaftlich bestimmten Wertungsgrößen waren aber auch immer - entsprechend dem gesellschaftlichen Charakter der Technik - aus übergeordneten gesellschaftlichen Interessen und Zielstellungen abgeleitete Kriterien für die Bewertung des Technikfortschritts maßgebend. Für verschiedene historische Epochen können sie durchaus sehr unterschiedlich sein, weil die Zielstellungen der jeweiligen Gesellschaftsordnung die Art und den Umfang der realisierbaren Bedürfnisse bestimmen.

Die Fortschrittskriterien für die Technikentwicklung erwachsen im Einzelnen aus den jeweiligen, historisch bestimmten Zielsystemen von Technik und Technologie. Die allgemeinste Zielsetzung der Technik besteht in der Existenzsicherung und fortschreitenden Existenzerleichterung des Menschen und der menschlichen Gesellschaft. Nach HÖLZL (Lit. 16.1., S.90 ff.) lässt sie sich in drei wesentliche Subziele untergliedern:

- technische Ziele
- wirtschaftliche Ziele
- gesellschaftliche Ziele.

Das *technisch-technologische Zielsystem* strebt eine optimale Funktionserfüllung des technischen Produkts in Form eines *Gebrauchswertes* an, der bei gegebenem technischen Aufwand hinsichtlich der Art und Menge des eingesetzten Materials, der Operationsenergie und an technischen Mitteln erreicht werden kann. Das technische Wirtschaftlichkeitsprinzip lässt sich nach HÖLZL als Streben charakterisieren, "innerhalb der naturgesetzlich gegebenen Grenzen das Maximum an technischem Output funktioneller, struktureller und konstruktiver Art zu erreichen" (Lit. 16.1., S.93).

Das *techno-ökonomische Zielsystem* wertet Technikeinsatz und Technikentwicklung unter dem Aspekt des Marktes, das heißt unter dem kaufmännischen Gesichtspunkt des *Tauschwertes*. Es strebt den monetären Erfolg an, der sich in der Aufwand-Nutzen-Relation ausdrückt. Mit einem Minimum an Kosten (Aufwand) soll ein möglichst hoher monetärer Ertrag (Nutzen) erreicht werden. Der Tauschwert wird sehr wesentlich durch die jeweilige Angebots- und Konkurrenzsituation im Marktgeschehen auf den Binnenmärkten wie auch den Außenmärkten (Exportfähigkeit der Produkte) beeinflusst und kann deshalb schnellen und großen Schwankungen unterliegen..

Das *sozio-ökonomische Zielsystem* hat den *Nutzwert* im Sinne politischer, ökologischer, ethischer u. ä. Ziele zum Inhalt. Die Realisierung dieser Ziele kann vorwiegend nur durch den Einsatz politischer Mittel erfolgen. Hier geht es vor allem um die sich aus der Technik- und Technologieentwicklung ableitende Beeinflussung der Lebensgrundlagen der menschlichen Gesellschaft und der Lebensbedingungen der Menschen. Im Zentrum der politischen Ziele stehen gegenwärtig die Probleme einer gerechten Verteilung des durch die Technikentwicklung geschaffenen Reichtums sowohl innerhalb der einzelnen Volkswirtschaften als auch die Beseitigung der Disproportionen im so genannten Nord-Süd-Gefälle. Die ökologischen Ziele gegenwärtiger Technikentwicklung haben ein besonderes Gewicht gewonnen und betreffen vor allem die Sicherung der natürlichen Grundlagen der menschlichen Existenz, insbesondere die Erhaltung des ökologischen Gleichgewichts im Verhältnis von Technik und Umwelt angesichts der globalen Wirkungsmöglichkeiten der modernen Produktivkräfte und der ins Gigantische gewachsenen Ausbeutung der Rohstoff- und Energieressourcen sowie die Eingriffe in die Biosphäre.

Diese Kriterien der Technikentwicklung bestimmen ganz wesentlich die Grundrichtungen des gegenwärtigen Technikfortschritts. Wir bezeichnen sie als Entwicklungstendenzen der materiellen Produktivkräfte in der wissenschaftlich-technischen Revolution.

Diese allgemeinen Richtungen der Gesamtentwicklung charakterisieren zugleich die sich herausbildende neue technologische Produktionsweise. Als wesensbestimmende Merkmale und Erscheinungen dieses Umwälzungsprozesses hatten wir bereits die Entstehung eines neuen Techniktyps und typische Schlüsseltechnologien genannt (s. Kap. 4.2. und 4.3.). Als weitere Prozessbestimmende Erscheinung benennen wir nun die Existenz charakteristischer Entwicklungstendenzen der technologischen Prozessgestaltung, die sich aus den grundlegenden Forderungen an die Weiterentwicklung der Produktionsprozesse - eben den Fortschrittskriterien für die gegenwärtige Technikentwicklung - ableiten.

Die neue technologische Produktionsweise wird deshalb auch dadurch gekennzeichnet, dass zu den bisher überwiegend technisch und ökonomisch orientierten Bewertungsmaßstäben (z.B. Produktivitätsfortschritt, Qualitätsfortschritt) zunehmend weitere Kriterien treten, an denen der technische Fortschritt zu messen ist. Solche Kriterien ergeben sich vor allem aus den gesamtgesellschaftlichen und globalen Wirkungen der wissenschaftlich-technischen Revolution. So haben die schnell wachsenden Dimensionen der Produktion zu einem riesig anwachsenden Bedarf an Rohstoffen und Primärenergieträgern geführt, der zu gravierenden Ressourcenengpässen bis hin zu einer absehbaren Erschöpfung bestimmter Naturressourcen geführt hat. Deshalb ist die Forderung nach material- und energiesparenden Technologien und die Überwindung der Ressourcenvergeudung eine grundlegende Orientierung für die künftige Technik- und Produktionsentwicklung.

In engem Zusammenhang mit dieser Notwendigkeit steht die Forderung nach der grundlegenden Veränderung des Verhältnisses von Produktion und Umwelt. Menschliche Produktion bedeutet immer Eingriff in die Natur, denn sie ist letzten Endes Aneignung der Natur zur Befriedigung der materiellen Bedürfnisse des Menschen. Über den größten Teil der Menschheitsgeschichte hinweg haben diese Eingriffe das dynamische Gleichgewicht der natürlichen Prozesse nicht ernsthaft bedroht. In der Gegenwart aber haben die Produktivkräfte ein solches Ausmaß und eine solche Potenz erreicht, dass die technogenen Eingriffe in die Natur globale Ausmaße angenommen haben. Sie beschwören die Gefahr irreversibler Störungen des ökologischen Gleichgewichts der Natur herauf und bedrohen die Existenz des menschlichen Lebens auf der Erde überhaupt. Die weitere Entwicklung der Technik und der mit ihr betriebenen Produktionsprozesse muss deshalb Kriterien unterworfen werden, die die ökologische Gestaltung der Technik - Umwelt - Beziehungen garantiert.

16.2. Entwicklungstendenzen der Technologie

Die Darlegungen unter 16.1. zusammenfassend, lassen sich die *Entwicklungstendenzen von Technik und Technologie* im wissenschaftlich-technischen Fortschritt als allgemeine Grundrichtungen der progressiven Veränderung und Weiterentwicklung der materiellen Produktivkräfte verstehen, denen sie unter dem Einfluss der gegenwärtig wirkenden Fortschrittskriterien der Technik unterliegen. Sie spiegeln den qualitativen und quantitativen Wertzuwachs der sich entwickelnden technischen und technologischen Systeme wider.

Diese Entwicklungstendenzen sind allgemeiner Natur. Sie sind nicht an bestimmte Produktionszweige oder Produktionsprozesse bzw. an bestimmte Klassen technischer oder technologischer Systeme gebunden. Sie sind ganz allgemein im Gesamtbereich von Technik und Technologie aufzufinden und nachweisbar, wenn auch mit gewissen Differenzierungen und in unterschiedlichen Erscheinungsformen.

Bei aller Vielfalt im Detail, die den wissenschaftlich-technischen Fortschritt im Bereich der materiellen Produktivkräfte kennzeichnet, vollzieht sich der Gesamtprozess in einer überschaubaren Zahl grundlegender Entwicklungsrichtungen. Es handelt sich um *objektive Trends* der Weiterentwicklung von Technik und Technologie. Die einzelnen Trends erfassen dabei nicht nur die technisch-technologische Seite der Veränderungen. Sie sind immer auch mit charakteristischen ökonomischen und sozialen Wirkungen verbunden.

Es lassen sich folgende allgemeine Trends der Technologieentwicklung angeben:

- Entwicklungstrends der Prozessintensivierung
- Entwicklungstrends der rationellen Materialnutzung
- Entwicklungstrends der rationellen Energienutzung
- Entwicklungstrends zur Ökologisierung von Produktionsprozessen.

Die allgemeinen Entwicklungstendenzen von Technik und Technologie setzen sich keinesfalls im Selbstlauf durch. Ihre Realisierung ist kein linearer, sondern ein in hohem Maße widerspruchsvoller Prozess. Das hat zwei wesentliche Ursachen. Zum ersten ergibt sich aus der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Determiniertheit der Technik, dass sich die einzelnen Tendenzen nicht bis zum technisch möglichen Maximum durchsetzen, sondern nur bis zu dem wirtschaftlich vertretbaren und gesellschaftlich gewollten Optimum. Zum zweiten ergeben sich zwischen einzelnen Tendenzen widersprüchliche, z. T. sich negativ beeinflussende Wirkungen, so dass sie sich gegenseitig einschränken oder sogar aufheben können.

16.3. Strategien und Realisierungsprinzipien

Es ist ein Verdienst der Wissenschaft Technologie, dass sie nicht nur eine Reihe allgemeiner Tendenzen der gegenwärtigen Technik- und Technologieentwicklung aufgedeckt hat, sondern auch gezeigt hat, welche Möglichkeiten ihrer bewussten Gestaltung bestehen. Dazu bedient man sich bestimmter technologischer Strategien und Realisierungsprinzipien.

Unter *Strategien der Technikentwicklung* verstehen wir unter Berücksichtigung der jeweils aktuellen Fortschrittskriterien der Technik entwickelte Verhaltenspläne, um bestimmte Trends der Technik- und Technologieentwicklung zu verwirklichen. So kann der Trend zur rationellen Materialnutzung beispielsweise durch Strategien für Einsatz höherveredelter Werkstoffe, für die Materialsubstitution, für die umfassende Nutzung von Sekundärrohstoffen oder für den Einsatz der Mikroelektronik bewusst und planmäßig gestaltet werden.

Die einzelnen Strategien werden über ganz charakteristische technische und technologische Prinzipien - die *Realisierungsprinzipien* - umgesetzt. Wir definieren sie als reale technische bzw. technologische Lösungswege für die angestrebte Entwicklungstendenz entsprechend den konkreten Bedingungen.

Für jede Strategie sind in der Regel mehrere solcher Realisierungsprinzipien bekannt. So lassen sich für die Strategie zur Verkürzung technologischer Ketten (vgl. 17.6.) z.B. das Prinzip der Substitution von Arbeitsgegenständen, das Prinzip des Übergangs zu neuen technologischen Wirkprinzipien und das Prinzip der Verfahrensintegration als Realisierungsprinzipien angeben. Hierin zeigt sich ein weiteres Mal das Spezifikum der Technik, dass es für jedes technisches Problem eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten gibt.

Die einzelnen Realisierungsprinzipien können umgekehrt vielfach auch für verschiedene Strategien genutzt werden.

Literatur

16.1 J. Hölzl, Allgemeine Technologie, Wien 1989
16.2 L. Abicht, Entwicklungstendenzen der rationellen Energieanwendung im wissenschaftlich-technischen Fortschritt, Diss. B, Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg 1987
16.3 J. Kramer, Die Entwicklung der stofflichen Arbeitsgegenstände im Rahmen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, Diss. B, Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg 1983
16.4 E. Hartmann, Technologische Entwicklungstendenzen zur Ökologisierung der Produktion im wissenschaftlich-technischen Fortschritt, Diss. B, Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg 1986

17. Technologische Prinzipien der Verfahrensintensivierung

17.1. Prinzipien der Verfahrensintensivierung

Die technologischen Prinzipien der Verfahrensintensivierung sind vor allem auf die Optimierung der einzelnen Elemente des technologischen Gesamtprozesses gerichtet und haben insbesondere die Beschleunigung des Verfahrensablaufs zur Verkürzung des Produktionszyklus oder zur Erhöhung des Produktausstoßes zum Ziel.

Prinzipiell lässt sich eine solche Zielsetzung erreichen durch:

- die Aktivierung des Arbeitsgegenstandes
- die Erhöhung der Energiedichte an der Wirkstelle
- die Nutzung neuartiger Wirkprinzipien
- die Vergrößerung der aktiven Flächen
- die Verkürzung der technologischen Kette.

Alle diese die Beschleunigung des Verfahrensablaufs bewirkenden Prinzipien zur Verfahrensintensivierung stehen in enger Wechselwirkung miteinander und treten häufig gekoppelt auf.

17.2. Aktivierungsprinzip

Das Aktivierungsprinzip nimmt die eingesetzten Werkstoffe und Rohstoffe zum Ausgangspunkt der Erhöhung der Bearbeitungs- bzw. Umsetzungsgeschwindigkeit innerhalb des technologischen Gesamtprozesses. Wenn gegenwärtig auch noch keine theoretisch fundierte Verallgemeinerung der charakteristischen Merkmale dieses Prinzips, seiner allgemeinen Wirkungsbedingungen sowie seiner Einsatzbereiche angegeben werden kann, so lassen sich doch einige typische Beispiele anführen. Es ist zu erwarten, dass das Aktivierungsprinzip zu einem wesentlichen Mittel der Beschleunigung technologischer Prozesse wird.

In der *chemischen Industrie* ist der Einsatz von Katalysatoren ein typisches Mittel der Prozessbeschleunigung. Ein wesentlicher Teil chemischer Großsynthesen, insbesondere im Bereich der organischen Technologien, ist ohne Katalysatoreinsatz nicht denkbar. Die katalytischen Prozesse erobern sich immer weitere Einsatzbereiche, wobei es nicht schlechthin um Katalysatoreinsatz sondern vielmehr um die Entwicklung wirksamerer Katalysatoren mit hoher Lebensdauer geht.

Neben dieser Möglichkeit der Prozessbeschleunigung gewinnen in jüngerer Zeit die mechanochemischen Prozesse (vgl. Kapitel 8.10.5.) zunehmend an Bedeutung. Durch intensives Zermahlen und Zerreiben gelingt es, die Ausgangsstoffe von Stoffwandlungsprozessen so zu aktivieren, dass die Umsetzungsgeschwindigkeit der chemischen Reaktion in bedeutendem Maße gesteigert werden kann. Die erhöhte Reaktionsfähigkeit der Reaktanden resultiert aus Gitterstörungen in der Oberflächenstruktur und dem damit verbundenen Energiezuwachs der Substanzen.

Es ist seit längerem bekannt, dass man Schwefelwasserstoff durch Magnetit (Fe_3O_4) binden kann. Aktiviert man Magnetit durch mechanische Bearbeitung in Schwingmühlen, so lässt sich die Menge des absorbierten Schwefelwasserstoffs um ein Mehrfaches vergrößern. Eine solche Intensivierung der Reaktionsfähigkeit des Magnetits ermöglicht eine wesentlich bessere Reinigung von Synthesegasen in der chemischen Industrie, was für die folgenden katalytischen Synthesen (Schwefelwasserstoff ist ein Kontaktgift) und für die Umweltentlastung von erheblicher Bedeutung ist.

Bei der Herstellung hochfeuerfester Baustoffe für Ofenausmauerungen lässt sich die Sinterzeit und die Sintertemperatur herabsetzen, wenn die dabei einzusetzenden Metalloxide vorher mechanisch aktiviert werden. Zugleich erhöht sich die Festigkeit der entstehenden Sinterprodukte um ein Mehrfaches.

Diese Beispiele zeigen, dass in zahlreichen Fällen Feststoffe durch mechanische Bearbeitung beträchtlich aktiviert werden können. Die Bearbeitungsvorgänge laufen dadurch wesentlich schneller und zum Teil unter wesentlich günstigeren Bedingungen ab. Meist liegen auch die Qualitätsparameter der Produkte günstiger als bei nicht aktivierten Ausgangsstoffen. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass der energetische Wirkungsgrad der Aktivierungsprozesse noch sehr niedrig ist.

Aus der *landwirtschaftlichen Produktion* sind die Verfahren des Vorkeimens und des In-Keimstimmung-Bringens dem Aktivierungsprinzip zuzuordnen. So werden Kartoffeln früher Sorten Licht- und Wärmewirkung ausgesetzt, um die Keimung bereits vor dem Einbringen in den Boden künstlich einzuleiten. Ein solches Vorkeimen verkürzt die Vegetationsperiode und verlegt den Erntezeitpunkt vor.

Wintergetreide erfährt durch Kältereize am Beginn der Vegetation eine Entwicklungsbeschleunigung von 2 bis 3 Wochen (Jarowisation). Halbgequollene Samen von Wintergetreide werden bei guter Sauerstoffversorgung etwa 2 Wochen einer Temperatur von $+2^{\circ}C$ ausgesetzt. Sie reifen dann bei Frühjahrsaussaat ebenso schnell wie Sommergetreide.

Bei Zierpflanzen lassen sich die Blühzeit und die Blühdauer durch dosierte, bestimmte Stoffwechselprozesse aktivierende Wärmeeinwirkung, Belichtungssteuerung und Einsatz von Wachstumsstimulatoren genau ansteuern.

17.3. Erhöhung der Energiedichte an der Wirkstelle

Die Effektivität eines Bearbeitungsverfahrens wird neben den Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans und den Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes ganz wesentlich auch durch die energetischen Wirkbedingungen bestimmt. Dabei ist nicht die absolut aufgewendete Energiemenge der bestimmende Faktor, sondern vielmehr die Konzentration der Wirkenergie (die Energiedichte) an der Wirkstelle des Arbeitsgegenstandes.

Das Prinzip der Erhöhung der Energiedichte an der Wirkstelle ist deshalb eine in allen Produktionszweigen beobachtbare Realisierungsform der Verfahrensbeschleunigung. Trotz zahlreicher bereits praktizierter Lösungen breitet sich dieses Prinzip ständig weiter aus.

Unter Energiedichte an der Wirkstelle verstehen wir im technologischen Sinn die auf die Flächeneinheit des Arbeitsgegenstandes konzentrierte und seine Veränderung herbeiführende Wirkenergie.

Das Prinzip der Erhöhung der Energiedichte hat deshalb eine so gravierende Bedeutung, weil es zu einer wesentlichen Steigerung der Produktivität des technologischen Prozesses führt. Das ist vor allem darin begründet, dass die Bearbeitungsvorgänge zeitlich wesentlich verkürzt werden und zugleich der spezifische Energiebedarf sinkt.

Als charakteristisches Merkmal dieses Prinzips kann gelten, dass die zugeführte Energie nicht schlechthin als Wirkenergie fungiert, sondern in zunehmendem Maße unmittelbares Arbeitsmittel wird.

Bei allen diesen Verfahren darf allerdings nicht übersehen werden, dass die einzelnen Realisierungsprinzipien jeweils nur in bestimmten Einsatzbereichen wirksam werden können.

In *Stoffformungsverfahren* kann die Erhöhung der Energiedichte an der Wirkstelle durch die sog. Hochenergie-Bearbeitungsverfahren erfolgen (Abb.17.1.). Bei der *Explosivumformung* werden die Druckwellen einer Explosion zur Umformung metallischer Werkstoffe ausgenutzt. Als Wirkmedium fungieren Wasser und Luft. Je nach den eingesetzten Explosivstoffen können Drücke zwischen 300 und 20 000 MPa erreicht werden. Der Umformvorgang selbst dauert nur wenigen tausendstel Sekunden. Bedeutsam ist, dass durch Explosivumformung hohe Oberflächengüte der Produkte erreicht und relativ komplizierte Formen mit hoher Maßgenauigkeit hergestellt werden können.

Ein weiteres Hochenergieverfahren ist die *Hochleistungs-Impuls-Umformung*. Zwischen zwei Elektroden wird eine Kondensatorladung (>10 kWs) in Form einer Funkenentladung freigesetzt. Das entstehende heiße Plasma erzeugt eine Druckwelle, durch die geeignet in Matrizen angeordnete Werkstücke umgeformt werden können. Als Übertragungsmedium dient meist Wasser (Unterwasser-Funken).

Auch beim *Magnetumformen* als einer Variante der Hochleistungs-Impuls-Umformung werden hohe Umformgeschwindigkeiten erreicht. Kurzzeitige Entladungsstromstöße, die von einem Kondensator über eine Spule ausgelöst werden, erzeugen ein zeitlich schnell veränderliches Magnetfeld und damit eine starke Kraftwirkung im elektrisch leitenden Werkstoff. Der die Umformung bewirkende Druck liegt zwischen 160 und 360 MPa. Das Verfahren zeichnet sich durch schnelle Wiederholbarkeit und genaue Druckregulierung entsprechend den Umformbedingungen aus.

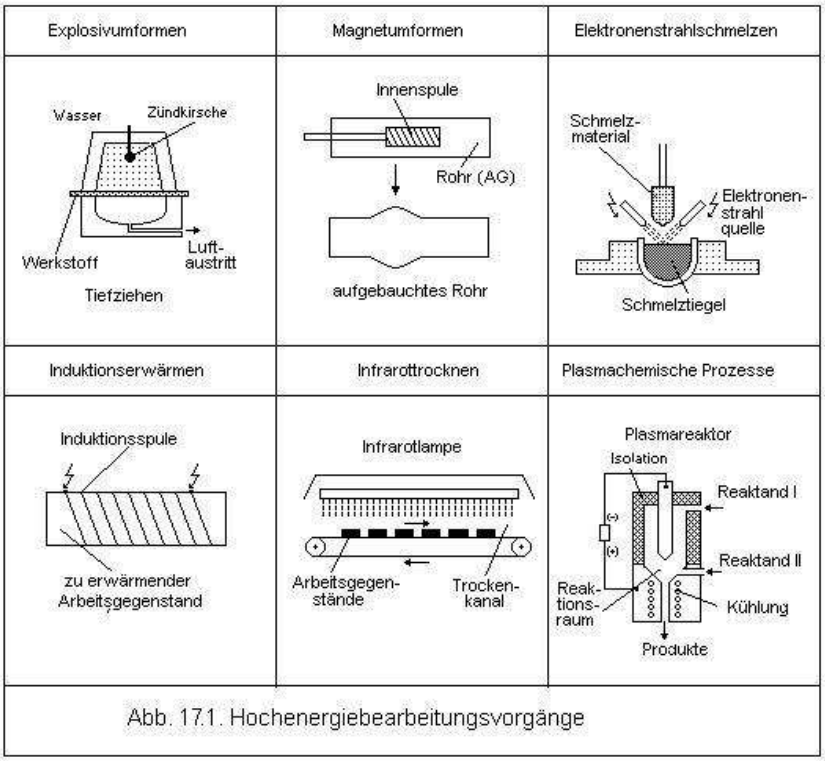


Abb. 17.1. Hochenergiebearbeitungsvorgänge

Der Trend zur Steigerung der Energiedichte hat insbesondere in der *Schweißtechnik* zur Anwendung einer Reihe neuer Verfahren geführt (Elektronenstrahlschweißen, Plasmaschweißen). Mit steigender Energiedichte an der Schweißstelle erhöht sich die Bearbeitungsgeschwindigkeit, verringert sich der spezifische Energieaufwand und steigt die Bearbeitungsqualität der Schweißnaht (Tabelle 17.1.). Die einzelnen Schweißverfahren ergänzen sich einander, jedes hat entsprechend seinen Besonderheiten seinen Platz in der Schweißtechnologie.

Schweiß-verfahren	Maximale Energiedichte (W / cm^2)	Minimaler Querschnitt (cm^2)	Erreichbare Temperatur in K	Relativer Energiebedarf
Autogenes Schweißen	10^3- 10^4	10^{-2}	3 500	100
Lichtbogen-schweißen	10^4- 10^5	10^{-3}	4 000-10 000	70
Plasmastrahl-schweißen	10^5- 10^6	10^{-3}	7 500- 50 000	20
Elektronenstrahl-schweißen	10^9	10^{-7}		1
Laserstrahl-schweißen	10^9- 10^{13}	10^{-7}	10 000 000	

Tabelle 17.1. Energiedichte und relativer Energiebedarf bei Schweißverfahren

Trocknungsverfahren für lackierte Werkstücke lassen sich durch Wärmeprozesse (Erhöhung der Energiedichte) wesentlich beschleunigen und produktiver gestalten. Beim Übergang von der herkömmlichen Konvektionstrocknung zur Infrarot-Strahlungstrocknung sinkt die Trocknungszeit in Abhängigkeit von der Art des Werkstücks ganz wesentlich, die Kosten sinken und der Durchlauf vervielfacht sich.

In der *Metallurgie* wird durch die Plasmaschmelztechnologie die Schmelzleistung bei Edelstählen gegenüber dem bisher üblichen Lichtbogenschmelzen wesentlich erhöht. Die Schmelztemperatur steigt dabei von 3600^0C auf 15 000^0C mit der Auswirkung, dass der spezifische Energieaufwand pro Tonne Edelstahl spür-

bar sinkt, die Schmelzleistung vergleichbarer Öfen um 30% steigt und die Arbeitsbedingungen sich verbessern.

In *Stoffwandlungsprozessen* erfolgt die Steigerung der Energiedichte vor allem durch Hochtemperaturprozesse und durch die Nutzung hochenergetischer Strahlungsenergie zur Aktivierung der Reaktanden. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die plasmachemischen und die strahlungschemischen Prozesse zu nennen (vgl. Kapitel 8.10.4.). In Plasmareaktoren werden die Reaktanden bei Temperaturen von mehreren 1000 K zur Reaktion gebracht. Dabei treten Reaktionszeiten von 10^{-3} bis 10^{-5} s auf, so dass die Verweilzeiten der Reaktanden im Reaktionsraum außerordentlich klein gehalten werden können. Das führt zu bedeutendem Stoffdurchsatz bei kleinen Reaktionsräumen. Für einen Plasmareaktor zur Methanpyrolyse von 25 000 jato Durchsatz wird die Größe seines zylindrischen Reaktionsraumes mit 65 cm Länge und 15 cm Durchmesser angegeben. An die Konstruktionswerkstoffe für Plasmareaktoren werden allerdings extreme Anforderungen gestellt, so dass hohe Werkstoffkosten bei relativ geringen Standzeiten anfallen. Für die Spaltung von Kohlenwasserstoffen im Plasmastrahl (Hauptprodukt Ethin) liegt der spezifische Energieaufwand 20 bis 30% geringer als bei den üblichen Verfahren.

Bei *Transportprozessen* zeigt sich das Prinzip der Erhöhung der Energiedichte insbesondere bei der Einführung immer leistungsfähigerer Antriebssysteme zur Erhöhung der Transportgeschwindigkeit und zur Senkung des spezifischen Energiebedarfs. Bei den Kolbenmotoren werden Leistungs- und Beschleunigungsvermögen durch Erhöhung der Kompression und der Verbrennungstemperatur sowie den Einsatz elektronischer Zündeinrichtungen und weitere technische Maßnahmen ständig verbessert. Im Luftverkehr mit seiner Tendenz zu höheren Fluggeschwindigkeiten und höheren Antriebsleistungen sind Kolbentriebwerke weitgehend durch Turbinen-Luftstrahl-Triebwerke (TL- Triebwerke) und Turbinen-Propeller-Triebwerke (PTL-Triebwerke) ersetzt. Für spezielle Aufgaben sind auch Staustrahl-Triebwerke und Raketentriebwerke im Einsatz.

Die Übertragung steigender Mengen von Elektroenergie bedient sich ebenfalls der Energieverdichtung, indem zunehmend höhere Übertragungsspannungen in den Übertragungsnetzen angewandt werden. Die weitgehend noch üblichen 110 und 220 kV Übertragungsspannung werden zunehmend durch 380 kV z. T. sogar 750 kV- Hochspannungsleitungen ergänzt. Damit werden sowohl die Übertragungsleistung erhöht als auch die Leitungsverluste gesenkt.

17.4. Nutzung neuartiger Wirkprinzipien

Zeiten technischer Umwälzungen waren immer auch durch die Erschließung und Nutzung neuartiger, bis dahin nicht bekannter technologischer Prinzipien zur Bearbeitung von Werkstoffen und Rohstoffen gekennzeichnet. Das trifft auch auf die gegenwärtige technologische Entwicklung zu. Gemeinsames Merkmal solcher revolutionierender Verfahren der Stoffbearbeitung auf der Basis neuer Wirkprinzipien ist, dass zunehmend nichtmechanische und nichtthermische Operationsenergien genutzt und stoffliche oder energetische Wirkmedien unmittelbar die Veränderung des Arbeitsgegenstandes bewirken.

Beispiele für die Nutzung neuer Formen der Operationsenergie und neuer Anwendungsformen von Wirkmedien sind:

- *Operationsenergie*

Elektroenergie	(Elektroerosionsbearbeiten)
	(Elektronenstrahlbearbeiten)
Strahlungsenergie	(Laserstrahlbearbeiten)
chemische Energie	(Ätzverfahren)

- *Wirkmedien*

hydraulische Wirkmedien	(Wasserstrahlbearbeiten)
pneumatische Wirkmedien	(Explosivumformen)
energetische Wirkmedien	(Magnetumformen)

Die technologischen Verfahren auf der Basis neuartiger Wirkprinzipien sind in vielen Fällen Verfahren der Hochenergie- und der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (Tab.17.2.).

Das Prinzip der Nutzung neuartiger Wirkprinzipien ist nicht nur schlechthin durch eine Beschleunigung der Bearbeitungsvorgänge charakterisiert, sondern meist mit der Umwälzung der gesamten Produktionstechno-

logie, mit grundlegenden Veränderungen der Arbeitsmittel und in vielen Fällen auch der Arbeitsgegenstände verbunden. Dieses grundlegende Realisierungsprinzip der Verfahrensintensivierung bewirkt deshalb nicht nur Veränderungen der Bearbeitungsvorgänge, sondern wirkt außerordentlich komplex auf alle Elemente des Produktionsprozesses. Der Übergang von traditionellen zu neuartigen Wirkprinzipien führt im Allgemeinen zu einem sprunghaften Ansteigen der Produktivität der betreffenden Verfahren. Das basiert zum einen auf der Beschleunigung der Bearbeitungsvorgänge, zum anderen aber auch auf der meist höheren Materialausbeute, auf verbesserter Produktqualität, sinkendem spezifischem Energieaufwand und auch verringertem spezifischen Aufwand an Maschinen und Ausrüstungen. Es vergrößert sich auch die Palette nutzbarer Werkstoffe (z.B. Einsatz hochfester Werkstoffe) und ermöglicht, hohe Bearbeitungsgenauigkeit und Oberflächengüte zu erreichen.

Wirkprinzip / Operationsenergie	Anwendungsbereich
Verfahren der Hochenergiebearbeitung	
Laserstrahlbearbeiten	Schneiden, Schweißen, Bohren Abtragen, Härten
Elektronenstrahlbearbeiten	Schweißen, Abtragen, Trennen, Löten, Umschmelzen
Plasmastrahlbearbeiten	Schneiden, Schweißen, Abtragen, Schmelzen
Verfahren der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung	
Hochgeschwindigkeitsumformen	Magnetumformen, Explosivumformen
Hochgeschwindigkeitstrennen	Wasserstrahlschneiden
Hochgeschwindigkeitsfügen	Walzplattieren, Explosionsplattieren
Hochgeschwindigkeitsverfahren zum Stoffeigenschaftsändern	Stoßwellenhärten, Stoßwellensintern

Tabelle 17.2. Übersicht zu revolutionierenden Verfahren der Stoffbearbeitung

In der *Werkstoffbearbeitung* zeigt sich das Prinzip in der immer breiteren Nutzung elektrophysikalischer, strahlungsenergetischer und elektrochemischer Wirkprinzipien. Die verschiedenartigsten Verfahren der elektromechanischen Werkstoffbearbeitung (Ultraschallbohren, Ultraschallschweißen, Ultraschallreinigen), der elektrothermischen Erwärmung (Induktionserwärmen, Elektronenstrahlschmelzen), der strahlungsthermischen Bearbeitung (Plasmastrahlschneiden, Laserschweißen, Laserhärten) und der elektrochemischen Metallbearbeitung (Elysiersenken, Elysierdrehen, Elysierschleifen) kennzeichnen diesen Entwicklungstrend.

Bei den *elektrochemischen Verfahren* der Metallbearbeitung (ECM-Verfahren) wird zwischen dem als Anode geschalteten Werkstück und dem als Kathode geschalteten Arbeitsorgan ein Elektrolyt gebracht, in dem das abzutragende Metall anodisch gelöst wird. Die Vielfalt der technologischen Möglichkeiten zur Durchführung von ECM-Verfahren ist aus Abb.17.2. ersichtlich. Im Vergleich zur mechanischen Bearbeitung besitzen sie in einer Vielzahl von Anwendungsfällen eine wesentlich höhere Produktivität, die Bearbeitungszeiten verkürzen sich um 80 bis 90%, die Werkzeugkosten sinken unter 10% des ursprünglichen Aufwands. Der Aufwand an lebendiger Arbeit sinkt ebenfalls beträchtlich.

Der *elektrotechnische und elektronische Gerätebau* wurde durch die Einführung des Tauch- und Fließlötens, durch Siebdruck- und Photoätztechnologien, durch Dünnschicht- und Festkörpertechnologien geradezu revolutioniert. Die Anwendung dieser neuen Wirkprinzipien machte die Massenproduktion komplexer mikroelektronischer Baugruppen (Mikroprozessoren, Magnetspeichersysteme) überhaupt erst möglich.

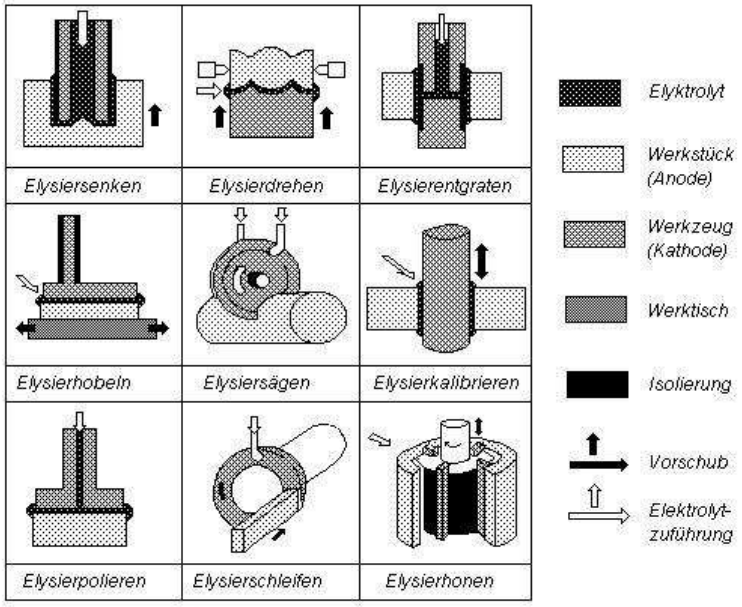


Abb. 17.2. Möglichkeiten elektrochemischer Metallbearbeitung

In der *Energiewirtschaft* konzentriert sich die Anwendung neuer Wirkprinzipien auf zwei wesentliche Bereiche. Zum einen geht es um die rationellere Ausnutzung der Primärenergieträger. Der Wirkungsgrad der Umwandlung von Primärenergie in Nutzenergie liegt in den traditionellen Wärmekraftwerken bei etwa 30% und auf der Grundlage der bisherigen Wirkprinzipien ist eine wesentliche Verbesserung des Wirkungsgrades nicht zu erreichen.

Ein anderer Weg ist die Energiedirektumwandlung. Sie strebt an, neue Energiequellen zu erschließen und deren Energie möglichst in einem einzigen Wandlungsschritt in Nutzenergie zu überführen. So ergeben sich durch die Nutzung strahlungsenergetischer Wirkprinzipien in Verbindung mit immer leistungsfähigeren und billigeren photoelektrischen Zellen zunehmend Möglichkeiten der wirtschaftlichen Direktumwandlung von Sonnenstrahlung in elektrischen Strom.

17.5. Vergrößerung der aktiven Flächen

Die bisher betrachteten Prinzipien der Verfahrensintensivierung waren vorwiegend technologischer Art. Die Bearbeitungszeit eines Arbeitsgegenstandes kann auch über die spezifische Gestaltung des Arbeitsmittels wesentlich beeinflusst werden. Der dabei einzuschlagende Weg besteht in der Vergrößerung der Wechselwirkungsgeschwindigkeit zwischen Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand oder in der Vergrößerung der wechselwirkenden Flächen. In beiden Fällen erhöht sich die in der Zeiteinheit erfolgende Veränderung des Arbeitsgegenstandes und bewirkt damit eine Verkürzung der Bearbeitungszeit. Beide Wege lassen sich in dem Prinzip der Vergrößerung der aktiven Flächen zusammenfassen.

Dieses Prinzip tritt ebenfalls in zahlreichen Erscheinungsformen auf.

Bei den *stoffformenden Bearbeitungsvorgängen* ist es einerseits mit dem Trend zur Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit verbunden (z.B. Schnelldrehen), oder es wird durch die Erhöhung der gleichzeitig auf den Werkstoff einwirkenden Arbeitsorgane realisiert (z.B. Vielspindelbohren).

In der *Pflanzenproduktion* ist bei den Bodenbearbeitungsverfahren, den Aussaat-, Pflege- und Ernteverfahren die Tendenz zur Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeiten erkennbar. Die noch vor wenigen Jahrzehnten üblichen Arbeitsgeschwindigkeiten der Maschinen in der Feldwirtschaft von 3 bis 5 km/h haben inzwischen 7 bis 9 km/h erreicht und weitere Veränderungen sind zu erwarten. Beim Pflügen verkürzen sich dadurch nicht nur die Bearbeitungszeiten, es verbessern sich auch das Wenden des Bodenbalkens, das Krümeln des Bodens und das Einarbeiten der Pflanzenreste, d.h. auch die Qualität der Bodenbearbeitung erhöht sich. Diese Wirkungen erfordern allerdings entsprechende konstruktive Änderungen an den Pflügen. Auch von der Bodenart hängt ab, wie weit die Arbeitsgeschwindigkeit gesteigert werden kann, ohne dass eine Verschlechterung der Qualität des Pflügens eintritt.

Analoges gilt für andere Bodenbearbeitungsverfahren wie Grubbern, Häufeln und Eggen.

Die gegenwärtig eingesetzten Arbeitsorgane der Sämaschinen lassen Arbeits-geschwindigkeiten bis 15 km/h zu, Mähwerke für die Grünfutterernte ermöglichen 8 bis 10 km/h und für die Getreideernte 10 bis 18 km/h.

Neben der Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit finden wir auch zahlreiche Formen der Vergrößerung der Zahl der gleichzeitig in Aktion befindlichen Arbeitsorgane. Sie zeigen sich im Trend zu größeren Arbeitsbreiten der Maschinen in der Feldwirtschaft, z.B. bei Schneidwerken der Mähdrescher, bei Aussaatmaschinen, Eggen und Grubbern. Die größere Arbeitsbreite ermöglicht die Anordnung einer höheren Zahl von Schermessern, Eggenzinken bzw. Saatleitungen, was einer Vergrößerung der gleichzeitig auf den Arbeitsgegenstand einwirkenden aktiven Flächen entspricht.

In den Anfängen ist eine Entwicklung, die die gesamte Bodenbearbeitung vom Pflügen über die Saatbettbereitung bis zur Aussaat in einem Arbeitsgang mit Bodenbearbeitungscombines komplex realisiert. Eine solche Combine vereinigt die für die einzelnen Bearbeitungsstufen notwendigen Teilsysteme. Die Vergrößerung der aktiven Flächen betrifft hier nicht gleichartige Arbeitsorgane, sondern den gleichzeitigen Einsatz traditionell nacheinander wirkender Systeme.

Bei den *stoffwandelnden Bearbeitungsvorgängen* lässt sich das Prinzip der Vergrößerung der aktiven Flächen dadurch realisieren, dass bei den in Wechselwirkung tretenden Arbeitsgegenständen

- die Oberfläche durch größeren Zerteilungsgrad der Reaktanden vergrößert wird,
- die Reaktionsgeschwindigkeit durch Temperaturerhöhung heraufgesetzt wird,
- die Konzentration der Ausgangsstoffe erhöht wird,
- die ständige Durchmischung der Reaktanden durch spezielle technische Einrichtungen (Positionierungsorgane) im Reaktionsraum intensiviert wird.

Für Mehrphasenprozesse (d.h. Reaktionen, in denen gasförmige, flüssige und feste Reaktanden umgesetzt werden) sind Reaktoren mit speziellen Einbauten, die als Positionierungsorgane wirken, geeignet, die reagierende Oberfläche der Reaktionsmasse zu vergrößern. Als Beispiele seien Siebbodenkolonnen und Füllkörperreaktoren genannt. Die Reaktionsböden haben die Aufgabe, die umzusetzenden Reaktanden intensiv zu durchmischen und eine möglichst große Reaktionsfläche zwischen ihnen auszubilden. Die Weiterentwicklung dieser Prozesse wird gegenwärtig durch die Konstruktion von Hochleistungsböden (Perform-Kontaktböden, Plattenböden) und die effektivere Formgebung bei den Füllkörpern bestimmt.

In Abbildung 17.3. wird an einem elektrochemischen Prozess veranschaulicht, wie durch eine veränderte Anordnung der Elektroden das Verhältnis der wirksamen Anodenfläche gegenüber dem Platzbedarf von Diaphragmazellen entscheidend verbessert und damit die aktive Oberfläche des Verfahrens vergrößert werden konnte.

Die *Wirbelschichttechnologie* kombiniert die erst- und letztgenannte Realisierungsmöglichkeit. Sie gestattet, eine Vielzahl von stoffformenden und stoffwandelnden Reaktionen mit höchster Effektivität durchzuführen. Durch sie wird eine Vergrößerung der reagierenden Oberfläche von feinverteilten körnigen, staubförmigen oder tropfenförmigen Reaktanden dadurch erreicht, dass eine gasförmige Phase durch einen Rost, durch Siebe oder Düsen in den Reaktionsraum gepresst und so das darauf lagernde Material intensiv durchmischt wird. Die aufwärts strömenden Gase halten das Material in der Schwebe und bauen eine Wirbelschicht auf, in der ein sehr intensiver Stoff- und Wärmeaustausch zwischen der Feststoff- und der Gaskomponente erfolgen kann.

Das gilt auch für das so genannte Doppelkontaktverfahren zur Schwefeltrioxidherstellung. Der Einsatz zusätzlicher Katalysatorschichten im Hordenkontaktofen erhöht die Ausbeute des Prozesses und vermindert die schädliche Emission des Schwefeldioxids in die Atmosphäre.

Das in den *Lebensmittel- und Waschmittelindustrien* bei der Herstellung von Milchpulver, löslichem Kaffee oder Waschpulver verbreitete Sprühtrocknen beruht ebenfalls auf der feinen Zerteilung des zu trocknenden Gutes

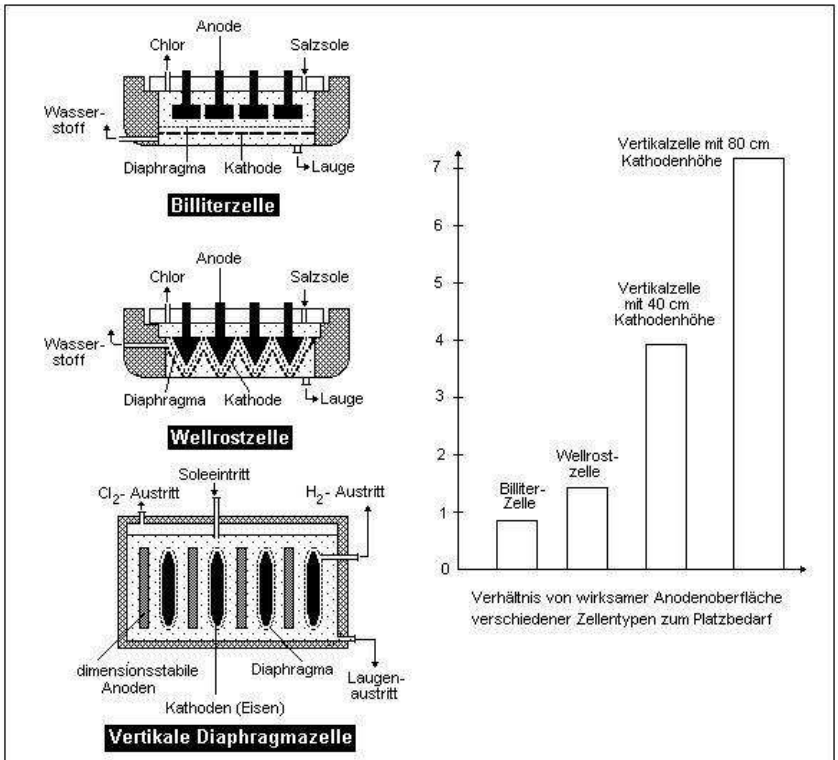


Abb.17.3. Vergrößerung der aktiven Flächen bei Diaphragmazellen

In der *Heizungstechnik* bietet die Wirbelschichtfeuerung die Möglichkeit, einen wesentlich höheren Wärmeübergang der Heizungsanlage gegenüber der traditionellen Rostfeuerung (Schüttel-, Dreh-, Wanderrost), eine raschere Verbrennung und damit auch den Einsatz von ballastreicher Kohle zu erreichen. Bei diesen Anlagen ist der Rost durch ein Sieb ersetzt. Mit der unter hohem Druck eingeblasenen Verbrennungsluft werden Druckverhältnisse geschaffen, die der körnigen Kohleschicht fluide Eigenschaften verleihen und über der Siebfläche ein Fließbett aufbauen (Abb.17.4.).

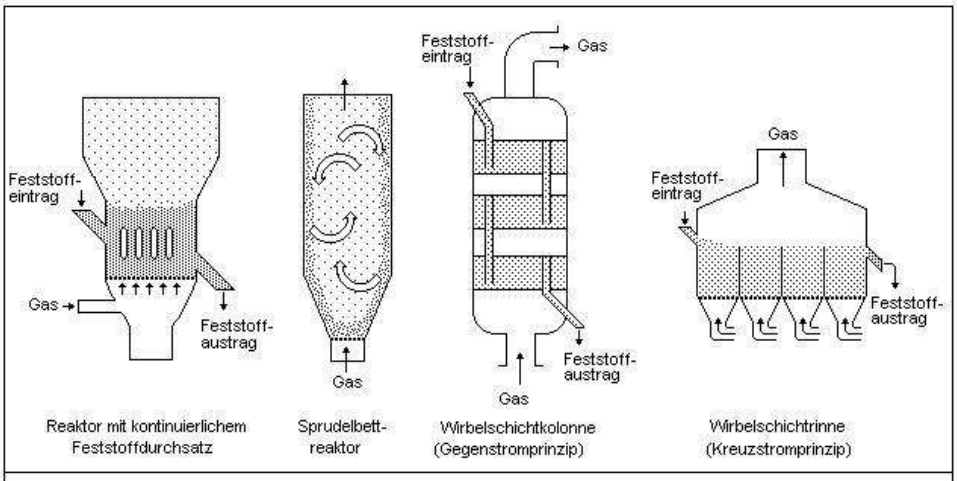


Abb.17.4. Realisierungsformen des Wirbelschichtprinzips

Wegen des höheren Wirkungsgrades dieser Technologie sinkt der spezifische Brennstoffverbrauch um 10 bis 15%. Ein weiterer Vorteil der druckaufgeladenen Wirbelschichtfeuerung liegt darin, dass im Feuerungsraum die Kohle und der zur Schwefelbindung beigemischte Kalkstein durch die eingeblasene Verbrennungsluft intensiv verwirbelt werden und der Schwefel bzw. das Schwefeldioxid vollständiger gebunden werden kann. Das macht eine aufwendige nachgeschaltete Rauchgasentschwefelung überflüssig.

17.6. Verkürzung der technologischen Kette

Unter dem Prinzip der Verkürzung der technologischen Kette verstehen wir Maßnahmen, die zu einer Verringerung der Zahl der nacheinander ablaufenden Bearbeitungsvorgänge oder zum Wegfall ganzer Stufen im Verfahrensablauf führen. Sie sind im Allgemeinen mit einer wesentlichen Veränderung des technologischen Gesamtsystems verbunden.

Prinzipielle Wege zur Erreichung dieses Ziels sind:

- der Übergang zu neuen Wirkprinzipien, die mehrere Bearbeitungsvorgänge oder ganze Verfahrensstufen erübrigen,
- der Einsatz neuer Arbeitsgegenstände (Werkstoffe, Rohstoffe, Energieträger), die eine rationellere Verfahrensführung ermöglichen,
- die Zusammenfassung mehrerer technologischer Grundvorgänge in einem Arbeitsmittel, wodurch sich zwar die Zahl der Bearbeitungsschritte nicht verringert, ihre gleichzeitige Durchführung den Verfahrensablauf jedoch zeitlich verkürzt.

Zur ersten Realisierungsform des Verkürzungsprinzips - *den Übergang zu neuen Wirkprinzipien* - nennen wir als Beispiel aus dem Bereich der Einzelteilherstellung in der metallverarbeitenden Industrie den Übergang vom Warm- zum Flüssigpressen (vgl. Kapitel 13.8.). Der Vergleich beider technologischer Schemata dieser Prozesse zeigt die Einsparung von Bearbeitungsschritten, die durch die Anwendung des neuen Wirkprinzips möglich ist.

Ähnliche Wirkungen werden durch die so genannten Genauigkeitsbearbeitungsverfahren erreicht. Zu ihnen gehören das Feingießen, das Präzisionsschmieden, das Kaltfließpressen und die Pulvertechnologie. Allen gemeinsam ist, dass die durch sie hergestellten Werkstücke eine hohe Maßgenauigkeit und eine hohe Oberflächengüte besitzen, so dass die Bearbeitungsschritte der Schlussphase zum großen Teile entfallen können. Die Feingußtechnologie ermöglicht z.B. die Herstellung kompliziert geformter Teile mit relativ geringer Masse (5 bis 2000 Gramm) und hoher Maßgenauigkeit (etwa 0,05 bis 0,4 mm im Nennmaßbereich von 6 bis 200 mm) sowie eine Oberflächengüte von etwa 15 µm Rauhigkeit. Sie wird vor allem im Fahrzeug- und allgemeinen Maschinenbau, im Büromaschinenbau, in der Elektrotechnik und in der Armaturenfertigung genutzt. In den traditionellen Verfahren mussten solche Werkstücke oft aus mehrstufig mittels spanender Verfahren bearbeiteten Einzelstücken montiert werden, die durch hohen Materialaufwand und eine Vielzahl einzelner Bearbeitungsschritte gekennzeichnet waren.

Auch in der chemischen Industrie ist die Nutzung neuer Wirkprinzipien oft mit der Verkürzung der technologischen Kette verbunden. Die Gegenüberstellung der technologischen Schemata der Fällungs- und der Lösungspolymerisation bei der Herstellung von Akrylnitrilfasern macht das deutlich (Abb.17.5.). Außer den erheblichen wirtschaftlichen Vorteilen weist das Produkt der Lösungspolymerisation auch eine höhere Qualität auf.

Zur zweiten Realisierungsform - *dem Einsatz neuer Werkstoffe und Rohstoffe* - lassen sich vielfältige Beispiele aus der Petrolchemie anführen. Die Petrolchemikalien ermöglichen es in vielen Fällen, die gewünschten Produkte gegenüber den aus Kohle erzeugten mit wesentlich kürzeren Verfahrenswegen und einem geringeren verfahrenstechnischen Aufwand zu produzieren.

Das *Zusammenfassen mehrerer Bearbeitungsvorgänge* in einem Takt finden wir bei der sog. Stufenumformung zur Herstellung von gefäßartigen oder stark gewölbten Massenartikeln (Haushaltsgeschirr, Glühlampenfassungen, Scheinwerfergehäuse u. ä.). Die Stufenumform-Automaten besitzen eine Reihe hintereinander angeordneter Werkzeuge und arbeiten im Durchlaufverfahren. Während Kochtöpfe traditionell in acht Stufen auf acht Einzelpressen nacheinander geformt wurden, geschieht das jetzt auf einer Maschine. Alle acht Werkzeuge stehen gleichzeitig im Eingriff und mit jedem Takt wird ein Topf fertig gestellt. In der Landwirtschaft wird dieser Weg der Verfahrensverkürzung bei der Feldbearbeitung häufig durch Maschinenkopplung genutzt, z.B. durch Kopplung von Pflug, Egge und Walze bei der Bodenbearbeitung.

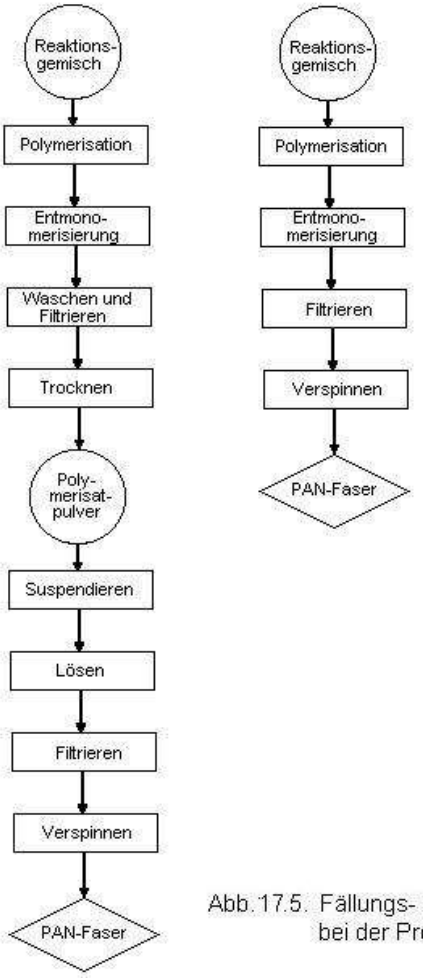


Abb. 17.5. Fällungs- und Lösungspolymerisation bei der Produktion von Akrylnitrilfasern

Literatur

17.1 E. Hartmann, Untersuchungen zu allgemeinen Verfahrensprinzipien in der stoffwandelnden Produktion, Diss. A, Martin-Luther-Univ. Halle- Wittenberg 1979

17.2 J. Hölzl, Allgemeine Technologie, Wien 1989

17.3 H. Jahn, Allgemeine technologische Prinzipe, Wiss. Zeitschr. der Martin-Luther-Univ. Halle, Bd.24 (1975), Heft 3

18. Strategien und technologische Prinzipien der rationellen Materialnutzung

18.1. Notwendigkeit und Hauptrichtungen rationeller Materialnutzung

Unter dem Begriff *Materialien* fassen wir hier alle jene Arbeitsgegenstände zusammen, die als stoffliche Komponente in die Erzeugnisse eingehen. Das sind vor allem Werkstoffe, Rohstoffe und Sekundärrohstoffe.

Die im Produktionsprozess eingesetzten Materialien bestimmen in zunehmendem Maße das technologische Niveau der Prozesse mit. Hochveredelte und neue Werkstoffe sind in vielen Fällen die Voraussetzung für material- und energiesparende Technologien, für die Verbesserung des Masse-Leistungs-Verhältnisses, für die Erhöhung der Lebensdauer und des Gebrauchswertes von Erzeugnissen. Die Mikroelektronik ist ohne hochgezüchtete Halbleitermaterialien undenkbar, die Lichtleitertechnik und die Optoelektronik setzen hochreine Spezialgläser voraus, moderne Fördergeräte und hochbeanspruchte Chemieanlagen können ohne hochveredelte Stähle nicht produziert werden. Neue Plast- und Elastmaterialien bilden die Werkstoffgrundlage für materialökonomisch vorteilhafte Technologien und Leichtbaukonstruktionen.

Werkstoffe und Rohstoffe haben maßgeblichen und ständig wachsenden Einfluss auf den Aufwand bei der Herstellung industrieller Erzeugnisse. Im Durchschnitt der Volkswirtschaft machen die Materialkosten 50 - 60% der Selbstkosten aus und sind damit der bedeutendste Kostenfaktor überhaupt. Dieser Anteil steigt in dem Maße weiter, wie der Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad der Produktionsprozesse anwächst (Tab.18.1.). Das resultiert vor allem daraus, dass der Anteil der lebendigen Arbeit mit zunehmender Mechanisierung und Automatisierung gesetzmäßig geringer wird. Hinzu kommen die in der Tendenz steigenden Rohstoff- und Werkstoffkosten.

Automatisierungsgrad	Materialkostenanteile	Erzeugnisbeispiele
automatisiert	90%	Normteile
	80%	Kugellager
mechanisiert	50%	Drehwerkzeuge
	25%	Besteckstangen
manuell	10%	Gesenkeinsätze

Tabelle 18.1. Anteil der Materialkosten an den Selbstkosten in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad

Es ist ein Gebot wirtschaftlicher Vernunft, den spezifischen Materialaufwand zur Erzeugung von Produktions- und Konsumgütern (d.h. den Aufwand an Ausgangsmaterialien pro Produkteinheit) möglichst gering zu halten und die eingesetzten Materialien verlustlos und vollständig auszunutzen. Hohe Materialökonomie bedeutet in jedem Falle die Verbesserung des Aufwand-Nutzens-Verhältnisses.

Neben den betriebswirtschaftlichen und gebrauchsbedingten Anforderungen an die Materialien spielen übergeordnete Gesichtspunkte der Weltressourcenwirtschaft und der Technik-Umwelt-Beziehungen eine immer bedeutsamere Rolle bei den Strategien zur rationellen Materialnutzung.

Das außerordentlich hohe Tempo des Produktionswachstums in der wissenschaftlich-technischen Revolution hat zu einem schnell ansteigenden Verbrauchsvolumen von Material und Energie geführt. Das globale Ausmaß dieses Prozesses wird deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass in den letzten 4 bis 5 Jahrzehnten mehr Rohstoffe gefördert und verbraucht wurden als in der gesamten vorherigen Menschheitsgeschichte. Diese Entwicklung führt für eine Reihe von Rohstoffen zu ernsten Engpässen und in absehbarer Zeit zu ihrer Erschöpfung, soweit es sich um nicht erneuerbare Ressourcen handelt, wie beim Erdöl und zahlreichen Buntmetallen. Wegen sinkender Lagerstättenqualität steigt der Förderaufwand für viele Rohstoffe weltweit. Hinzu kommt, dass sie über immer größere Entfernungen transportiert werden müssen.

Als weiteres wesentliches Argument für einen rationellen Umgang mit Rohstoffen und Werkstoffen ist schließlich der Zusammenhang von Rohstoffressourcenwirtschaft und Umweltzerstörung zu beachten. Die extensive Ausbeutung der Naturressourcen führt, wie am Beispiel der Bergbaufolgelandschaften, der Erdölfördergebiete und dem Raubbau am Regenwald besonders deutlich wird, zu weiträumigen Devastierungen großer Gebiete der Erde. Die steigende Umweltbelastung durch riesige und schnell weiter anwachsende Mengen von Produktions- und Konsumtionsabfällen zwingt zur Reduzierung der Abfallmengen und zugleich zur umfassenden Nutzung von Sekundärrohstoffen. Welche Potenzen hier noch zu erschließen sind, lässt

sich daraus erkennen, dass zahlreichen Literaturquellen zufolge gegenwärtig nur 2-4% der aus der Natur entnommenen Rohstoffe in Finalerzeugnisse eingehen, also 96-98% als Abfall und Abprodukte in den einzelnen Produktionsstufen zurückbleiben. Die systematische Erhöhung des Stoffausnutzungsgrades eröffnet deshalb eine riesige Rohstoffreserve, die es ermöglicht, trotz steigenden Produktionsvolumens die Naturstoffentnahme stark zu reduzieren.

Es gehört zu den zentralen Aufgaben der Technologie in der Gegenwart, Lösungswege für die mit der Materialwirtschaft verbundenen Probleme zu erarbeiten. Angesichts der grundlegenden Bedeutung des Sekundärrohstoffeinsatzes werden Werkstoffe und Erzeugnisse in zunehmendem Maße bereits unter dem Kriterium entwickelt und gestaltet, dass sie nach dem Verlust ihres Gebrauchswertes leicht recyclebar sind.

Wesentliche Strategien und Realisierungsprinzipien für den rationellen Materialeinsatz sind übersichtlich in Abb.18.1. zusammengestellt.

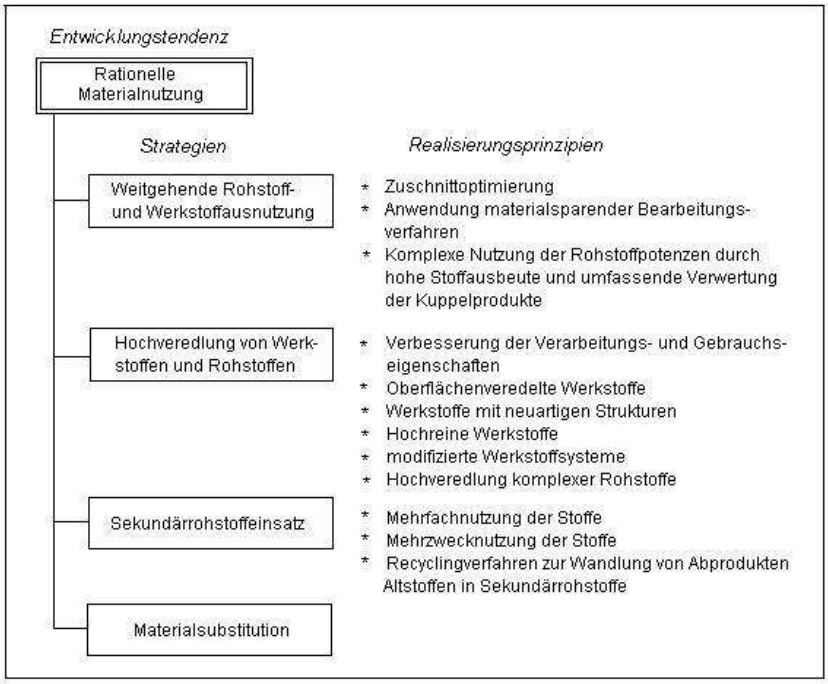


Abb. 18.1. Struktur der Entwicklungstendenz "Rationelle Materialnutzung"

18.2. Das Prinzip der vollständigen Werkstoff- und komplexen Rohstoffausnutzung

Der Materialaufwand ist in den stoffformenden und stoffwandelnden Industrien durch vielfältige technologische Maßnahmen beeinflussbar. Eine wesentliche Strategie zur rationellen Materialnutzung ist die möglichst vollständige Verwertung der im Produktionsprozess eingesetzten Materialien durch die maximale Stoffausnutzung und die Erhöhung der Stoffausbeute.

Ein wenig aufwendiges, aber sehr wirksames Prinzip ist die *Zuschnittoptimierung* in den verarbeitenden Industrien. Das Ab- und Ausschneiden von Blechteilen bestimmter Form und insbesondere mit ungeraden Schnittkanten erfordert bei der Großserien- und Massenfertigung gut durchdachte Lösungen und Spezialwerkzeuge. Optimale Schnittbilder lassen sich vor allem durch rechnergestützte Verfahren erreichen. Sie ermöglichen eine maximale Werkstoffnutzung und minimieren den Anteil des Abfalls (Abb.18.2.). Dieses Prinzip ist sowohl in der metallverarbeitenden Industrie wie auch in den plast-, holz- und textilverarbeitenden Produktionszweigen erfolgreich nutzbar.

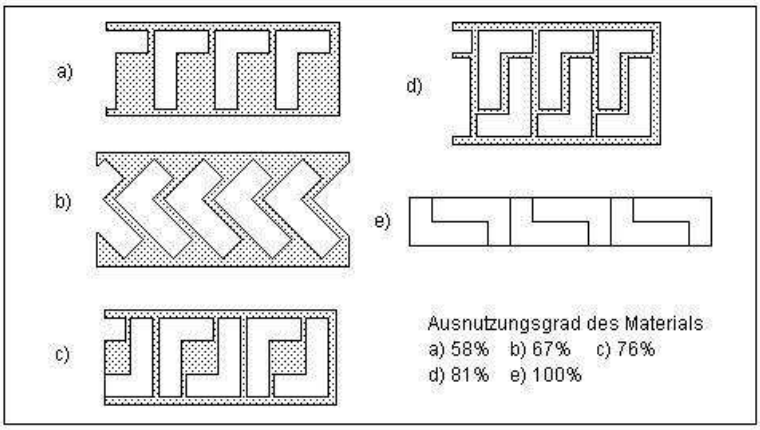


Abb.18.2. Schnittbildvarianten auszuschneidender Blechteile (nach Rothhaupt)

Wesentliche Reduzierungen des Materialaufwandes ergeben sich durch die bevorzugte *Anwendung materialsparender Bearbeitungsverfahren*

Zu den materialsparenden Verfahren gehören vor allem die Urform- und Umformverfahren. Durch die Umstellung herkömmlicher Gussverfahren (z.B. Sandguss, Kokillenguss, Maskenguss) auf Druckguss bei der Herstellung kleiner gleichmäßiger Gussteile in großer Stückzahl lassen sich Materialeinsparungen von bis zu 40% erreichen. Druckgussteile sind nicht nur materialökonomischer, die Fertigungszeit sinkt, und es verkürzt sich auch die technologische Kette, da die Teile keiner weiteren Bearbeitung in der Schlussphase bedürfen.

Der verstärkte Übergang von spanenden Stoffformungsverfahren, bei denen erhebliche Materialverluste durch die Späne (bis zu 50%) auftreten, zu Umform- und Urformverfahren ist ein weiteres Prinzip der rationellen Materialnutzung. So können durch das Kaltfließpressen rotationssymmetrische Werkstücke, wie Kolbenbolzen, Muffen, Stopfen, Zündkerzen, an Stelle der bisherigen spanenden Formgebung in mehreren Umformstufen aus zylindrischem Stangenmaterial spanlos gefertigt werden. Neben einer hohen Maßgenauigkeit und Oberflächengüte der Teile werden 30 bis 60% Materialeinsparungen erreicht. Weitere materialsparende Verfahren sind in diesem Zusammenhang das Flüssigpressen, das Fließdrücken, das Gussschmieden, das Feinschmieden und der Kugelgraphitguss.

Oft stellen diese neuartigen Verfahren allerdings höhere Forderungen an die Verarbeitungseigenschaften der Werkstoffe als die herkömmlichen Verfahren. Das gilt vor allem für pulvermetallurgische Verfahren. In der Pulvermetallurgie werden speziell vorbereitete Metallpulver durch Sintern und Pressen so weit verdichtet, dass die Werkstücke in einem prozessstufenarmen Verfahren praktisch abfallfrei und mit hoher Maßgenauigkeit erzeugt werden können. Als Ausgangsmaterial werden Metallpulver (z.B. Eisen, Aluminium, Titan), Metalloxidpulver und Magnetpulver eingesetzt. Durch den Wegfall energieintensiver Prozesse der Warmformgebung und dem bei relativ niedrigen Temperaturen ablaufenden Sintervorgang haben pulvermetallurgische Verfahren einen geringen spezifischen Energieverbrauch. Der Gesamtprozess ist zudem sehr umweltfreundlich. Hauptanwendungsfelder der Pulvertechnologie sind der Fahrzeug- und Maschinenbau, die Elektrotechnik und die Elektronik.

Das Masse-Leistungs-Verhältnis ist eine technisch-ökonomische Kennziffer, die angibt, welcher Werkstoffaufwand erforderlich ist, um die wichtigsten Gebrauchseigenschaften eines Erzeugnisses zu realisieren. Sie ist in gewissem Sinne ein Maß für die Effektivität des Werkstoffeinsatzes und für den Veredlungsgrad des eingesetzten Materials. Welchen bedeutenden Einfluss der Einsatz höherveredelter (eigenschaftsverbesserter) Werkstoffe auf das Masse-Leistungs-Verhältnis und auf die Verlängerung der Lebensdauer von Erzeugnissen hat, zeigen die Beispiele in Abb.18.3.

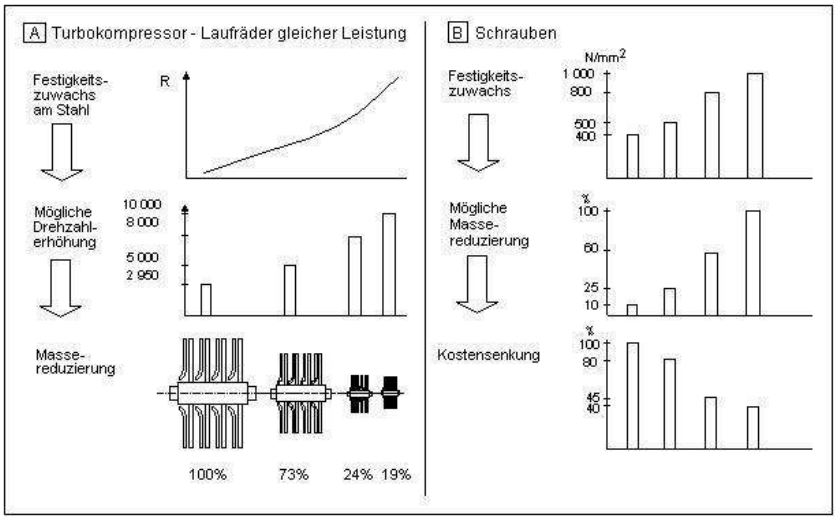


Abb. 18.3. Materialeinsparung durch den Einsatz höherveredelter Werkstoffe
a) Laufräder b) Schrauben

Eine weitgehende Nutzung der Rohstoffpotenzen ermöglicht das *Prinzip der komplexen Rohstoffnutzung*. Es ist ein weiteres Realisierungsprinzip für die rationelle Materialnutzung. In den stoffwandelnden Industrien ist die Materialausbeute, d.h. der aus dem Rohstoff in das Produkt übergehende Anteil des eingesetzten Arbeitsgegenstandes, zumeist die wichtigste Kennziffer dieser Verfahren. In vielen Fällen machen die Materialkosten in chemisch-technologischen Prozessen 80-90% der Produktionskosten aus. Die Erhöhung der Materialausbeute ist deshalb ein typisches Kriterium für den technischen Fortschritt in der chemischen Industrie.

Die Ausbeute der eingesetzten Rohstoffe lässt sich durch entsprechende technologische Maßnahmen erhöhen. In diesem Zusammenhang ist u. a. das *Gegenstromprinzip* zu nennen. Es wird in zahlreichen Produktionsprozessen mit dem Ziel des möglichst vollständigen Stoffaustausches angewandt (Auslaugen von Zuckerrübenschnitzeln bei der Zuckerfabrikation, Gasabsorption in Rieseltürmen, Extraktionsverfahren, Rösten sulfidischer Erze). Da ein Stoffaustausch zwischen reagierenden Systemen nur solange erfolgt, wie ein Potentialgefälle in der Stoffkonzentration vorhanden ist, wird durch die Gegenstromführung auf der gesamten Austauschstrecke eine Konzentrationsdifferenz aufrecht erhalten und so ein nahezu vollständiger Stoffaustausch erreicht (Abb.18.4.).

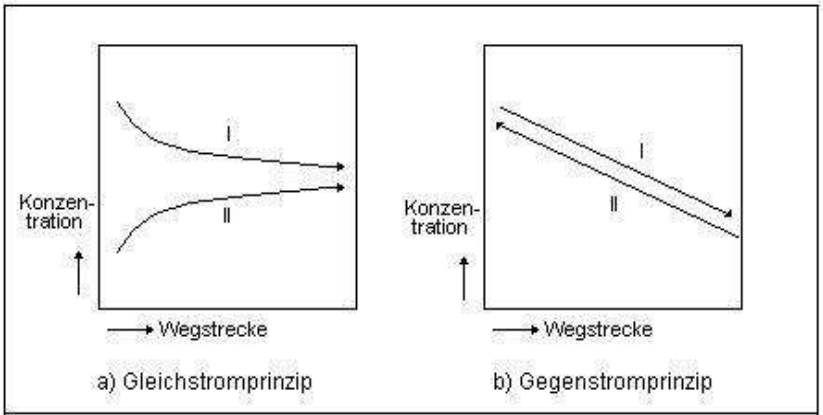


Abb.18.4. Stoffaustausch zwischen zwei Systemen (I und II) bei unterschiedlicher Stromführung

Ein anderes Prinzip der möglichst vollständigen Umsetzung der Reaktionspartner ist der *Kreisprozess*. In vielen Gleichgewichtsprozessen wird nur ein Teil der Reaktionspartner beim Durchgang durch den Reaktor umgesetzt (bei der Ammoniaksynthese beispielsweise 10-20%). Der Anteil lässt sich wegen der Gleichgewichtsbedingungen auch nicht durch längere Verweilzeiten im Reaktor erhöhen. In solchen Fällen trennt man die nicht umgesetzten Anteile des Reaktionsgemisches ab und führt sie in den Prozess zurück.

Kreisprozesse werden auch verbreitet auf Hilfsstoffe angewandt. Sie umfassen dann meist auch Aufbereitungsverfahren, ehe die Hilfsstoffe wieder in den Hauptprozess zurückgeführt werden. Insbesondere in

Kühlkreisläufen lassen sich so beträchtliche Wassermengen einsparen. Katalysatoren werden ebenfalls häufig im Kreislauf geführt.

Für Reaktionen, die längere Verweilzeiten im Reaktor erfordern (>30 min), eignet sich das Kreisprinzip nicht. Hier kommt das *Kaskadenprinzip* zur Anwendung, bei dem mehrere gleichartige Reaktoren hintereinander geschaltet sind und der Prozess stufenweise bis zur weitgehenden Stoffumsetzung realisiert wird. Die Kaskadenschaltung wird z.B. bei Destillations-, Flotations-, Kristallisations-, Absorptions- und Mischvorgängen angewandt. Für die Emulsionspolymerisation von Butadïen mit Styren wird eine Kaskade von 8-10 Rührkesseln hintereinander geschaltet, um eine weitgehende Umsetzung der Monomeren zu erreichen.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Stoffausbeute besteht in der *Intensivierung der Umsetzungsbedingungen*. So kann man bei der Oxydation des Schwefeldioxids zu Schwefeltrioxid nach dem Doppelkontaktverfahren eine Ausbeute von 99,6% erreichen. Das Gasgemisch wird dabei nach zwei Kontaktstufen einer Zwischenabsorption zugeführt und anschließend am Nachkontakt bis zur genannten Ausbeute umgesetzt.

Rohstoffe bestehen meist aus mehreren Komponenten, von denen die Hauptkomponente oft nur einen Bruchteil ausmacht. Eisenerze enthalten etwa 40 bis 60% Eisenanteil, bei Kupfererzen und Zinnerzen liegt dieser Anteil weltweit unter 2%. Die Kalirohsalze der Salzlagerstätten enthalten den Hauptrohstoff Kalisalz zu durchschnittlich 20%, die Begleitkomponenten machen 80% aus, darunter Steinsalz (NaCl, 61%), Anhydrit ($CaSO_4$, 6%), Magnesiumchlorid ($MgCl_2$, 5,5%), Kieserit ($MgSO_4$, 5%) und weitere Bestandteile (2,5%).

In Stoffwandlungsprozessen (aber nicht nur dort) fallen deshalb zwangsläufig in vielen Verfahren mehrere Produktkomponenten an.

Es ist seit längerem Anliegen der chemischen Technologie, die Prozesse so zu gestalten, dass möglichst alle entstehenden Reaktionsprodukte wirtschaftlich verwertet werden können. Die neben dem Hauptprodukt anfallenden Stoffe sollen als unmittelbar verwertbare Nebenprodukte oder als Ausgangsstoffe für andere technologische Prozesse dienen. Eine solche Verfahrensgestaltung ist von großem Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit vieler großtechnischer Prozesse.

Der Hochofenprozess zur Roheisengewinnung wird heute technologisch so geführt, dass neben dem Roheisen auch die zwangsläufig anfallende Schlacke und das Gichtgas als wertvolle, den Qualitätsanforderungen der weiterverarbeitenden Betriebe entsprechende Produkte erzeugt werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer *Kuppelproduktion*. Sie setzt sich in der stoffwandelnden Industrie immer mehr als allgemeines Prinzip durch.

Dass die möglichst vollständige Nutzung der Ausgangsstoffe ein sehr altes Anliegen der chemischen Industrie ist, zeigt ein Blick in die Literatur. Schon bei J.R.GLAUBER (1604-1668) findet sich ein origineller Vorschlag zur restlosen Verwertung der bei der Weinkelterei anfallenden Kuppelprodukte. *"Unsere Voráltern haben auß den Weinheffen nichts anderes wissen zumachen als einen Brandenwein/ vnd wann derselbe davon gezogen/ haben sie den Rest hinweg geworffen/ oder bißweilen dem Viehe geben vnter jhr Trincken/ oder zum theil (doch gar selten) in der Sonn gedrucknet vnd zu Pottaschen gebrand.*

Nun aber ist es soweit kommen durch meine Intervention, dass aus der Heffen erstlich ein viel mehrers an Brandewein/ Vnd hernach ein grosse quantität Weinstein außzuziehen/ vnd letztlich dannoch die Pottaschen von dem übrigen zumachen/ also dass der Gewin dreyfach ist. Vnd wann man noch fleissig darmit will umbgehen/ so kann man erstlich von jedwederm Fuder Heffen zum wenigsten 7. oder 8. Eymer guten Wein pressen/ vnd wann solches geschehen/ gleichwol auß dem überbleibenden Theil noch seinen Brandewein vnd guten Weinstein/ vnd endlich noch die Pottaschen machen/ also das der Gewinn vierfältig vnd ein zimbliches darmit zugewinnen ist/ welches vnsere Voráltern nicht gewust oder thun können. Wie viel hundert oder tausend Centner Weinstein werden allein in einem Jahr allein in Francken oder Schwaben / Elsas/ Pfaltz vnd am gantzen Rhein/ Mosel vnd Thonavstrom hinweg geworffen/ welche dem Land Nutzen könnte bringen/ wann daselbsten Leute wären/ die es zu gut zumachen verstünden? was hilfft aber alles lehren vnd sagen/ wann niemand ist der lernen oder zuhören will?...Das ist aber gewiß/ dass nach meinem Todt jhrer viel erst begreifen werden wie gut ichs gemeynet/ meine Schrifften herfür suchen/ die Wahrheit darin finden/ vnd zu jhrem Nutzen grosse Dinge darmit verrichtet werden/ alle ding will sein Zeit haben/ vnd die Knöpff kommen vor den Rosen/ vnd nach den Rosen erst die Frücht" (Lit.18.3.).

!Syntaxfehler, .GLAUBER zielte ganz offensichtlich auf die restlose Verarbeitung aller Kuppelprodukte des Prozesses, die nicht mehr als wertlose Abfälle der stofflichen Verwertung entzogen werden sollten. Die stoffwandelnden Industrien stehen heute bei fast allen großtechnischen Verfahren vor analogen Problemen.

Bei der thermischen Spaltung (Pyrolyse) von Erdölkohlenwasserstoffen fallen wegen der zwangsläufig ablaufenden Primär- und Sekundärreaktionen neben dem Ethen als Hauptprodukt eine mehr oder weniger große Zahl von Kuppelprodukten an (u. a. Wasserstoff, Methan, Äthan, Propen, Butene, Butadïen und Aromaten). Art und Menge der Kuppelprodukte sind von der Wahl des Ausgangsstoffes und des Pyrolyseverfahrens abhängig. Röhrenofen-Pyrolyse-Anlagen mit einer Kapazität von 500 kt/a Äthylen liefern rund 1 000 kt/a Kuppelprodukte, die ebenso wie das Hauptprodukt wirtschaftlich genutzt und verarbeitet werden müssen.

Ein typisches Beispiel für die Kuppelproduktion in der Nahrungsgüterindustrie ist der technologische Prozess in einer Zuckerfabrik. Aus Zuckerrüben, Wasser und gebranntem Kalk als Roh- und Hilfsstoffen entstehen verschiedene Zuckerqualitäten (Normalzucker, Raffinade, Würfelzucker, Kandiszucker) als Hauptprodukte. Außerdem fallen Melasse und Rübenschnitzel als Nebenprodukte an, die in der Futtermittelherstellung Verwendung finden.

Je nach der Zielvorgabe - bestimmt durch entsprechende Nachfrage und Preisgestaltung - lässt sich in vielen Fällen bei der Kuppelproduktion das Verhältnis der einzelnen Produktkomponenten innerhalb gewisser Grenzen durch modifizierte Verfahrensbedingungen variieren.

Ein besonderes Problem der chemischen Technologie ist die Rückgewinnung von Rohstoffanteilen und Produkten, die als Stäube, Abgase oder mit dem Abwasser verloren gehen. Hier hat die Wertstoffrückgewinnung nicht nur stoffwirtschaftliche Aspekte, sondern dient zugleich der Verringerung der Umweltbelastung durch Schadstoffe. Hierher gehören die Gewinnung von Flugaschen, die Vermeidung von Schwefeldioxid- und Stickoxid-Emissionen und die Rückgewinnung von Phenolen aus Abwässern (s. Kap.20.5.).

Die komplexe Rohstoffnutzung ist nicht nur in der stoffwandelnden Produktion ein erstrangiges Problem. Die Entwicklung der Nutzung des Rohstoffes Holz zeigt, wie auch in diesem Bereich technologische Lösungen gesucht und gefunden wurden, um die Phytomasse des Holzes, die noch vor wenigen Jahrzehnten bestenfalls zu 50-60% genutzt wurde, umfassend einer produktiven Nutzung zugänglich zu machen. Die etwa 50% der nicht zu Schnittholz verarbeitbaren Holzmasse werden eingesetzt als

- Werkstoffe für Faserplatten- und Spanplatten, für Holzbetonelemente, als Füllstoffe für Duroplaste sowie als Späne für Kohlenanzünder und Räuchereien
- Mehl zur Kompostierung und Bodenverbesserung
- Chemierohstoff.

Für eine stärkere stoffwirtschaftliche Nutzung des Holzes zur Gewinnung chemischer Grundstoffe sind zwar die technologischen Grundlagen vorhanden, jedoch können diese Verfahren noch nicht mit denen der Erdöl- und Kohlechemie konkurrieren. Durch Hydrolyse der Holzabfälle lassen sich z.B. Glucose, Monosaccharide, Furfurol und Xylit, durch Pyrolyse Aktivkohle, Holzteer, Alkohole und Gerbstoffe gewinnen.

18.3. Hochveredlung von Werkstoffen und Rohstoffen

Die stürmische Entwicklung der Technologie hat zu einem schnell wachsenden Bedarf an Werkstoffen mit hohen Bearbeitungs- und Gebrauchseigenschaften geführt. Dabei geht es sowohl um die Herstellung von Produkten mit hohem Qualitätsstandard als auch um die rationellere Nutzung des Materials. Diesem Ziel dient das Prinzip der Hochveredlung von Werkstoffen und Rohstoffen.

Es verfolgt im Einzelnen die Zielstellung

- neue Werkstoffqualitäten (Stoffe mit verbesserten Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften) bekannter und traditionell eingesetzter Werkstoffe (Stahl, Nichteisenmetalle, Glas, Keramik, Plaste) hervorzubringen,
- qualitativ neue Werkstoffe für spezielle Einsatzzwecke und Anwendungsgebiete zu entwickeln,
- die komplexe Rohstoffausnutzung durch weitgehende Extraktion aller nutzbaren Komponenten zu sichern.

Die Höherveredlung führt insbesondere bei den traditionellen Werkstoffen durch *Verbesserung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften* zu neuen Werkstoffqualitäten. Das schafft Voraussetzungen für die Anwendung rationellerer Verarbeitungstechnologien, führt zur Verbreiterung der Palette der nutzbaren Werkstoffeigenschaften und damit auch zu einer größeren Anwendungsbreite der Werkstoffe. Verbesserte Gebrauchseigenschaften ermöglichen neue konstruktive Lösungen für Erzeugnisse und qualitativ bessere

Produkte. Zielvorgaben für verbesserte Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften sind z.B. höhere mechanische Festigkeit, verbesserte Korrosionsbeständigkeit, höhere Abriebfestigkeit und Vakuumdichtheit.

Stahl ist nach wie vor der bedeutendste Konstruktionswerkstoff und beeinflusst die Materialintensität der aus ihm hergestellten Produkte in entscheidendem Maße. Bei der Stahlveredlung stehen insbesondere die höhere Festigkeit und Zähigkeit, die bessere Schweißbarkeit und die Korrosionsbeständigkeit als Zielvorgaben der Höherveredlung im Vordergrund. Moderne Stahlveredlungstechnologien wie das Sauerstoff-Konverterverfahren ermöglichen es, Stähle mit hoher Reinheit zu erzeugen. Durch nachfolgende pfannenmetallurgische Prozesse (Elektrostahlschmelzen, Elektronenstrahlschmelzen), in denen flüssiger Stahl in Pfannen oder in Frischgefäßen unter Vakuum oder Gasatmosphäre behandelt wird, lassen sich mikrolegierte Kohlenstoffstähle unter günstigen technologischen Bedingungen herstellen. Diese mikrolegierten Kohlenstoffstähle können die klassischen Vergütungsstähle in vielen Bereichen substituieren und wertvolle Legierungselemente einsparen helfen. Die reineren und homogeneren Stähle besitzen wesentlich verbesserte Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften, die Materialeinsparungen bis zu 35% ermöglichen (siehe Abb.18.3.). Durch den Einsatz höherfester Betonstähle für Betonfertigelemente lassen sich bis zu 50% Stahl pro Einheit einsparen. Durch hochfeste Schrauben und Muttern wird eine Materialeinsparung bis zu 60% erreicht. Im Elektromotorenbau hat der Einsatz verbesserter Leiterwerkstoffe, von hochtemperaturbeständigen Isolierlacken und leistungsfähigen Magnetwerkstoffen zu einer beträchtlichen Massereduzierung der Aggregate geführt. Die in Abb.18.5. dargestellte Kurve des Masse-Leistungs-Verhältnisses von AEG-Drehstrommotoren (Leistung etwa 4 kW) lässt erkennen, dass bei gleich bleibender Leistung etwa alle 10 Jahre eine Gewichtsreduzierung von 20-25% erreicht werden konnte.

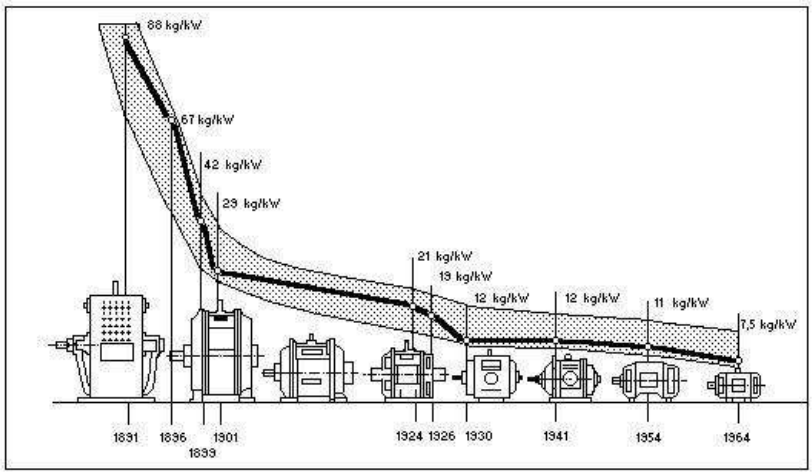


Abb. 18.5. Entwicklung des Masse-Leistungs-Verhältnisses von Drehstrommotoren

Auch für nichtmetallische Werkstoffe wie Glas, Keramik, Plaste und Verbundwerkstoffe verbindet sich die Höherveredlung mit bedeutenden Rationalisierungseffekten hinsichtlich der Materialeinsparung und Materialsubstitution. Sie finden z.B. zunehmend als Konstruktionswerkstoffe und Funktionswerkstoffe Anwendungen, an die vor kurzer Zeit noch nicht gedacht wurde. So werden Glasrohrleitungen auf der Basis von Borsilikatglas als Transportleitungen in Industrie und Landwirtschaft und im Wohnungsbau eingesetzt. Gegenüber Stahlrohren weisen sie eine 3-5fache Standzeit auf. Eine interessante Lösung ist auch der Einsatz verfestigten Glases. Die daraus hergestellten Gläser sind etwa 30% leichter und um das 4-5fache bruchsicherer als herkömmliche Gefäße.

Mit den *Konstruktionskeramiken* und den *Funktionskeramiken* haben die keramischen Werkstoffe eine wesentliche Weiterentwicklung erfahren. Es handelt sich um Werkstoffe auf der Basis von Metalloxiden, -nitriden und -karbiden (z.B. von Titan, Silizium, Zirkonium, Aluminium) in hochreiner, homogener mikrokristalliner Form, deren besondere mechanische, elektrische, magnetische und optische Eigenschaften eine Reihe neuer Lösungen insbesondere im Maschinenbau, chemischen Anlagenbau und Verbrennungsmotorenbau eröffnen. Sie besitzen sehr hohe Festigkeiten und Bruchzähigkeiten auch im Temperaturbereich oberhalb 1 000°C, z. T. hohe, mit Metallen vergleichbare Wärmeleitfähigkeit, günstiges Oxydations- und Korrosionsverhalten bei hohen Temperaturen gegenüber aggressiven Medien und gute tribotechnische Eigenschaften. In der Elektrotechnik und Elektronik sind elektronenleitende Keramiken, Piezokeramiken sowie Kera-

miken mit magnetischen Eigenschaften (Ferrite) die werkstofftechnische Basis für viele moderne Konsumgüter.

Eine bedeutsame Verbesserung der Werkstoffnutzung kann durch die *Oberflächenveredlung der Werkstoffe* erreicht werden. Die Eigenschaften der Oberfläche bestimmen bei vielen Erzeugnissen in entscheidendem Maße ihre Gebrauchseigenschaften, ihr Standzeitverhalten, ihre Funktionssicherheit und nicht zuletzt auch ihr gefälliges Aussehen. Die Oberflächenveredlung erfolgt entweder durch direkte Gefügeänderungen in der Randzone des Materials oder durch Aufbringen von Schutzschichten. Die Gefügeänderung trifft z.B. für die *Randschichttechnologie* zu, bei der die Funktionsteilung zwischen dem Grundwerkstoff und seiner Randschicht genutzt wird. Für zahlreiche Anwendungsfälle ist eine hohe Beanspruchung der Bauteiloberfläche durch Verschleiß und Korrosion charakteristisch. Werkstoffe mit entsprechend hohen Gebrauchseigenschaften für das gesamte Bauteil einzusetzen, käme einer Vergeudung von Werkstoffen gleich. Moderne technologische Verfahren ermöglichen eine Beschichtung von Bauteiloberflächen bzw. eine Strukturänderung der Randschichten. Durch kontrolliertes Gasnitrieren kann die Verschleiß-, Ermüdungs- und Korrosionsbeständigkeit sowie die örtliche Festigkeit der Werkstoffe in der gewünschten Weise erhöht werden, wie sie z.B. für Kurbelwellen, Zahnräder, Gelenkbolzen, Motorgehäuse, Bremszylinder und Kolbenstangen gefordert wird.

Für die Oberflächenveredlung von Werkstoffen und Produkten gewinnen zunehmend *neuartige Beschichtungsverfahren* an Bedeutung. Der technologische Fortschritt hat durch eine Reihe neuer Verfahrensprinzipien eine stürmische Entwicklung auf diesem Gebiet ausgelöst. Grundsätzliche Bedeutung besitzen in diesem Zusammenhang die Vakuumaufdampfungsverfahren und Zerstäubungstechnologien;. So werden heute bedeutende Anteile von Verpackungsblechen durch Aluminiumaufdampfung im Vakuum vor Korrosion geschützt und damit zugleich erhebliche Mengen umweltbelastendes Zinn und Zink substituiert (Abb.18.6.). Anstelle der galvanischen Aufbringung von Nickel, Kupfer und Chrom auf Eisenmetalle können diese ebenfalls über Vakuumbedampfungsverfahren aufgebracht werden.

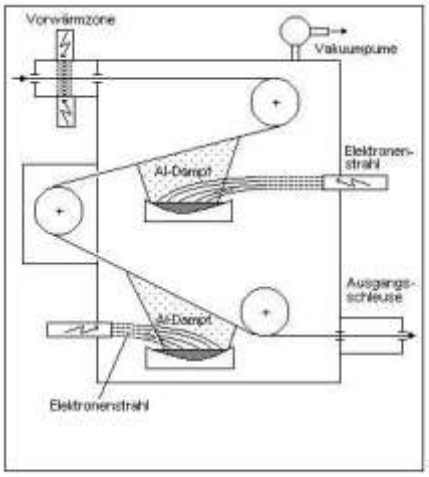


Abb. 18.6. Aluminium-Bedampfungsanlage

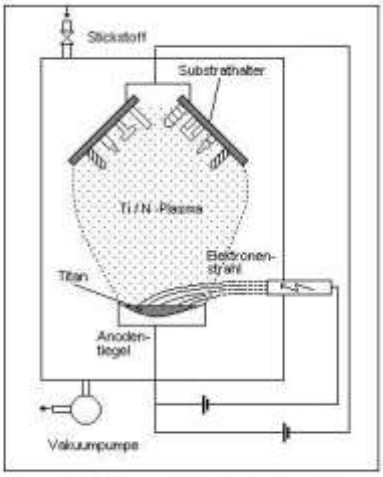


Abb. 18.7. Titannitrid-Beschichtungsanlage

Durch eine Beschichtung mit Titannitrid mittels eines Plasmaverfahrens lässt sich die Standzeit von Maschinenwerkzeugen vervielfachen. Dabei wird Titan in einem Vakuumreaktor mittels eines Elektronenstrahls bei 2 000°C verdampft und bildet mit dosiert in den Reaktorraum eingegebenem Stickstoff ein Plasma. Die Beschichtungsobjekte sind als Kathode geschaltet. Die Titan- und Stickstoffionen wandern zur Kathode und bilden im Augenblick ihres Auftreffens auf die Metalloberfläche die Hartstoffschicht Titannitrid aus (Abb.18.7.). Die Standzeit so behandelter Bohrer beträgt das 3-5fache, bei Stanzwerkzeugen das 3-4fache und bei Umformwerkzeugen das 10fache gegenüber den nicht beschichteten Produkten. Durch die Variation der Mengenverhältnisse von Titan- und Stickstoffionen im Plasma lassen sich die Härte, die Haftfestigkeit und die Färbung der TiN-Schichten beeinflussen. Die mit dieser Technologie erzeugten Schichten besitzen nicht nur eine hohe Abriebfestigkeit, sondern auch ein goldfarbenes Aussehen. Es macht sie deshalb geeignet für „Vergoldungen“.

!Syntaxfehler, SCHMUCK Auch im Bereich der Glaswerkstoffe gibt es einen deutlichen Trend zu hochveredelten Materialien, die besondere Eigenschaften und Leistungsparameter hinsichtlich der Temperaturbeständigkeit, der Temperaturwechselbeständigkeit, der Härte, der Festigkeit, der optischen, elektrischen und magnetischen Eigenschaften sowie der mechanischen Bearbeitbarkeit aufweisen. Das erfordert die Modifi-

zierung klassischer Werkstoffsysteme, aber auch die Schaffung ganz neuartiger Substanzklassen. Voraussetzung dafür sind sehr viel reinere Ausgangsstoffe und neuartige Technologien.

Zu den *Werkstoffen mit neuartigen Strukturen* gehören die *Glaskeramiken* (Vitrokeramiken). Während Gläser amorph strukturiert sind, bestehen Keramiken aus einer oder mehreren kristallinen Phasen. Glaskeramiken sind mehrphasige Werkstoffe, bei denen gezielt erzeugte kristalline Phasen in eine glasig-amorphe Phase eingebettet sind. Solche Glaskeramiken verfügen nicht nur über bessere Eigenschaften als ihre Ausgangsgläser, sondern weisen je nach Zusammensetzung und Herstellungsbedingungen Materialkennwerte auf, die bisher an anorganisch-mineralischen Werkstoffen nicht bekannt waren. So stehen heute hochfeste, maschinell bearbeitbare, magnetische, biologisch aktive Keramiken sowie Glaskeramiken mit speziellen mechanischen, thermischen oder elektrischen Eigenschaften zur Verfügung (Tab.18.2.). Sie werden aus Grundgläsern des Systems $SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO \cdot TiO_2$ hergestellt, indem das Ausgangsmaterial geschmolzen und anschließend gesteuert abgekühlt wird. Durch entsprechende Zusätze und in Gegenwart von Katalysatoren werden die geforderten Eigenschaften des Produkts erreicht. Der Kristallisationsgrad beträgt 50 - 95%. Die verbleibende Glasphase wirkt als eine Art Kittsubstanz zwischen den Kristalliten.

Werkstoffgruppe	Glasbildungssystem	Besondere Eigenschaften
Hochfeste Glaskeramiken	$SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO \cdot TiO_2$	Biegebruchfestigkeit > 300 MPa
Maschinell bearbeitbare Glaskeramiken	$SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO \cdot (Na_2O/K_2O) \cdot F \cdot B_2O_3 (FeO/Fe_2O_3)$	Bearbeitbar mit Hartmetallwerkzeugen
Thermo-Glaskeramiken	$SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot Li_2O$	Minimale Ausdehnung bei thermischer Belastung
Verschleißfeste Glaskeramiken	$SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO \cdot CaO$	Hohe Verschleißfestigkeit, gute chemische Bestän digkeit
Superharte Glaskeramiken	$SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO \cdot Si_3N_4$ und Kompositmaterial	Härte (Knoop) > 800
Glaskeramiken mit besonderen elektrischen (a) und magnetischen (b) Eigenschaften	a) $SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot BaO \cdot TiO_2$ b) $SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO \cdot FeO$ Fe_2O_3	Besondere elektromagnetische Eigenschaften, Ferrimagnetismus
Bio-Glaskeramiken	$SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO \cdot Na_2O$ $K_2O \cdot CaO \cdot P_2O_5$	Bioaktive Eigenschaften

Tabelle 18.2. Übersicht zu glaskeramischen Werkstoffen

Die Glaskeramiken zeichnen sich durch eine außerordentliche Homogenität ihrer Struktur aus, sie weisen keine Poren auf und haben eine große Volumenkonstanz. Hervorzuhebende Eigenschaften, die ihnen viele neue Anwendungsgebiete erschließen, sind:

- spanende Bearbeitbarkeit mit Hartmetallwerkzeugen (Bohren, Drehen, Fräsen, Gewindeschneiden)
- sehr glatte und porenfreie Oberfläche
- hohe Temperaturwechselbeständigkeit
- gute dielektrische Eigenschaften
- sehr gute chemische Beständigkeit
- hohe Bioaktivität (geeignet für Implantate im lebenden Organismus).

Den Anwendern steht das Material in Form von gegossenen Platten, Barren und Stangen zur Verfügung. Hauptanwendungsfelder liegen im Maschinen- und Gerätebau, in der Elektrotechnik und in der Medizintechnik. Keramische Funktionswerkstoffe werden für mikroelektronische Bauelemente, in der Licht- und Schalttechnik und als Hochleistungsmagnetwerkstoffe genutzt.

Zu den Werkstoffen mit neuartigen Strukturen gehören auch die *amorphen Metalle*. Kühlt man flüssige Metalle mit extrem hoher Geschwindigkeit (10^4 bis 10^5 K/s) ab, so bilden sie keine Kristallstruktur aus, sondern werden in ungeordnetem Zustand "eingefroren", wie ihn Gläser aufweisen. Man spricht deshalb auch von metallischem Glas. Die Metallschmelze wird zwischen zwei sehr schnell rotierende, gekühlte Walzen gespritzt. Das amorphe Metall schießt mit über 100 km/h Geschwindigkeit als dünnes Band aus dem Walzenspalt heraus. Amorphe Metalle sind von Eisen, Kupfer, Kobalt und Nickel sowie von deren Legierungen mit so genannten glasbildenden Elementen (Bor, Kohlenstoff, Silizium, Phosphor) bekannt. Sie weisen einige ungewöhnliche Eigenschaften auf. Sie vereinigen z.B. große Härte und mechanische Festigkeit mit Biegsamkeit und Streckfähigkeit oder hervorragende weichmagnetische Eigenschaften mit hoher Korrosionsbeständigkeit, Eigenschaften, die bei kristallinen Metallen nie gemeinsam auftreten. Das erschließt ihnen viele neue Einsatzgebiete, wie als Verstärkungsmaterial in Spezialplasten oder als elektrotechnische Werkstoffe für Magnetköpfe, Abschirmungen und Wandlersysteme.

Reinststoffe sind für eine Reihe von Hochtechnologien zu einer unabdingbaren Voraussetzung geworden. Chemisch reines und einkristallines Silizium gehört zu den Basiswerkstoffen der Mikroelektronik. Um den erforderlich hohen Reinheitsgrad von 99,999 999 9% (9-N-Si) und die einkristalline Struktur des Siliziums zu erreichen, ist eine aufwendige Technologie erforderlich (auf eine Milliarde Atome darf höchstens ein Fremdatom kommen). Metallurgisch aus hochreinem Quarzsand durch Reduktion mittels Kohlenstoff gewonnenes technisches Silizium (Reinheit etwa 98%) wird zur weiteren Reinigung zunächst mit Salzsäure zu Trichlorsilan ($SiHCl_3$) umgesetzt. In einem Reaktor wird diese Verbindung bei 1 100°C an dünnen Siliziumseelen abgeschieden. Die so entstandenen schon hochreinen Siliziumstäbe von 1,5m Länge und 10-15 cm Durchmesser werden in einer Zonenschmelzanlage weiter gereinigt. Um definierte elektrische Eigenschaften zu erhalten, muss das noch polykristalline Material in den einkristallinen Zustand übergeführt werden. Das geschieht durch das so genannte CZOCHRALSKI-Verfahren (Abb.18.8.).

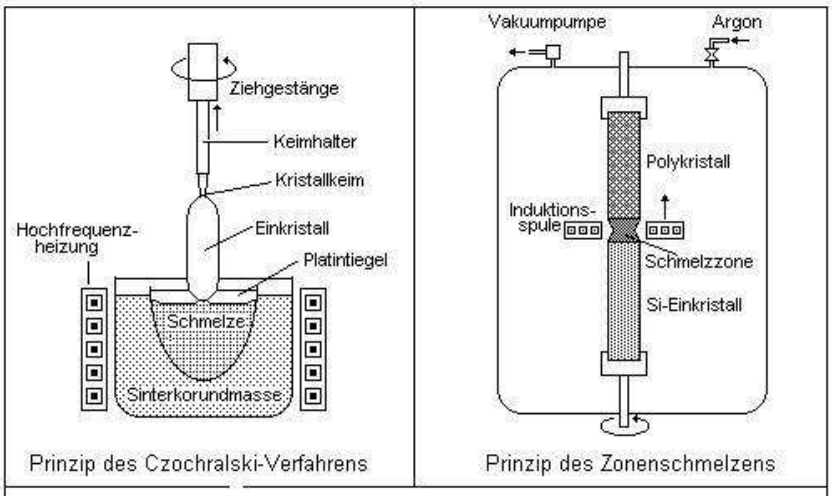


Abb. 18.8. Verfahren zur Einkristallzüchtung

Das polykristalline Silizium wird in einem Quarztiegel geschmolzen. In die Schmelze wird ein einkristalliner Keim eingetaucht und unter Rotation nach oben abgezogen. Durch ein genau bestimmtes Temperaturregime und die Ziehgeschwindigkeit wird der Durchmesser des wachsenden Kristalls eingestellt. Die definierte Zugabe von Dotierungsmaterial stellt die gewünschten elektrischen Eigenschaften ein. Die einkristallinen Siliziumstäbe werden schließlich in 0,2 mm starke Scheiben getrennt und poliert. Sie bilden das Ausgangsmaterial für die Herstellung hochintegrierter Chips für die Mikroelektronik. In einem weiterentwickelten Zonenschmelzverfahren wird die Zonenschmelze zur Hochreinigung des Halbleitermaterials mit der Einkristallzüchtung gekoppelt. Dabei wird der Siliziumstab in einem mit Argon gefüllten Reaktor durch eine Induktionsspule auf wenigen Millimetern Länge aufgeschmolzen. In mehreren Durchgängen wird das Material zunächst gereinigt und dann durch eine genau gesteuerte Führung der Zone in einen Einkristall übergeführt. Ein großer Vorteil dieser Technologie besteht darin, dass das Halbleitermaterial in keinerlei Kontakt mit einer Tiegelwand kommt und dadurch Verunreinigungsquellen weitgehend ausgeschaltet werden.

Verbundwerkstoffe (Komposite) sind eine weitere Klasse moderner Werkstoffe, mit denen in bestimmten Einsatzgebieten hohe Materialeinsparungen erreicht werden können. Verbundwerkstoffe bestehen aus einer Matrixkomponente (Trägermaterial aus keramischen Materialien, Polymeren, Metallen), in die eine weitere eigenschaftsverbessernde oder funktionsbestimmende Komponente in Form von Fasern, Plättchen oder als pulverförmiger Füllstoff eingelagert wird. Für die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (Festigkeit, Bruchzähigkeit, Steifigkeit, Elastizität) dienen z.B. Kohlenstofffasern, Siliziumkohlenstoff, Bor und organische Gläser sowie Fasern als Einlagerungskomponente. Es lassen sich durch entsprechende Materialien auch die elektrischen oder magnetischen Eigenschaften solcher Verbunde verändern (Hartmagnete, leitende Elastomere). Im Zentrum der Entwicklungsarbeiten steht die Verbesserung des Verhältnisses von Festigkeit zu Gewicht. Haupteinsatzgebiete sind die Anwendung der Stoffverbunde als Konstruktionswerkstoff (insbesondere für den Leichtbau), in der Luft- und Raumfahrttechnik und in der Medizintechnik.

18.4. Sekundärrohstoffeinsatz

Die umfassende Nutzung von Sekundärrohstoffen ist eine weitere wesentliche Quelle für eine rationelle Materialwirtschaft und zugleich für den aktiven Umweltschutz. In allen entwickelten Industrieländern wurde in den letzten Jahrzehnten ein ständig steigender Anteil des wachsenden Rohstoffbedarfs durch Sekundärrohstoffe gesichert.

Die Rückführung von Altstoffen und Produktionsabfällen ist nichts grundsätzlich Neues. Sie ist für eine Reihe von Produktionsprozessen seit der industriellen Revolution üblich (z.B. bei der Stahlerzeugung, der chemischen Kohleverarbeitung und in der Glasindustrie). Mit der wissenschaftlich-technischen Revolution aber wird die Sekundärrohstoffnutzung eine allgemeine Aufgabe aller Wirtschaftszweige. Wichtige Wirtschaftszweige arbeiten heute bereits mit einem relativ hohen Sekundärrohstoffeinsatz: in der Stahlerzeugung liegt der Schrotteinsatz bei über 60%, bei der Papier- und Pappenherstellung beträgt der Anteil an Altpapier 50%, Behältergläser und Flaschen kommen zu 60% aus dem Sekundärrohstoffaufkommen. Die Buntmetallurgie, die Zellstoffindustrie, die Spanplatten- und Möbelindustrie, die Schmierölproduktion, die Gelatine- und Leimerzeugung sind weitere Wirtschaftszweige, die auf die Bereitstellung von Sekundärrohstoffen angewiesen sind.

Sekundärrohstoffe sind durch entsprechende Technologien aus Altstoffen und Abprodukten der Produktion und des Konsums gewonnene Stoffe, die erneut als Arbeitsgegenstände in den technogenen Stoffkreislauf zurückgeführt werden.

Quelle für die Gewinnung von Sekundärrohstoffen sind Altstoffe, Abprodukte und Produktionsabfälle. Nach ihrer stofflichen Substanz werden Sekundärrohstoffe in folgende Gruppen eingeteilt:

- metallische Sekundärrohstoffe (Schrott, metallhaltige Industrierückstände)
- Alttextilien und Textilabfälle
- Glas und keramische Sekundärrohstoffe
- Plast- und Elastsekundärrohstoffe
- Altpapier und Papierabfälle
- Industrieaschen und -schlacken
- Altöle und -fette
- landwirtschaftliche Abfälle
- Siedlungsmüll

Bedingung für die Altstoff- und Abfallverwertung ist, dass die daraus gewonnenen Sekundärrohstoffe billiger sind als die entsprechenden primären Rohstoffe. Als wichtige Einflussfaktoren wirken:

- die Massenhaftigkeit des Anfalls, wobei sich die Mindestgrenze mit dem Steigen der Preise für primäre Rohstoffe nach unten verschiebt,
- der Entwicklungsstand der Verwertungstechnologien
- die Kosten für die Deponierung der Altstoffe und Abprodukte
- die wachsenden Forderungen des Umweltschutzes an die Abfallwirtschaft.

Für die quantitative Bewertung der Sekundärrohstoffnutzung hat ROCKSTROH eine Gleichung angegeben, die den komplexen Charakter des Problems deutlich macht:

$$W_V = Wp + W_u - K_A - K_{E,S,T}$$

(W_V - Wert des Einsatzes der Abfälle
W_p - Wert des ersetzten Primärrohstoffs
W_u - gesellschaftlicher Wert der Nichtbelastung der Umwelt
K_A - Kosten der Aufbereitung und Verarbeitung der Abfälle
$K_{E,S,T}$ - Kosten für Erfassung, Lagerung und Transport der Sekundärrohstoffe)

Ziele des Einsatzes von Sekundärrohstoffen sind:

- Senkung der Materialkosten
- Schonung der Rohstofflager
- Senkung des Energieaufwandes
- Beitrag zum Umweltschutz

(Tabelle 18.3.)

Sekundärrohstoff	ersetzt	Primärrohstoff
1 t Eisenschrott		1,5 t Eisenerz 200 t Koks
1,5 t Altpapier		0,83 Festmeter Holz oder 0,87 t Holzschliff
1 t Altplast		2 t Erdöl
100 Mio. Stück Rücklauf-flaschen oder -gläser		30 000 t Glassand 10 000 t Soda 6 000 t Heizöl
1 t Hausmüll (energetisch genutzt)		320 t Erdöl

Tabelle 18.3. Beispiele für Rohstoffeinsparungen bei Sekundärrohstoffeinsatz

Das *Prinzip der Mehrfachnutzung* der Materialien hat die stofftyische Wiederverwertung der Sekundärrohstoffe unter Erhalt ihrer Gebrauchseigenschaften in ihrem ursprünglichen Einsatzbereich zum Ziel. Es lässt sich auf zwei technologisch unterschiedlichen Wegen verwirklichen:

- durch die Verarbeitung der Sekundärrohstoffe in traditionellen Produktionsprozessen gemeinsam mit Primärrohstoffen,
- durch die Aufarbeitung in speziellen Anlagen.

Einige Altstoffe können zusammen mit Primärrohstoffen direkt den traditionellen Produktionsprozessen zugeführt und zu Zwischen- und Endprodukten verarbeitet werden. Sie substituieren so Primärrohstoffe. Eisen- und Stahlschrott kann z.B. im Siemens-Martin-Verfahren bis zu 100% eingesetzt werden, beim modernen Sauerstoff-Konverterverfahren bis zu 30%. Bei der Herstellung der Glasschmelze wird Altglas bis zu 30% dem Rohmehl beigemengt.

Bei anderen Altstoffen ist eine spezielle technologische Aufarbeitung die Voraussetzung für den werkstofftypischen Wiedereinsatz. In diese Gruppe gehören z.B. Altpapier und Altöl. Das Altpapier muss von seinen Beimengungen befreit und gebleicht werden. Dazu wird es bis zur Herstellung von Faserstoff gesondert bearbeitet und erst danach mit Primärrohstoffen gemeinsam weiterverarbeitet. Das sog. Deïnking-Flotationsverfahren ermöglicht eine weitgehende Entfärbung der Altpapiermasse (Abb.18.9). Das Altpapier wird in einem Stofflöser unter Zusatz von Wasser sowie Flotations- und Bleichmitteln bei 45-60°C zerfasert, gereinigt und entstippt (in Einzelfasern zerlegt). Im Flotationsprozess werden die Teilchen der Druckfarben von oberflächenaktivem Schaum weggetragen und über einen Abstreifer aus dem Prozess entfernt. Der so gewonnene Faserstoff kann nun gemeinsam mit Primärzellstoff weiterverarbeitet werden. Der Anteil des

eingesetzten Regenerats hängt von der gewünschten Papierqualität ab. Haupteinsatzgebiete für Faserregenerate sind Zeitungsdruckpapier, Tapeten und Packpapier.

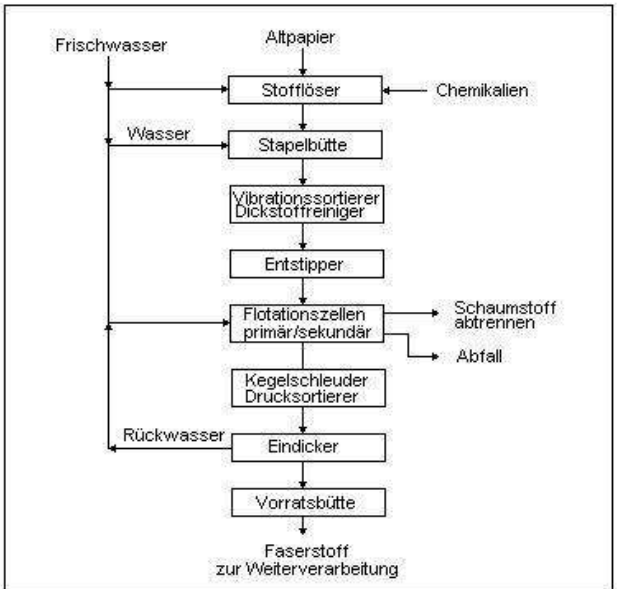


Abb.18.9. Deinking-Flotationsverfahren zur Altpapieraufarbeitung

Die Regenerierung von Altölen erfolgt durch Raffination. Zunächst wird Wasser durch die so genannte Topdestillation abgetrennt. Der zweite Schritt ist die Schwefelsäureraffination, bei der störende Fremdstoffe durch Reaktion mit Schwefelsäure entfernt werden. Das Altöl wird neutralisiert und durch Bleicherde von färbenden Bestandteilen befreit. Die nachfolgende fraktionierte Destillation zerlegt das Regenerat in verschiedene Viskositätsbereiche. Meist werden die Destillate in dieser abschließenden Stufe der Aufarbeitung noch einmal gebleicht.

Während für eine ganze Reihe von Materialien (Stahl, Altglas, Altpapier, Altöl) bereits leistungsfähige und wirtschaftliche Technologien zum Recycling von Altstoffen und Abfällen existieren, bereiten die *Plastaltstoffe* noch beträchtliche technologische Schwierigkeiten ihrer Rückführung in den technogenen Kreislauf. Das Hauptproblem ist die möglichst sortenreine und unverschmutzte Erfassung und Rückführung der Plastabfälle sowie die Entwicklung von Technologien zur Trennung von verschmutzten und gemischten Abfällen.

Im Prinzip bieten sich vier Wege für das Recycling von Plasten an:

- die plasttypische Wiederverwendung durch Erhaltung der Werkstoffeigenschaften
- Einsatz als Zuschlag- und Füllstoff
- die Wiedergewinnung von Monomeren zur Plastproduktion
- die energetische Nutzung (Verbrennung)

Die plasttypische Wiederverwertung unter Erhaltung der Werkstoffeigenschaften ist immer dann gegeben, wenn die sortenreine und wenig verschmutzte Rückführung von thermoplastischen Plastaltstoffen gegeben ist (Duroplaste sind für das Recycling nicht geeignet). Das Recyclat wird zerkleinert, mit Kunststoffadditiven (Stabilisatoren, Pigmenten, Verarbeitungshilfsstoffen) versetzt und nach den üblichen Formgebungsverfahren zu typischen Plastartikeln (Rohre, Behälter, Folien) verarbeitet, zum Teil auch in Anteilen bis zu 30% in Mischung mit Primärplasten. Zu beachten ist allerdings, dass sich die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften bei mehrmaligem Kreislauf durch verändertes chemisches Eigenschaftsbild (hervorgerufen durch natürliche Alterungsprozesse und die thermische Belastung bei der Wiederverarbeitung) sowie durch Mischung unterschiedlicher Typen eines bestimmten Plasts von Stufe zu Stufe verschlechtern. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer Produktkaskade. Das Material wird dann jeweils für Verwendungen eingesetzt, die geringere Forderungen an die Werkstoffeigenschaften stellen (Tabelle 18.4.).

Produktqualität	Einsatzmöglichkeit
Primärgranulat	Primärerzeugnisse
Regranulat sortenrein	Dünne Folien, Schrumpffolien
Regranulat sortenähnlich	Verpackungsmaterial, Beutel, Tragetaschen
Mischplast	Verpackungsmaterial, Müllbeutel, Zuschlagstoffe
Plastverbunde, hochverschmutzt hygienisch bedenklich	Nutzung des Heizwertes, Verbrennung

Tabelle 18.4. Produktkaskade für Polyolefine

Technologisch schwieriger und aufwendiger gestaltet sich die Kreislaufführung für gemischte und verschmutzte Altplaste, wie sie vor allem in Haushaltsabfällen vorliegen. Nach ihrer Reinigung werden diese Plastabfälle zerkleinert und mittels spezieller Trennverfahren in weitgehend artenreine Plastfraktionen zerlegt. Dazu nutzt man die unterschiedliche Dichte der einzelnen Plastarten. In dem Schwimm-Sink-Verfahren (Abb.18.10.) werden die einzelnen Plastarten (z.B. Polyethylen und PVC) in einem Wasserwirbel nach ihrem spezifischen Gewicht getrennt. So gewonnene Recyclate sind für eine ganze Reihe von Anwendungsgebieten geeignet. Probleme ergeben sich allerdings durch Qualitätsschwankungen, Farbabweichungen und Eigengeruch.

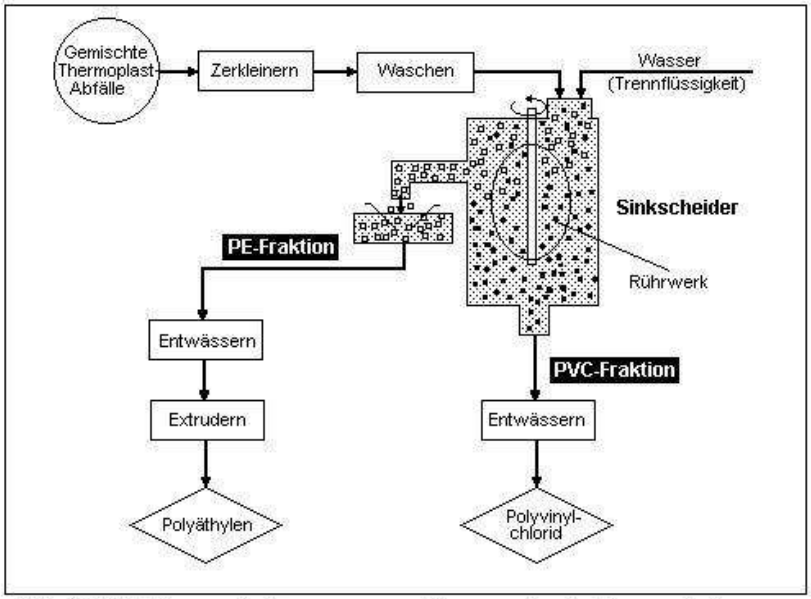


Abb. 18.10 Schema der Trennung von Thermoplastabfällen nach dem Schwimm-Sink-Verfahren

Für Plastabfälle aus Produktverbunden, für Alttextilien aus synthetischen Fasern, hygienisch nicht einwandfreie Abfälle und für Wiederverwertungsrückstände kommen chemische Recyclingtechnologien (Hydrolyse, Pyrolyse oder enzymatischer Abbau) oder schließlich die thermische Nutzung durch Verbrennung in Frage.

Die *Pyrolyse* ist ein technologisches Verfahren zur Aufspaltung langkettiger Kohlenwasserstoffe. Je nach Temperaturregime unterscheidet man zwischen Tieftemperatur- (bis 500°C), Mitteltemperatur- (bei 800-1200°C) und Hochtemperatur- (bei 1700°C) -Pyrolyse. Für die Pyrolyse eignen sich neben Altplasten auch Altreifen, Altöle und organische Bestandteile des Hausmülls. Abb.18.11. zeigt das Prinzip einer Mitteltemperaturpyrolyse. Das Einsatzmaterial wird nach Zerkleinerung im Schredder zunächst von Glas- und Metallbestandteilen befreit. In einem Wirbelschichtreaktor erfolgt bei 700-900°C unter Luftabschluss die Pyrolyse. Aus den heißen Pyrolyseprodukten wird Staub und Ruß als Müllkoks abgeschieden und nach Kühlung das

Pyrolyseöl (mit Aliphaten, Benzol, Toluol, Styrol u. a. Bestandteilen) von den gasförmigen Bestandteilen (z.B. Methan, Ethylen, Wasserstoff, Kohlenmonoxid) abgetrennt. Die flüssigen Anteile machen 40-50% des Hydrolyseprodukts aus, die gasförmigen 10-50%. Die einzelnen Fraktionen des Pyrolyseöls können als Chemierohstoff, als Heizöl oder als Bitumenzusatz genutzt werden. Das Pyrolysegas liefert die Energie für den Betrieb der Anlage. Der Müllkoks enthält ebenfalls etwa 5000 kcal/kg.

Die *Hydrolyse* wird vorwiegend für hochwertige Plastabfälle (Polyurethane, Polyester, synthetische Alttextilien) angewandt, die nicht durch thermoplastische Aufbereitung und erneute Formgebung aufgearbeitet werden können. Das Altmaterial wird dabei je nach chemischer Zusammensetzung in Reaktoren auf 120-300°C bis zu 30 Minuten erhitzt. Die entstehenden monomeren Spaltprodukte können wieder in der Plastherstellung eingesetzt werden. Das chemische Recycling von Plastabfällen gewinnt zunehmend an Bedeutung, nachdem Großanlagen für die Gewinnung organischer Zwischenprodukte und chemischer Grundstoffe entwickelt wurden.

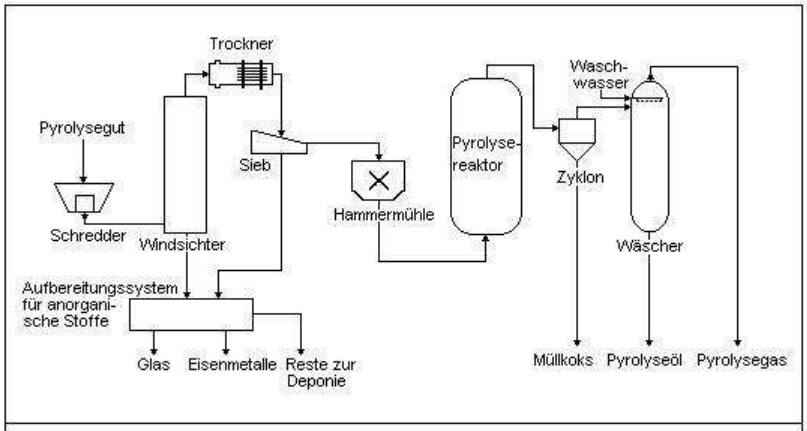


Abb.18.11. Fließbild der Altplastpyrolyse

Die letzte Stufe der Plastverwertung vor der Deponierung ist die Verbrennung zur Nutzung des Energieinhaltes der Altplaste. Er liegt mit 46 000 kJ/kg noch über dem von Heizöl.

Altmetalle werden im Allgemeinen sortenrein erfasst und müssen vor ihrem Wiedereinsatz in metallurgischen Prozessen lediglich zerkleinert werden. Im Bereich der Konsumtion fallen Metalle allerdings oft in Verbindung mit Plasten an. Das trifft u. a. für Elektrokabel zu. Für die Rückgewinnung des Aluminiums aus Kabeln wurde eine Technologie auf der Basis der *Kryotechnologie* entwickelt. Die Altkabel werden in 30 m langen Drehrohrkühlern mit flüssigem Stickstoff bis auf -50 bis -120°C unterkühlt. Der Stickstoffverbrauch liegt bei 0,6 kg je kg Aluminium. Das versprödete Isolationsmaterial kann so in Schlagprallbrechern zerkleinert und in einer Siebtrommel von den Leiterdrähten separiert werden. Das Isoliermaterial wird stufenweise in Papier, Textilfasern und Plaste getrennt. Abschließend wird der Aluminiumschrott in Pressen paketiert und den metallurgischen Prozessen zugeführt (Abb.18.12.).

Das *Prinzip der Mehrzwecknutzung* wird auf Sekundärrohstoffe angewandt, die nicht stofftypisch regeneriert werden können, deren Inhaltstoffe aber eine anderweitige Verwendung ermöglichen. Zu dieser Gruppe von Sekundärrohstoffen zählen die zum Teil in großen Mengen anfallenden Kraftwerksaschen, Bauschutt, Schlacken und Klärschlämme. Kraftwerksaschen und Schlacken finden bereits zum erheblichen Teil in der Baumaterialienindustrie Verwendung. Sie werden als Zumahlstoffe in der Zementindustrie und als Zuschlagstoffe für die Betonherstellung eingesetzt sowie auf Mineralwolle und Formsteine verarbeitet. Kalkhaltige Aschen und Klärschlämme eignen sich auch als Dünge- und Bodenverbesserungsmittel.

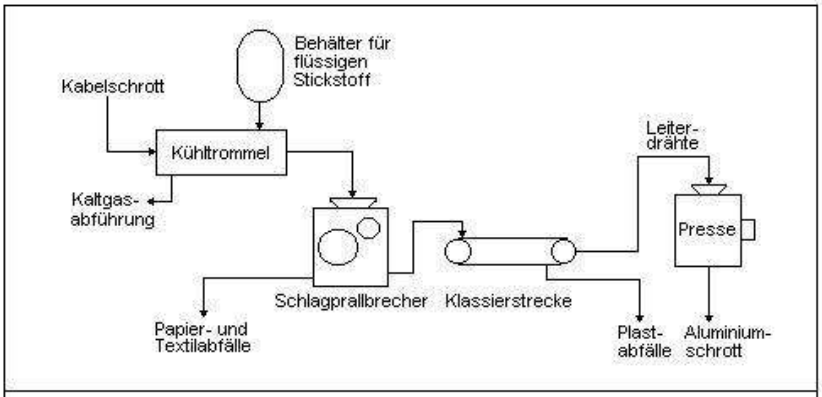


Abb.18.12. Kryotechnische Rückgewinnung von Aluminium aus Kabelschrott

18.5. Materialsubstitution

Unter Materialsubstitution verstehen wir den Einsatz neuer oder weiterentwickelter effektiverer Werkstoffe und Rohstoffe mit höheren stofflichen, technologischen und ökonomischen Kennwerten an Stelle der traditionell eingesetzten Materialien mit dem Ziel einer technisch oder wirtschaftlich besseren Lösung. Sinnvolle Substitutionsmöglichkeiten sind immer dann gegeben, wenn die Verwendung des neuen Werkstoffs wegen seiner spezifischen Werkstoffkennwerte eine wesentliche Materialeinsparung ermöglicht, ein qualitativ höheres Niveau des technischen Erzeugnisses verspricht oder wenn der Substitutionswerkstoff rationellere Bearbeitungsmöglichkeiten bzw. geringere Verarbeitungskosten ermöglicht. Zunehmend wird auch die mögliche Wiederverwendung des Materials als Sekundärrohstoff nach dem physischen und moralischen Verschleiß ein Kriterium für Substitutionsprozesse. Meist wirken mehrere dieser Faktoren zusammen.

Die Werkstoffsubstitution wird in verschiedenen Formen realisiert. Der Austausch kann innerhalb einer Werkstoffart erfolgen, z.B. durch Substitution traditioneller Massenstähle durch hochwertige Stähle, durch Ersatz von Schnittholz und Furnieren durch Spanplatten oder durch den Austausch des Nichteisenmetalls Kupfer durch das NE-Metall Aluminium *(innere Substitution).*

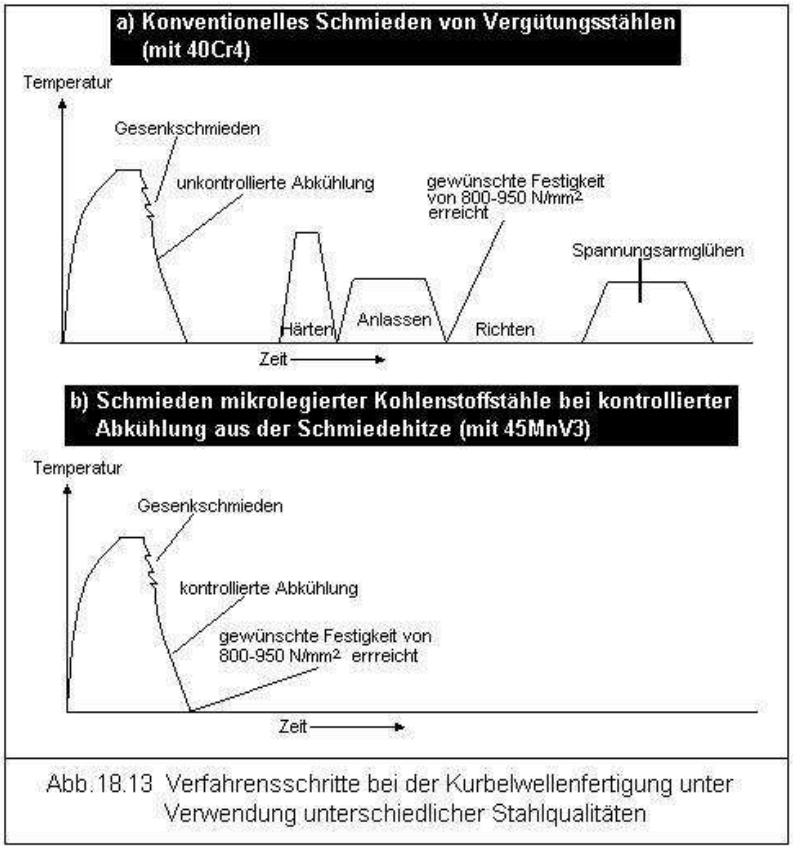


Abb.18.13 Verfahrensschritte bei der Kurbelwellenfertigung unter Verwendung unterschiedlicher Stahlqualitäten

Der Einsatz mikrolegierter Kohlenstoffstähle anstelle von Vergütungsstählen spart neben Legierungsmetallen vor allem ganze Verfahrensschritte und beträchtliche Energiemengen ein. Bei kontrollierter Abkühlung können sie im so genannten "schmiedeperlitischen Zustand" ohne nachfolgende Wärmebehandlung (Härten, Anlassen, Spannungsarmglühen) eingesetzt werden (Abb.18.13.).

Bedeutende materialökonomische und wirtschaftliche Effekte werden durch die Substitution von Werkstoffen verschiedener Art erreicht (*äußere Substitution*). Solche Austauschprozesse betreffen die Substitution von Metallen, Holz, Leder oder Naturfasern durch organische Hochpolymere oder andere neuartige Werkstoffklassen. Auf dem Gebiet der Lichtleitertechnik kann durch hochwertige Glasfaserkabel zugleich die störungsfreie und verlustarme Informationsübertragung mit vervielfachten Übertragungskapazitäten bei hoher Materialeinsparung realisiert werden. Durch 1 g solchen optischen Glases können je nach Kabeltyp und Übertragungskapazität 0,6 bis 6 kg Kupfer substituiert werden. Die Gesamtmasse des Kabels wird dabei, bezogen auf die gleiche Übertragungsleistung, um etwa 90% reduziert.

Einen Eindruck von den durch Substitutionsprozesse erreichbaren Effekten und Wirkungen geben die in den Tabellen 18.5. und 18.6. angeführten Beispiele aus dem Maschinenbau und aus der Elektrotechnik.

Effekt	Stahl ⟶ Plast	
Rationalisierung der Fertigung	Gießen und Spanen	Spritzgießen
Aufwandsminimierung der lebendigen Arbeit	100%	15 - 40%
Verringerung der Materialverluste	30 - 40%	5 - 10%
Verringerung der Fertigteil-Massen	100%	10 - 30%

Tabelle 18.5. Substitutionseffekte bei unterschiedlicher Art der Fertigung

Effekt	Massekabel ⟶ PE-Kabel	
Rationalisierung der Fertigung	Ap = 100% (Wickeltechnologie)	Ap = 400% (Extrusionstechnologie)
Verringerung der Kabelmasse	5 839 kg / km 100%	3 711 kg / km 64%
Verbesserung der Gebrauchseigenschaften:		
* maximale Dauertemperatur	+ 55%	+ 90%
* maximale Kurzschlußtemperatur	+ 145%	+ 250%
* lastunabhängiger Verlust	300 W / km	30 W / km

Tabelle 18.6. Substitutionseffekte bei Elektrokabeln

Literatur

18.1 J. Kramer, Die Entwicklungstendenzen der stofflichen Arbeitsgegenstände im Rahmen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, Dissertation B, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1983

18.2 Autorenkollektiv, Industrielle Produktionstechnik, Berlin 1979

18.3 J. R. Glauber, Miraculum mundi..., Amsterdam 1653

18.4 H. H. Emons / H. Kaden, Schätze im Abfall? Leipzig 1983

18.5 N. Moc, Schlankheitskur für die Technik, Leipzig 1982

18.6 F. Hilbert, Neue Werkstoffe, Voraussetzung und Ergebnis der Anwendung von Schlüsseltechnologien, Berlin 1988

18.7 J. Wietling / R. Mikut, Sekundärrohstoffeinsatz, Berlin 1982

18.8 Autorenkollektiv, Werkstoffe mit Zukunft, Leipzig 1977

19. Strategien und Prinzipien der rationellen Energienutzung

19.1. Notwendigkeit und Hauptrichtungen der rationellen Energienutzung

Die Verfügbarkeit ausreichender Mengen technisch nutzbarer Energie ist eine wesentliche Bedingung für die Produktion materieller Güter und den Technikeinsatz überhaupt. In allen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens, in der Produktion, im Verkehrswesen, in der Wirtschaft, in den nichtproduktiven Bereichen und auch in der Individualsphäre gehört die Energie zu den unabdingbaren Voraussetzungen eines funktionierenden Geschehens. Die Menge der verfügbaren Energien war aber immer mehr oder weniger begrenzt und hat die gesellschaftliche Entwicklung oft in tiefgreifender Weise - fördernd oder hemmend - beeinflusst. In Zeiten technischer Umwälzungen trat dieser Zusammenhang besonders deutlich hervor, meist in Gestalt der Notwendigkeit, neue, ergiebigere und umfangreichere Energiequellen zu erschließen oder Energie in neuer Form technisch anzuwenden (vgl. Kapitel 9.2.).

In der gegenwärtigen wissenschaftlich-technischen Revolution ist die Energie zu einem der globalen Probleme der Menschheit geworden. Von seiner Lösung wird die weitere Entwicklung der Wirtschaft, der Gesellschaft und der Umwelt regional und weltweit in wesentlichem Maße bestimmt. Nur wenige Länder können ihren Energiebedarf aus eigenen Quellen decken. Es bestehen deshalb starke internationale Verflechtungen und Abhängigkeiten. Energiekrisen können weltweite Folgen für die politische und wirtschaftliche Stabilität haben. Von Bedeutung ist weiterhin, dass die Energiewirtschaft durch eine sehr hohe Investitionsintensität und durch relativ lange Entwicklungszeiträume charakterisiert wird. Die starke Verflechtung der Energiewirtschaft mit allen Zweigen der Volkswirtschaft macht die zuverlässige und bedürfnisgerechte Energiebereitstellung zu einer notwendigen Bedingung für wirtschaftlichen Fortschritt.

Seit Beginn der wissenschaftlich-technischen Revolution in der Mitte des 20.Jahrhunderts hat sich der Primärenergieverbrauch auf der Erde verdreifacht. Dieser überproportional ansteigende Energieverbrauch hat erstmals die Begrenztheit der Energieressourcen des Menschen deutlich werden lassen. Wenn auch die heute bekannten Kohlevorräte bei dem gegenwärtigen Bedarf noch über Jahrhunderte reichen, so sind doch Erdöl und Erdgas nur noch wenige Jahrzehnte verfügbar. Der weiter ansteigende Energiebedarf macht deshalb den rationellen Energieeinsatz zu einer erstrangigen Aufgabe.

Sparsamer Energieeinsatz bedeutet zugleich Umweltentlastung, weil Energieverbrauch immer auch mit Umweltbelastung verbunden ist. Die Verbrennung riesiger Mengen Kohle, Erdöl und Erdgas führt zu einem steigenden CO_2-Gehalt der Atmosphäre mit klimaändernden Konsequenzen (Treibhauseffekt). Sie belastet trotz bedeutender technologischer Fortschritte die Lufthülle der Erde mit Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden und staubförmigen Abprodukten, sie braucht bedeutende Wassermengen für den Kraftwerksbetrieb und verursacht den Anfall großer Mengen Kraftwerksaschen. Bei der Kernenergie sind die Risiken der Reaktorsicherheit und die Endlagerung hochaktiver und langlebiger Kernbrennstoffabfälle umweltrelevante Faktoren.

Senkung der Energieintensität technologischer Prozesse und technischer Systeme ist schließlich auch mit einer Aufwandsminimierung hinsichtlich der Kosten verbunden.

Als wesentliche Triebkräfte und stimulierende Faktoren für das Primat der rationellen Energieanwendung gegenüber der extensiven Ausweitung der Energieerzeugung können deshalb zusammenfassend genannt werden:

- der Widerspruch zwischen dem schnell steigenden Energiebedarf und den schwieriger werdenden Möglichkeiten der Erweiterung des Primärenergieaufkommens.
- das durch die Energierationalisierung erzielbare volkswirtschaftliche Aufwand-Nutzen-Verhältnis
- die Verbesserung der Ökonomie der Wirtschaftseinheiten durch rationelle Energieanwendung
- die Schonung der energetischen Ressourcen der Erde
- die Anforderungen des Umweltschutzes.

Eine Abschätzung der Einsparungsmöglichkeiten und des Einsparungspotentials verlangt eine Analyse der gegenwärtigen Struktur des Energiebedarfs und des Entwicklungsstandes sowie der Entwicklungstendenzen von Technik und Technologie. Die volkswirtschaftliche Bilanz der in den einzelnen Umwandlungs- und Nutzungsstufen auftretenden Verluste von der Primärenergie bis zur Nutzenergie veranschaulicht das Energieflussbild der BRD (Abb.19.1.). In der ersten Stufe, der Umwandlung von der Primärenergie zur Endener-

gie liegen die Umwandlungsverluste zwischen 35 und 40%, in der zweiten Stufe, der Überführung der Endenergie in Nutzenergie durch den Verbraucher betragen die Anwendungsverluste bezogen auf die Gesamtbilanz 25-30%, bezogen auf die dem Verbraucher zugeführte Endenergie rund 50%. Diese Verluste sind aber keineswegs mit dem Einsparungspotential gleichzusetzen. Sie sind zu einem wesentlichen Teil naturgesetzlich bedingt. Das realisierbare Einsparungspotential bestimmt sich aus mehreren Faktoren: es wird einmal limitiert durch die Naturgesetze (theoretisches Einsparungspotential), des Weiteren durch den Entwicklungsstand der Technik (technisch mögliches Einsparungspotential), durch die Aufwand-Nutzen-Relation (ökonomisch sinnvolles Einsparungspotential) und durch das ökologisch vertretbare Potential.

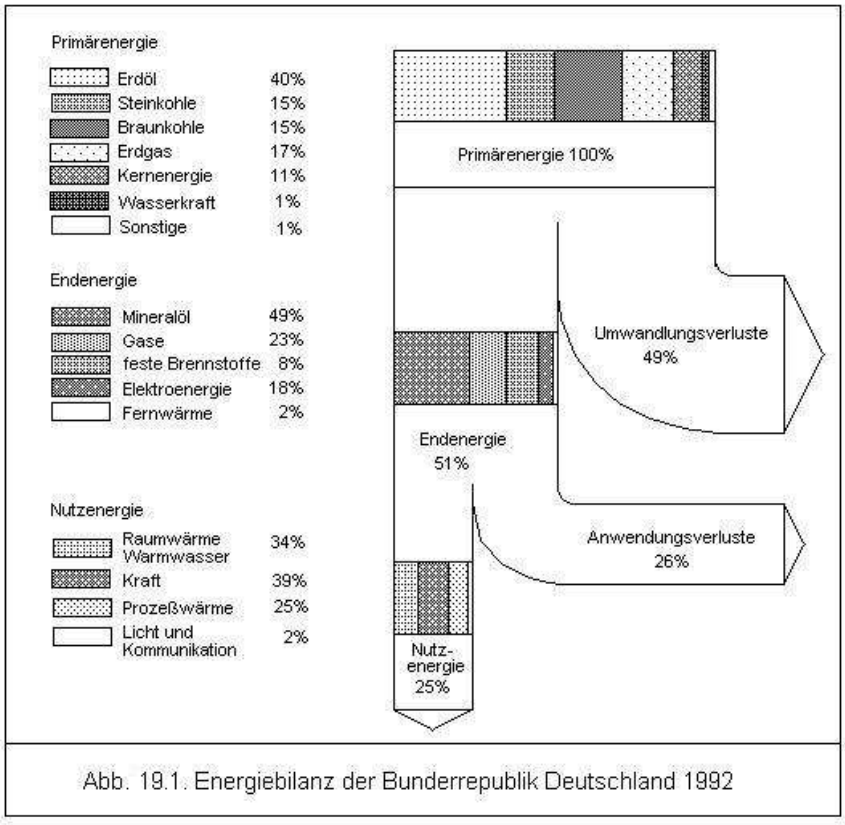


Abb. 19.1. Energiebilanz der Bunderrepublik Deutschland 1992

Die in der Energiewirtschaft eingesetzten Großanlagen zur Erzeugung von Endenergie schöpfen die Potenzen der angewandten Wirkprinzipien technisch bereits weitgehend aus. Das technisch erreichbare, ökonomisch gewünschte und ökologisch vertretbare Minimum beeinflussbarer Energieverluste weist aber trotzdem auch im Bereich der Endenergieerzeugung noch viele Reserven auf. Wesentliche Fortschritte bei der Erhöhung des Wirkungsgrades der Primärenergiewandlung in Endenergie sind allerdings erst durch die Anwendung neuer Wirkprinzipien und Technologien zu erwarten.

Der durchschnittliche *Wirkungsgrad der wichtigsten Wandlungsprozesse* der Primärenergie zur Endenergie beträgt bei der

- Elektroenergieerzeugung 32%
- Dampferzeugung 68%
- Stadtgaserzeugung 83%
- Heizölerzeugung 84%
- Brikettierung 93%.

Für eine reale Bewertung des Wirkungsgrades sollten auch die Transportverluste auf dem Wege vom Erzeuger zum Verbraucher nicht vernachlässigt werden, die bei der Elektroenergie und Gas etwa 10% und bei Fernwärme bis zu 8% betragen. Letzten Endes ergibt sich, dass von der eingesetzten Primärenergie durch Umwandlungs-, Transport- und Anwendungsverluste nur etwa 25 bis 30% als Nutzenergie wirksam werden.

Der Schwerpunkt der Möglichkeiten zur Energieeinsparung liegt im Bereich der Energieanwendung. Dieser Aspekt bestimmt die folgenden Darstellungen.

Die durchschnittlichen Anwendungsverluste von 50% weisen in den einzelnen Anwendungsbereichen naturgemäß große Unterschiede auf (Tabelle 19.1.).

Nutzenergie-form	Anwendungsbereich	Endenergieform	Energie-nutzungsgrad in %
Wärme	Wärmeprozesse < 400 °C	Elektroenergie	80
		Dampf	66
		Gas, Kohle	50
	Raumheizung	Kohle	60
		Dampf	70
		Elektroenergie	100
	Wärmeprozesse > 400 °C	Steinkohle, Koks	30
		Braunkohle	20
		Gas	20
		Heizöl	30
		Elektroenergie	25
	Elektrolyse	Elektroenergie	90
Kraft	Antrieb von Maschinen	Elektroenergie	70
		Dampf	25
		Gas, Kohle	20
	Antrieb von Fahrzeugen	Treibstoffe	30
		Elektroenergie	50
		Dampf	10
		Kohle	8
Licht	Beleuchtung	Elektroenergie	12

Tabelle 19.1. Energienutzungsgrade bei der Umwandlung von Elektroenergie in Nutzenergie (nach Riesner)

Aus den bisherigen Überlegungen ergeben sich hinsichtlich der Zielsetzung nach einer rationellen Energienutzung drei prinzipielle Anforderungen:

- der Energieaufwand bei der Herstellung von Erzeugnissen und ihrer Nutzung muss minimiert werden (Senken des spezifischen Energiebedarfs),
- Energieverluste in technologischen Prozessen und bei der Techniknutzung sind zu minimieren (Verbessern der Wirkungs- und Nutzungsgrade der Energie),
- Anfallenergien müssen weitgehend als Sekundärenergien genutzt werden.

Aus der Gesamtproblematik der Rationalisierung der Energieanwendung lassen sich unter allgemeintechnologischem Aspekt eine Reihe grundlegender Strategien und Prinzipien ableiten, die der Lösung der Zielstellung dienen (Abb.19.2.).

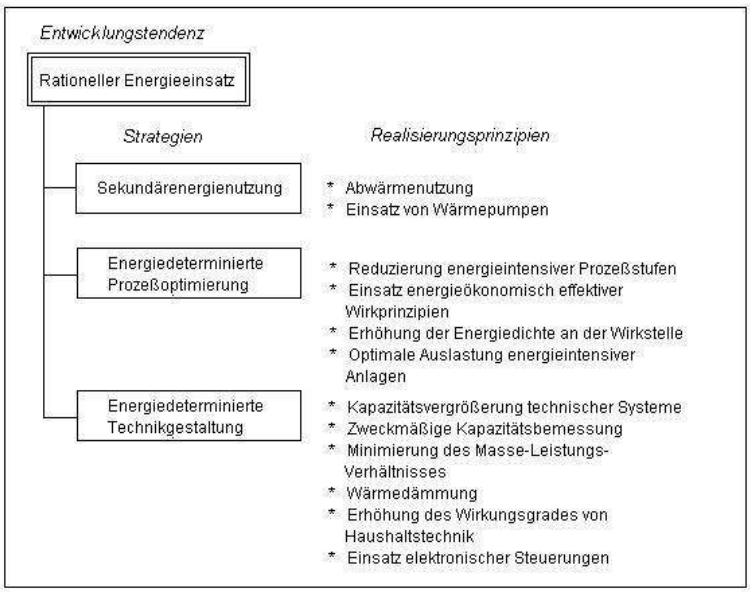


Abb. 19.2. Struktur der Entwicklungstendenz "Rationeller Energieeinsatz"

19.2. Sekundärenergienutzung

Bei vielen industriellen Prozessen wird gegenwärtig die eingesetzte Energie nur unvollständig genutzt. Da Energie nicht verloren gehen kann, tritt uns dieser nicht genutzte Anteil als Anfallenergie entgegen. Unter *Anfallenergie* versteht man die bei Bearbeitungsvorgängen neben dem eigentlichen Bearbeitungsziel naturgesetzlich und technologisch bedingt anfallende Energie, die noch Exergie enthält, also technisch nutzbar ist. Die Anfallenergie tritt zu 90% in Form von Abwärme (Abgaswärme, Kühlwasserwärme, Schlackenwärme, Produktwärme) und zu 10% als chemisch gebundene Energie (Gichtgas, Brikettabrieb, Schlammkohle, chemisch nicht nutzbare Ölschlämme) auf.

Die Abwärme hat deshalb besondere Bedeutung, weil der Wärmebedarf den umfangreichsten Anteil des Nutzenergiebedarfes (59%) ausmacht und weil die Wärmeenergie die verlustreichste Energieform darstellt. Rationalisierungsmaßnahmen weisen deshalb bei Wärmeprozessen eine hohe Effektivität auf. Insbesondere die Hochtemperaturprozesse (>400°C) bieten bedeutende Potenzen, Energiereserven zu erschließen. Hauptsächliche Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme sind das Vorwärmen von Verbrennungsluft, Brennstoffen und Arbeitsgegenständen, die Dampferzeugung und die Heißwassererzeugung. Das nutzbare Potential dieser Anfallenergien wird auf 10% des Primärenergieverbrauchs geschätzt. Von erheblicher ökonomischer Bedeutung ist die Tatsache, dass die Aufwendungen für die Sekundärenergienutzung nur 15-20% der Kosten für die Bereitstellung zusätzlicher Primärenergieträger ausmachen.

Die produktive *Nutzung der Abgaswärme*, die bei manchen Prozessen mehr als die Hälfte der eingesetzten Energie ausmacht, ist eine der zentralen Aufgaben der energiewirtschaftlichen Rationalisierung (Tabelle 19.2.).

Art des Prozesses	Abgasmenge (m^3/ h)	Abgastemperatur (°C)	Nutzbare Wärmemenge (10^3kcal / h)
Rohöldestillation	42 000	450	4 400
Teerdestillation	8 000	630	1 300
Kalzinieren von Soda	12 000	450 - 500	1 300
Kalzinieren von $NaHCO_3$	19 000	400 - 520	1 300
Stahlerzeugung	40 000	600 - 650	6 500
Glasschmelzen	7 000	450	710

Tabelle 19.2. Abgaswärme von Hochtemperaturprozessen (bezogen auf jeweils ein Aggregat)

Sie kann vor allem durch Wärmeaustauscher realisiert werden, in denen die Wärmeenergie eines heißen Mediums an ein kälteres abgegeben wird. Man unterscheidet Rekuperatoren und Generatoren. *Rekuperatoren* arbeiten kontinuierlich nach dem Gegenstrom-, Gleichstrom- oder Querstromprinzip. Die wärmeaustauschenden Medien sind dabei durch eine Trennwand isoliert. *Regeneratoren* arbeiten diskontinuierlich. Sind besitzen eine gerade Zahl von Kammern, deren eine Hälfte jeweils durch die heißen Gase erhitzt werden, während die andere Hälfte die gespeicherte Energie an das zu erwärmende Medium abgibt. In bestimmtem Rhythmus werden die Kammern umgeschaltet. Abb.19.3. stellt den Wärmefluss in einem Industrieofen ohne und mit Luftvorwärmung gegenüber. Eine Vorwärmung der Verbrennungsluft um 100 K entspricht einer Energieeinsparung von etwa 5%.

Reserven liegen weiterhin in der *Wärmerückgewinnung aus Abluft* bei zwangsbelüfteten und klimatisierten Industriehallen und vielgeschossigen Wohn- und Gesellschaftsbauten. In der Heizperiode muss die Frischluft vorgewärmt werden, ehe sie den Belüftungs- und Klimaanlagen zugeführt wird. Die in gleichem Umfang abzusaugende verbrauchte Raumluft kann über regenerativ wirkende Wärmeaustauschsysteme ihre Wärme auf die Frischluft übertragen. Dabei sind Wärmerückgewinnungsraten bis zu 70% möglich.

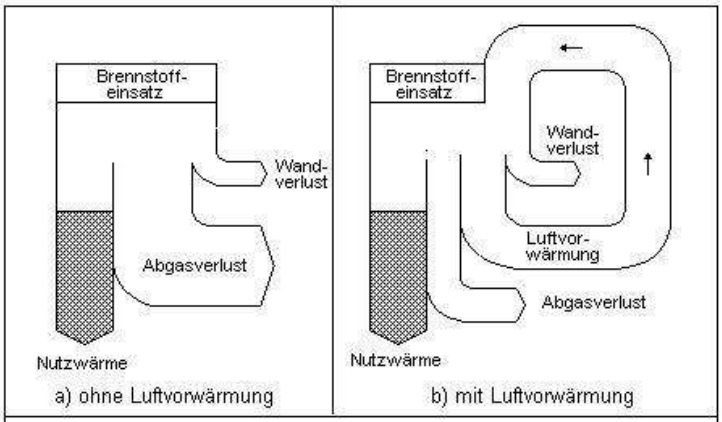


Abb.19.3. Wämeflußbild eines Industrieofens

Eine weitere Quelle für die Nutzung von Sekundärenergien ist die *Feststoffwärme*. Eine Reihe von Zwischenprodukten und Rohprodukten (z.B. Zementklinker, Branntkalk, Stahlgussblöcke, Ziegel, Glaserzeugnisse) besitzen hohe Anfalltemperaturen und müssen vor ihrer Weiterverarbeitung einem speziellen Kühlregime unterworfen werden. Sie enthalten große Mengen z. T. bisher ungenutzter Abwärme (Tabelle 19.3.).

Feststoff	Mittlere Anfall-temperatur in °C	Feststoff	Mittlere Anfall-temperatur in °C
Koks	950	Kalziumkarbid	2 000
Zementklinker	1 400	Hochofenschlacke	1 400
Branntkalk	1 100	Roheisen	1 400
Schamotte	1 400	Rohstahl	1 675

Tabelle 19.3. Feststoffabwärmeträger

Die hohen Anfalltemperaturen bieten gute technologische Möglichkeiten für die Wärmenutzung. Allerdings ergeben sich bei einer Reihe von Wärmeträgern insofern technologische Probleme, weil für sie ein bestimmtes Abkühlregime eingehalten werden muss. Abbildung 19.4. zeigt das Prinzip einer Kühlanlage für stückige Feststoffe mit Wärmerückgewinnung.

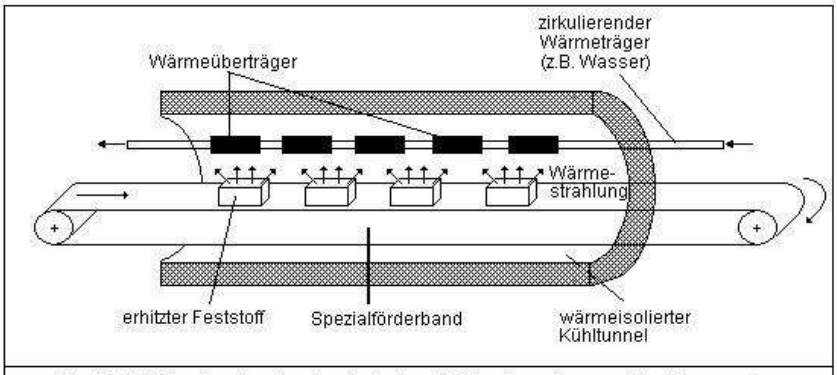


Abb.19.4. Prinzip einer kontinuierlichen Kühlanlage für stückige Feststoffe mit Wärmerückgewinnung

Der *Einsatz von Wärmepumpen* ist ein weiteres Prinzip zur Sekundärenergienutzung. Das Prinzip der Wärmepumpe entspricht dem eines Kühlschrankes mit umgekehrter Prozessführung (Abb.19.5.). Die Abwärme niederer Temperatur wird in einem Verdampfer zum Verdampfen eines leichtflüchtigen Kältemittels genutzt. Das entstandene Gas wird in einem Kompressor verdichtet, wobei die Druckerhöhung mit einem wesentlichen Temperaturanstieg verbunden ist. Diese Energie wird in einem Kondensator an das aufzuwärmende Heizwasser abgegeben. Über ein Expansionsventil wird das Gas entspannt und durch die dabei erfolgende Abkühlung verflüssigt. Damit ist der Kreislauf geschlossen. Für die zum Kompressorbetrieb aufzuwendende Operationsenergie wird etwa die dreifache Menge an Wärmeenergie gewonnen. Die Gesamtenergiebilanz

der Wärmepumpe besteht zu einem Viertel aus elektrischer Energie und zu drei Vierteln aus der in der Umwelt gespeicherten Wärme. Als Wärmequellen kommen das Grundwasser, die Außenluft, das Erdreich oder auch die direkte Sonneneinstrahlung (über Absorber) in Betracht. Der mit Wärmepumpen erreichbare Temperaturbereich liegt bei 60°C.

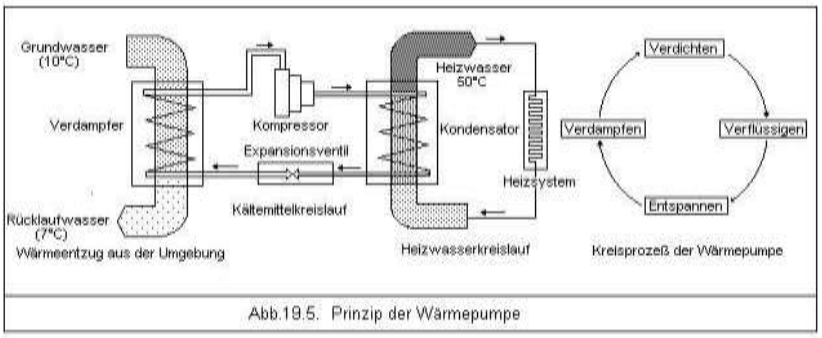


Abb.19.5. Prinzip der Wärmepumpe

19.3. Energiedeterminierte Prozessoptimierung

Da jeder technologische Bearbeitungsvorgang energetische Aufwendungen erfordert und jede energetische Umwandlung immer mit Verlusten behaftet ist, ist das *Prinzip der Verringerung energieintensiver Prozessstufen* ein erfolgversprechender Weg zur energetischen Rationalisierung technologischer Prozesse.

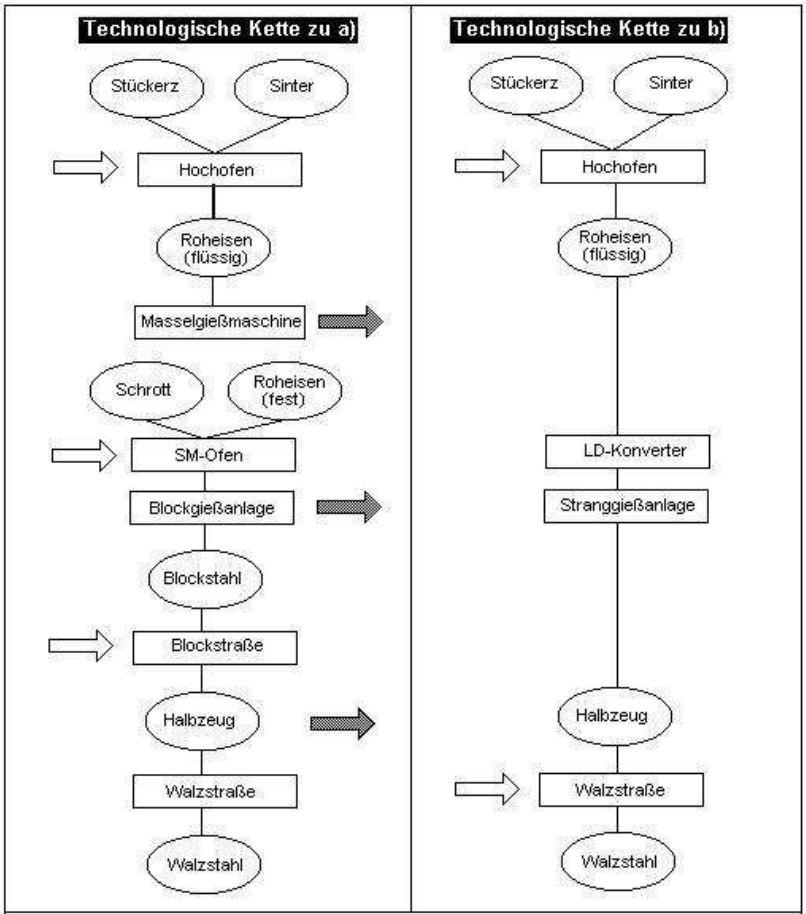


Abb.19.6.Verringerung energieintensiver Prozeßstufen in der Eisenmetallurgie
a) traditionelle Verfahrensführung
b) Vollmetallurgischer Hüttenwerkszyklus bei Anwendung neuer Verfahrensprinzipien

In der Metallurgie lassen sich durch die Kombination einzelner Bearbeitungsvorgänge und durch die Nutzung neuer Wirkprinzipien unnötige Abkühlungen und Wiederaufwärmungen zwischen den Verfahrensschritten vermeiden und damit erhebliche Energiemengen einsparen. In Abbildung 19.6. wird der traditionelle Verfahrensablauf vom Roheisen bis zum Walzstahl einer energetisch optimierten und durch die Anwendung neuer Wirkprinzipien charakterisierten Prozessfolge, wie sie in einem Hüttenwerk mit vollmetallurgischem Zyklus möglich ist, gegenübergestellt.

Schraffierte Pfeile kennzeichnen den Energieeinsatz zur Materialerwärmung, schwarze Pfeile Wärmeverluste durch vermeidbare Materialabkühlungen. Die bedeutendsten Einsparungen ergeben sich durch den Wegfall der Wiedereinschmelzung im Siemens-Martin-Ofen und das Aufheizen der Stahlblöcke vor der Blockstraße sowie durch die Reduzierung der vor der Walzstraße notwendigen Aufheizung des Halbzeugs durch die Nutzung der Restwärme vom Strangguss (Abb.19.7.)

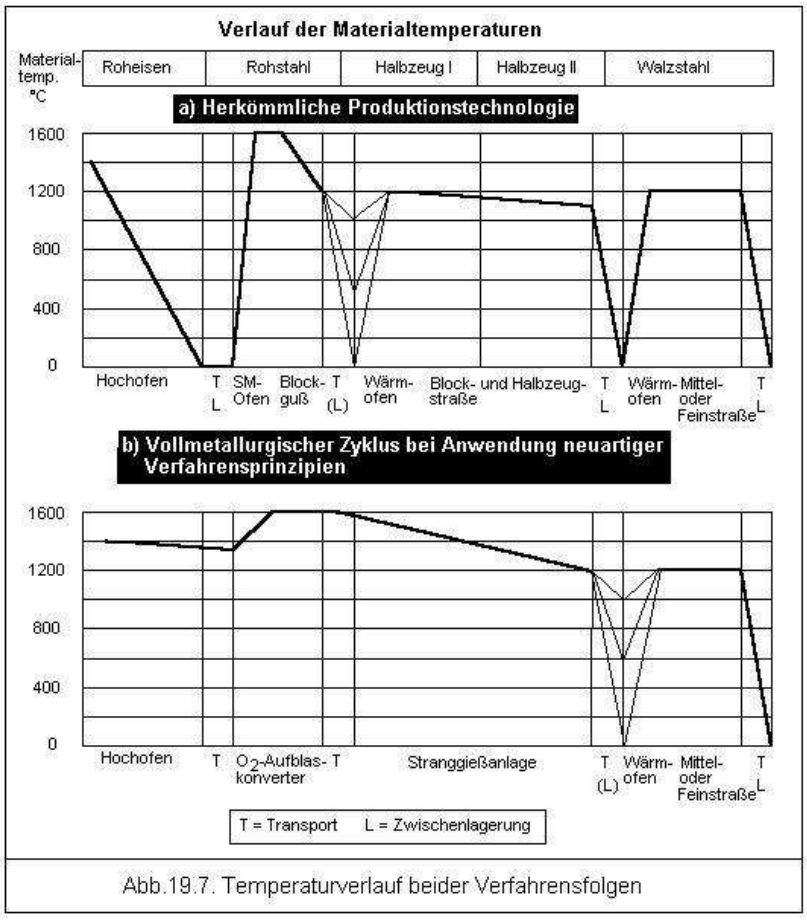


Abb.19.7. Temperaturverlauf beider Verfahrensfolgen

Die *Verkürzung der technologischen Kette* durch Kombination von Umformungs- und Vergütungsverfahren bei der Herstellung von Stahlerzeugnissen vermeidet sonst auftretende Abkühlungs- und energieaufwendige Aufwärmungsvorgänge. Mögliche Verfahrensvarianten sind aus Abbildung 19.8. ersichtlich.

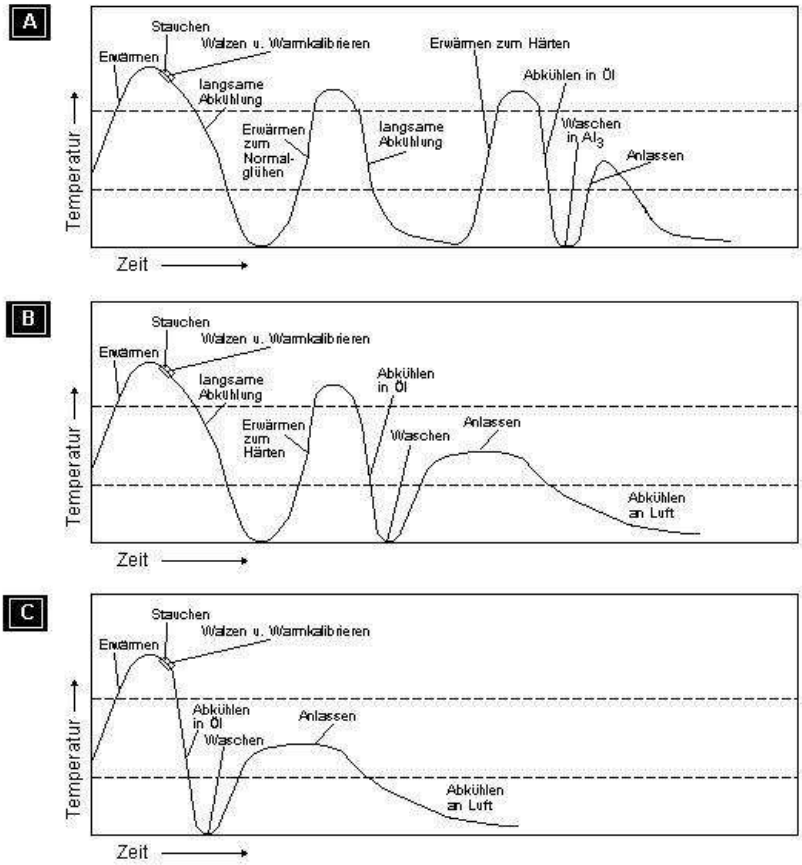


Abb. 19.8. Varianten des Prozeßverlaufs zur Herstellung gleichartiger Werkstücke

In der Metallbearbeitung lassen sich insbesondere im Bereich der Warmumformung durch die *Nutzung energieökonomisch effektiver Wirkprinzipien* energetische Rationalisierungseffekte erreichen. Ein Vergleich des Material- und Energieaufwandes bei der Herstellung von Schmiedeteilen nach dem herkömmlichen Schmieden und dem Pulverschmieden zeigt das (Abb.19.9.).

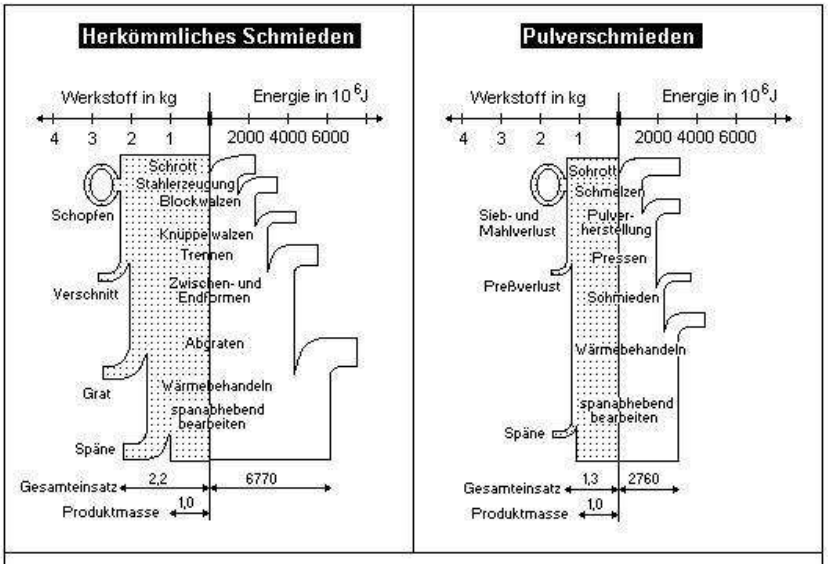


Abb.19.9. Vergleich des Material- und Energieaufwandes beim herkömmlichen Schmieden und beim Pulverschmieden

In zahlreichen Prozessen der chemischen Industrie und der verarbeitenden Wirtschaftszweige muss Stoffen Feuchtigkeit entzogen werden. Das kann sowohl mittels thermischer Wirkprinzipien (z.B. Verdampfen, Warmlufttrocknen) als auch durch mechanische Wirkprinzipien (z.B. Auspressen, Zentrifugieren, Belüften)

erfolgen. Der Energieaufwand für mechanische Verfahren beträgt gegenüber thermischen Verfahren weniger als 1%. Es ist deshalb in den meisten Fällen energetisch zweckmäßig, die Stoffe mechanisch weitgehend vorzutrocknen, bevor thermische Verfahren eingesetzt werden. Die Bedeutung der bevorzugten Nutzung energetisch günstiger Wirkprinzipien wird deutlich, wenn man berücksichtigt, dass in der chemischen Industrie 30 bis 40% der dort eingesetzten Endenergie auf solche thermischen Stofftrennprozesse entfällt. Verdampfen im Vakuum und Kochen unter Druck sind weitere technologische Möglichkeiten zur Senkung des Energieaufwandes.

Das bereits im Zusammenhang mit der rationellen Nutzung der eingesetzten Materialien erwähnte *Gegenstromprinzip* kann auch für die vollständigere Nutzung von Prozessenergie angewandt werden. Die Abgas- und Abwasserwärme sowie die Reaktionswärme von Stoffwandlungsprozessen wird dabei zur Aufheizung und Vorwärmung von Reaktionsgemischen und von Verbrennungsluft genutzt. Die Gegenstromführung von heißem Gut und vorzuwärmenden Stoffen ermöglicht eine weitgehende Energieübertragung auf die Einsatzstoffe.

Eine ähnliche Funktion hat das *Rekuperativprinzip*, das insbesondere in der Eisenmetallurgie und in der Glasindustrie angewandt wird. Die Wärmeenergie der aus dem Hochofen oder dem Siemens-Martin-Ofen austretenden heißen Abgase bzw. des Gichtgases wird in Winderhitzern und Regeneratoren an das Gitterwerk aus feuerfesten Steinen abgegeben und dient dann der Aufheizung frischer Verbrennungsluft.

Die Erhöhung des energetischen Wirkungsgrades technologischer Prozesse betrifft auch die Elektroenergieerzeugung selbst. Der Wirkungsgrad der Kraftwerke liegt bei etwa 40% (Kohlekraftwerke 40%, Kernkraftwerke 33%, Öl- und Gaskraftwerke 42%), d.h. rund 60% der in den Brennstoffen enthaltenen Energien werden ungenutzt in die Umgebung abgegeben. Eine wesentliche Erhöhung des Wirkungsgrades lässt sich durch die sogenannte *Kraft-Wärme-Kopplung* erreichen. Der Dampf wird dabei mit etwa 100°C der Turbine entnommen und zum Aufheizen von Fernwärmewasser genutzt. Damit reduziert sich die Stromerzeugung zwar etwas, dafür wird aber Heizwärme gewonnen. Der Gesamtwirkungsgrad dieser Kraftwerke lässt sich so auf etwa 60% erhöhen. Moderne Kraftwerksblöcke mit Kraft-Wärme-Kopplung liefern neben 500 MW Strom etwa 300 MW Fernwärme, wobei bei maximaler Wärmeauskopplung die elektrische Leistung auf 450 MW zurückgeht. Vorteilhaft für die KWK-Technologie ist, dass sie sowohl in kleinen wie in großen Kraftwerken, in Kohle- wie in Kernkraftwerken angewandt werden kann. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen KWK-Betrieb ist allerdings ein relativ gleichmäßiger Fernwärmebedarf (Abb. 19.10.).

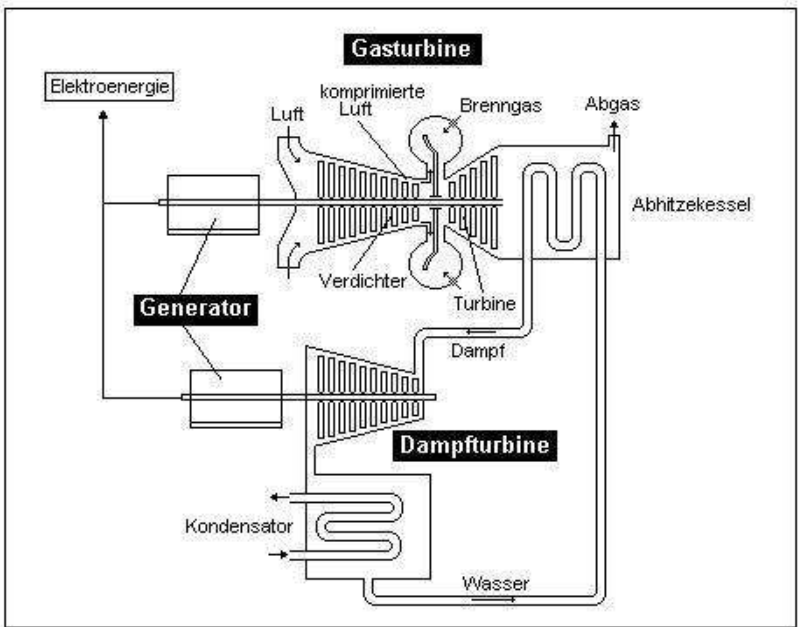


Abb.19.10. Schema einer GuD-Anlage

Zu den wirkungsvollsten und in zahlreichen Produktionszweigen praktizierten Prinzipien zur Senkung der Energieintensität technologischer Prozesse gehört das *Prinzip der Erhöhung der Energiedichte an der Wirkstelle*, weil die Produktivität eines technologischen Prozesses nicht einfach von der eingesetzten Energiemenge, sondern ganz wesentlich auch von ihrer Konzentration an der Wirkstelle abhängt. Wir haben dieses Prinzip bereits im Zusammenhang mit den Prinzipien der Verfahrensintensivierung (vgl. Kap.17.3.) darge-

stellt. Während es dort in erster Linie um die Verfahrensbeschleunigung ging, soll hier hervorgehoben werden, dass es zu einer erheblichen Verringerung des spezifischen Energiebedarfs beiträgt. Bei Wärmeprozessen (Schmelzen, Warmumformung, Schweißen) führt die Erhöhung der Energiedichte durch die erhebliche Verkürzung der Erwärmungszeiten zu einer Senkung des spezifischen Energiebedarfs, weil nur geringe Energieverluste auftreten. Bei Schweißvorgängen kann darüber hinaus die Wärmeeinwirkung stärker lokalisiert und die unnötige Erwärmung anderer Werkstückbereiche eingeschränkt werden (vgl. auch Tabelle 17.1.).

Eine energetische Prozessoptimierung lässt sich schließlich auch durch das *Prinzip der Minimierung des Aufwandes an vergegenständlichter Energie* erreichen. Es ist allerdings weniger ein Prinzip der betriebswirtschaftlichen als vielmehr der volkswirtschaftlichen Energieeinsparung. Jedes Produkt enthält die bei seiner Herstellung aufgewandte Operationsenergie als vergegenständlichte Energie. Die Berücksichtigung dieses Prinzips ist weitgehend mit Energieeinsparungen durch rationellen Materialeinsatz gleichzusetzen. Die Einsparung energieintensiver Materialien oder ihre Substitution durch weniger energieaufwendige bedeutet deshalb eine Senkung der Energieintensität bei der Herstellung von Erzeugnissen. Vergleicht man die Substitution von Stahl durch Plastwerkstoffe, so gilt aus materialökonomischer Sicht, dass 3 kg Stahl durch etwa 1 kg Plast substituiert werden können. Aus energetischer Sicht ergibt sich aber folgendes Bild: zur Herstellung von 1 kg Stahl müssen bei 70% Schrotteinsatz 30 200 kJ (ohne Schrotteinsatz 64 900 kJ) aufgewandt werden, die Herstellung von 1 kg Plasthalbzeug erfordert den Aufwand von 194 700 kJ. Berücksichtigt man das Gewichtsverhältnis von 1 : 3, so stehen sich für die Herstellung gleichartiger Produkte Energieaufwendungen bei Stahl von 30 180 kJ und bei Plast von 64 900 kJ gegenüber. Es zeigt sich damit, dass Materialsubstitutionen aus komplexer Sicht beurteilt werden müssen.

In diesen Bereich fällt auch die Nutzung von Altstoffen und Abprodukten als Sekundärrohstoffe. Während im Kapitel 18.4. der materialökonomische Aspekt der Sekundärrohstoffnutzung betrachtet wurde, soll hier die energetische Seite hervorgehoben werden. So ist die Herstellung von metallischen Halbfabrikaten aus Schrott energetisch wesentlich günstiger als ihre Gewinnung aus Primärrohstoffen. Das gilt ebenso auch für Papier, Glas und Plaste (Tabelle 19.4.).

Werkstoff	Rohstoffbasis Primärrohstoff	Sekundärrohstoff
Stahl	25,1 GJt^{-1}	2,5 GJt^{-1}
Aluminium	58,7 GJt^{-1}	8,4 GJt^{-1}
Plaste (PE)	29,3 GJt^{-1}	0,4 GJt^{-1}
Papier	7-10 GJt^{-1}	0,7 GJt^{-1}
Glas	11,5 GJt^{-1}	1,3 GJt^{-1}

Tabelle 19.4. Energieökonomische Effekte des Sekundärrohstoffeinsatzes

19.4. Energiedeterminierte Technikgestaltung

Der Nutzungsgrad der eingesetzten Endenergie lässt sich auch durch konstruktive Weiterentwicklung technischer Systeme, durch die Nutzung neuer Energiewandlungsprinzipien und durch die Integration moderner Steuerungs- und Regelungstechnik verbessern. Eine Vorstellung von den gegenwärtig erreichten Wirkungsgraden typischer Energiewandlungssysteme gibt Abbildung 19.11.

Unter dem Aspekt der Erhöhung des Wirkungsgrades und der Aufwandsminimierung technischer Systeme hat das *Prinzip der Kapazitätsvergrößerung* allgemeine Bedeutung. Es hat besonders in den stoffwandelnden Industrien, in der Energiewirtschaft und im Transportwesen Verbreitung gefunden. Es zeichnet sich durch sehr komplexe Wirkungen aus. Eine vergleichende Analyse der Relationen zwischen steigender Anlagengröße und wichtigen ökonomischen Kennzahlen weist eine Reihe bedeutsamer Zusammenhänge zwischen Anlagengröße und Effektivität der Produktionsprozesse aus:

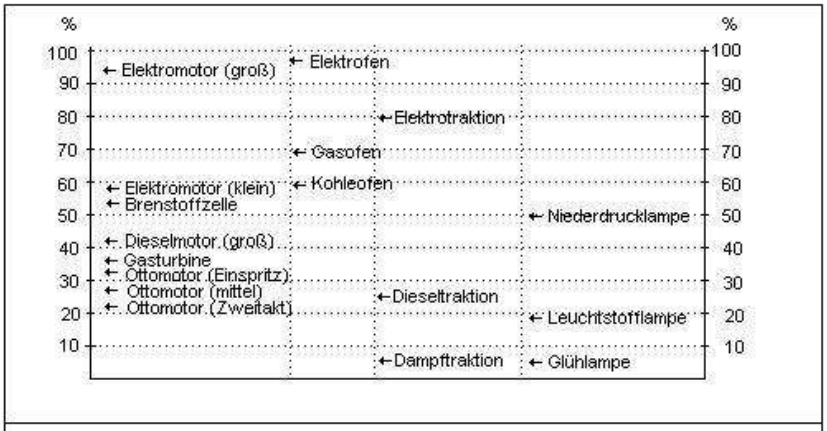


Abb.19.11. Wirkungsgrade von Energiewandlungssystemen

Die Produktionskapazität wächst überproportional gegenüber der Anlagengröße

- die Selbstkosten je Produktionseinheit sinken stark
- die spezifischen Investitionskosten sinken
- der Aufwand an lebendiger Arbeit verringert sich stark
- der spezifische Energieaufwand wird deutlich reduziert.

In unserem Zusammenhang interessiert vor allem der letzte Aspekt, die mit steigender Anlagengröße progressiv sinkende Energieintensität. So beträgt der spezifische Brennstoffverbrauch in Kraftwerken bei Blockgrößen von 100 MW 2800 kcal/kWh gegenüber 2100 kcal/kWh bei 500 MW-Blöcken. Die heute üblichen Blockleistungen liegen für Kohlekraftwerke bei 500 bis 800 MW, für Kernkraftwerke bei 1300 MW.

In Anlagen zur Gewinnung von Sauerstoff und Stickstoff durch Luftverflüssigung entfallen 25 bis 35% auf die Selbstkosten. Durch die Vergrößerung der Anlagenkapazität von 30 auf 200 Tonnen Sauerstoff pro Tag sinkt der spezifische Energiebedarf (als wesentlicher Selbstkostenanteil, da die Rohstoffe der Umgebungsluft entnommen werden) bei Niederdruckanlagen um etwa 15%.

Transportmittel	Transport-kapazität (t)	Spezifischer Energiebedarf (kcal / tkm)	Relativer Energiebedarf (50 kcal / tkm = 1)
Straßentransport			
LKW (Stadtverkehr)	10	300	6
LKW (Fernverkehr)	40	180	3,6
Eisenbahn			
Dampftraktion	1 000	130	2,8
Dieseltraktion	1 000	33	0,7
Elekrtrotraktion	1 000	17	0,35
Binnenschiffahrt			
Gütermotorschiff	700	125	2,5
Schubverband	2 600	46	0,9
Hochseeschiffahrt			
Universalfrachter	12 500	50	1
Supertanker	100 000	45	0,9
Luftfrachtverkehr			
Langstreckenflug	200	600	12
Hubschrauber	100	3 500	70

Tabelle 19.5. Leistungsbedarf von Transportmitteln unterschiedlicher Art und Kapazität

Im Transportwesen nimmt der Leistungsbedarf pro Tonnenkilometer Transportleistung innerhalb der einzelnen Arten der Transportmittel mit zunehmender Einheitengröße stark ab (Tabelle 19.5.). Ursachen dafür sind ein günstigeres Nutzlast-Eigenmasse-Verhältnis und der höhere Wirkungsgrad von Motoren höherer Leistung.

Der Trend zur Anlagenvergrößerung wird allerdings technisch, ökonomisch und ökologisch begrenzt. Aus technischer Sicht ist es vor allem die Beherrschbarkeit der Anlage und die kontinuierliche Material- und Energiebereitstellung, ökonomisch determinieren die Aufwand-Nutzen-Relation und die bei Produktionsstillständen hohen Verluste die Anlagengröße, ökologisch sind es vor allem die mit der Anlagengröße schnell anwachsenden Probleme der Umweltbelastung durch Abprodukte, Luft- und Wasserbelastung.

Bei Industrieanlagen mit wechselnder Kapazitätsauslastung ist das *Prinzip der optimalen Kapazitätsbemessung* erfolgreich zur Energieoptimierung einzusetzen. Jede Produktionsanlage hat einen mehr oder weniger großen Leerlaufbedarf an Energie, der unabhängig von der Anlagenauslastung aufzubringen ist. Bei Anlagen mit hohen Leerlaufzeiten - das trifft insbesondere für Industrieöfen zu - ist es deshalb energetisch zweckmäßig, die Kapazität so auszulegen, dass die betreffenden Anlagen im jeweiligen Betriebszeitraum voll ausgelastet sind. Im Bedarfsfall werden mehrere kleinere, entsprechend dimensionierte Anlagen nebeneinander betrieben. Heizkesselanlagen werden je nach den Witterungsbedingungen sehr unterschiedlich ausgelastet. Deshalb ist es zweckmäßig, die einzelnen Einheiten der Anlagen in ihrer Kapazität so zu staffeln, dass sie den jahreszeitlichen Bedingungen entsprechend im Optimalbereich gefahren werden können. Auch bei Kraftfahrzeugen, Flugzeugen, Haushaltswaschmaschinen kann der Nutzungsgrad durch ein angepasstes Verhältnis von Auslastung und Anlagenkapazität wesentlich verbessert werden.

Der Betrieb von Industrieöfen ist im Allgemeinen mit einem hohen Energieaufwand verbunden, der oft nur zu einem Bruchteil für den technologischen Prozess erforderlich ist. Bei Industrieöfen in der keramischen Industrie beträgt er nach einschlägigen Untersuchungen das Drei- bis Fünffache des technologisch Notwendigen. Der Grund liegt vor allem in den hohen Wärmeverlusten durch die Ofenwandungen. Durch eine *Wärmedämmung* mit geeigneten Dämmstoffen, lassen sich die Verluste wirksam verringern. Solche Dämmstoffe sind spezielle keramische Werkstoffe, die Temperaturbelastungen bis 1600 °C aushalten, einen hohen Luftporenanteil haben und eine ausreichende Festigkeit besitzen. Die Wandverluste lassen sich auch durch eine optimierte geometrische Wandausbildung reduzieren. Eine interessante Variante der Abgaswärmereduzierung ist die sogenannte "innere Rekuperation" (Abb.19.12.). Ein Teil der Abgaswärme wird in einem zusätzlichen inneren Mauerwerk gespeichert, wodurch die Abgas- und Außenwandtemperaturen gesenkt und der spezifische Energieaufwand um 15 bis 20% reduziert werden.

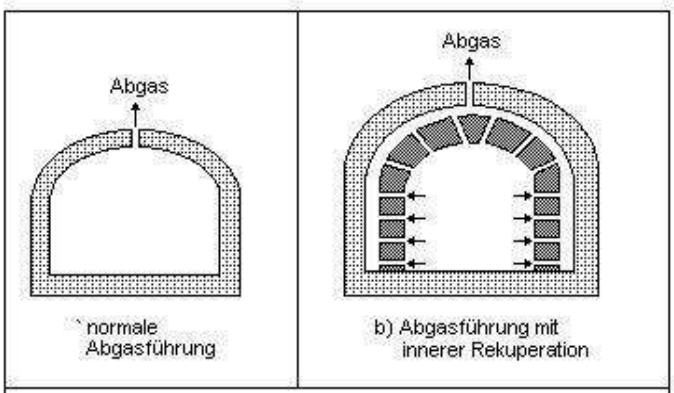


Abb.19.12. Prinzip der inneren Rekuperation

Nicht nur bei Hochtemperaturprozessenn spielt das Problem einer ausreichenden Wärmedämmung eine große Rolle. Für die Beheizung von Wohn-, Industrie- und Gesellschaftsbauten werden beträchtliche Energiemengen gebraucht. In den Haushalten macht der Energieeinsatz für die Raumwärme etwa 75% des Gesamtenergiebedarfs aus, in der Industrie beträgt er je nach Industriezweig 10 bis 50% des so genannten Nebenverbrauchs (das ist der Energieaufwand für Raumheizung, Beleuchtung und innerbetrieblichen Transport). Durch die Außenwände, Dächer, Fenster, Türen und Kellerdecken wird Heizungswärme abgestrahlt. Der Anteil der einzelnen Baugruppen an den Wärmeverlusten eines kleineren Wohngebäudes geht aus Abbildung 19.13. hervor. Geeignete Wärmedämmungsmaßnahmen können diese Verluste erheblich reduzieren.

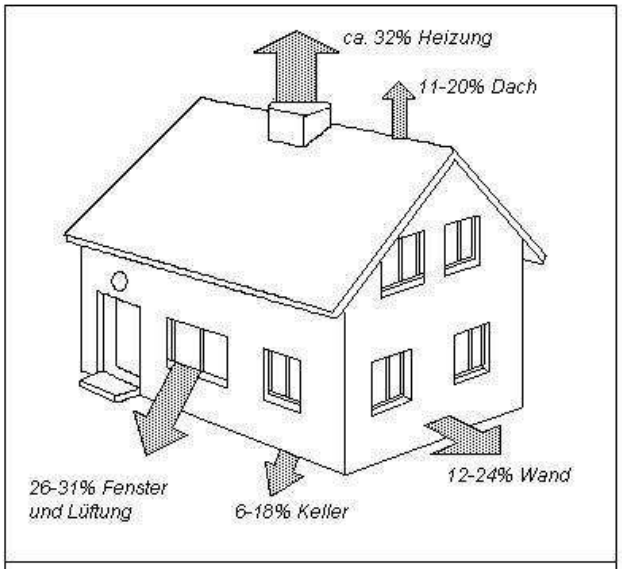


Abb.19.13. Anteil der einzelnen Bauteile von Wohngebäuden an den Wärmeverlusten

Ständig weiterentwickelte Dämmstoffe und verbesserte Heizungsanlagen haben den Wärmeaufwand in Wohnhäusern der BRD erheblich senken können. Während der Wärmebedarf 1970 bei 137 W/m^2 lag, ging er 1977 auf 92 W/m^2 und 1982 auf 78 W/m^2 zurück. Angestrebt werden 37 W/m^2.

Die Bedeutung der *Verbesserung des Wirkungsgrades von technischen Einrichtungen in der Konsumtionssphäre* wird deutlich, wenn man berücksichtigt, dass in der Bundesrepublik Deutschland 1990 die Haushalte etwa 25% des Endenergieaufkommens beanspruchten. Durch konzentrierte Forschungs- und Entwicklungsarbeit wurden in diesem Bereich bedeutende Fortschritte erreicht. Im letzten Jahrzehnt konnte der Stromverbrauch wichtiger Haushaltsgeräte um bis zu 40 % reduziert werden. Dazu beigetragen haben die verbesserte thermische Isolierung von Warmwasserbereitern, Kühl- und Gefrierschränken, elektronische Steuerungs- und Programmschaltungen für Waschmaschinen, Spülmaschinen und Heizgeräte sowie der Übergang zu mikroelektronischen Schaltungen in Geräten der Heimelektronik (Abb.19.14.).

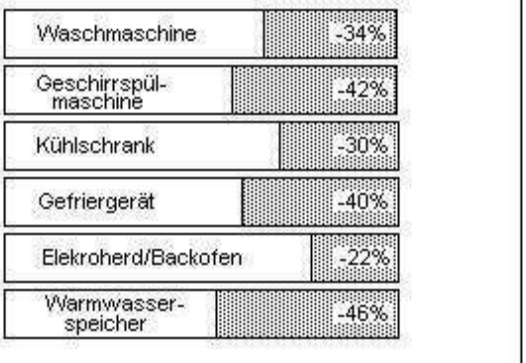


Abb.19.14. Reduzierung des Energieverbrauchs von Haushaltsmaschinen 1978 : 1991

Beachtliche Fortschritte konnten in den letzten Jahren bei der Erhöhung des Wirkungsgrades von Lampen erreicht werden. Die sehr unterschiedlichen Wirkungsgrade der verschiedenen Lampenarten beruhen auf unterschiedlichen Wirkprinzipien der Umwandlung elektrischer Energie in Strahlungsenergie. Während Glühlampen nur etwa 5% der Elektroenergie in Licht umsetzen, erreichen moderne Leuchtstofflampen, die auf dem Prinzip der Gasentladung beruhen, 20 bis 40% (Abb.19.15.).

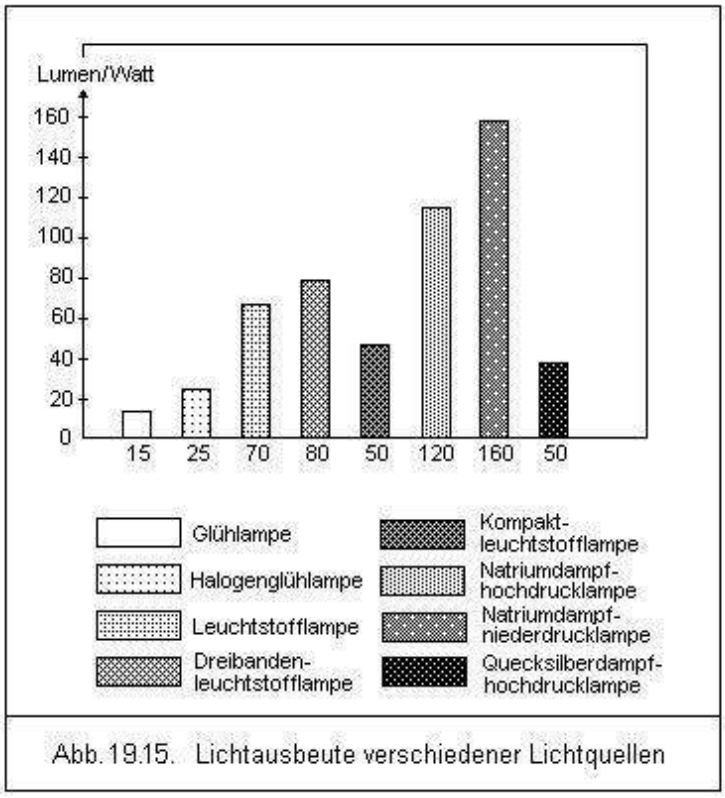


Abb. 19.15. Lichtausbeute verschiedener Lichtquellen

Nennenswerte Energieeinsparungen lassen sich auch durch den *Einsatz mikroelektronischer Steuerungen* für Geräte und Prozessabläufe erreichen. Sie gestatten eine den wechselnde Prozessbedingungen (Dauerbetrieb, Leerlauf, Hochlast, Anlaufverhalten usw.) jeweils optimal angepasste Funktionsweise der Aggregate. Der Energieaufwand zur Realisierung eines technologischen Prozesses setzt sich zusammen aus dem theoretischen Energieverbrauch, den naturgesetzlich nicht vermeidbaren Energieverlusten, den vermeidbaren Verlusten und bestimmten Verlustzuschlägen. Der theoretische Energieaufwand und die unvermeidlichen Verluste limitieren den unteren Grenzwert des nötigen Energieaufwandes. Die beiden anderen Komponenten des realen Energieverbrauchs können durch Steuerungssysteme an den Optimalwert angenähert werden. Die relative Gebrauchsenergieeinsparung durch den Mikroelektronikeinsatz sind in den einzelnen Anwendungsgebieten naturgemäß sehr unterschiedlich, sie liegen bei mikroelektronischen Gerätesystemen im Durchschnitt bei 70%, bei ME-gesteuerten elektrischen Antrieben bei 20%, bei ME-gesteuerten Wärmeprozessen bei 20%, bei ME-gesteuerten Heizungssystemen bei 10% und bei Fahrzeugantrieben bei 4 bis 10%.

Als konkretes Beispiel führen wir den Einsatz von Transistorumrichtern für frequenzgesteuerte Drehstromantriebe an. Er ermöglicht eine stufenlose Drehzahlregelung und 20- 30% Energieeinsparung (Tabelle 19.6.).

Einsatzart des Motors		Relative Energieeinsparung in %
Wasserpumpe	75 kW	20 - 25
Filterpumpe	30 kW	20
Heizungsumwälzpumpe	30 kW	30
Fernwärmepumpe	55 kW	26

Tabelle 19.6. Energieeinsparung durch frequenzgesteuerte Drehzahlregelung von Drehstromantrieben

Wesentlich Einsatzmöglichkeiten mit hohem Effekt bieten Industrieofenanlagen (z.B. Niederfrequenz-Tiegelöfen zur Gussstahlschmelze, Schachtöfen, Wannenöfen). Ein weiteres wesentliches Einsatzfeld sind energieintensive Prozesse der chemischen Industrie, wie Destillations- und Eindampfungsverfahren. Weitere Beispiele für den Einsatz elektronischer Steuerungen zur Senkung des Energieaufwandes sind die Kraftstof-

feinspritzung, die Zündung und die lastabhängige Abschaltung einzelnen Zylinder von Fahrzeugmotoren sowie sensorgesteuerte Haushaltswaschmaschinen.

Literatur

19.1 L. Abicht, Entwicklungstendenzen der rationellen Energieanwendung im wissenschaftlich-technischen Fortschritt, Diss. B, Martin-Luther-Univ. 1987
19.2 Autorenkollektiv, Energie aktuell, Leipzig 1975
19.3 W. Riesner, Rationelle Energieanwendung, Leipzig 1974
19.4 B. A. Konstantinow / H. Schellenberg, Erhöhung der Effektivität der Energiewirtschaft, Leipzig 1981
19.5 Autorenkollektiv, Umweltschutz durch rationelle Energieanwendung, Leipzig 1983
19.6 Arbeitskreis Schulinformation Energie, Energie sparen und Abfall verwerten, Frankfurt(Main) 1991
19.7 Arbeitskreis Schulinformation Energie, Perspektiven der Energieversorgung, Frankfurt(Main) 1992

20. Strategien und technologische Prinzipien der Ökologisierung von Produktionsprozessen

20.1. Grundmodell der Ökologisierung von Produktionsprozessen

Produzieren ist eine unabdingbare Grundlage menschlicher Existenz. Durch den Einsatz der Technik erzeugt der Mensch die materiellen Güter zur Befriedigung seiner Bedürfnisse. Produzieren bedeutet aber immer auch Eingriff in die Natur und Störung natürlich gewachsener Kreisläufe. Solange die technische Aneignung der natürlichen Rohstoffe einen relativ geringen Umfang hatte, bedeuteten diese Eingriffe keine Gefahr für das natürliche Gleichgewicht der Ökosysteme in der Biosphäre. Die "Selbstheilungskräfte der Natur" glichen diese Störungen großräumig wieder aus. Bis in die Mitte des 20.Jahrhunderts reichten sie für die Kompensation der technogenen Eingriffe im Wesentlichen aus, wenn auch die Zeichen großräumiger Schädigungen sich mehrten (Versteppung landwirtschaftlich intensiv genutzter Flächen, Wasserverseuchung großer Flüsse und von Randmeeren, Bergbaufolgelandschaften).

Die wissenschaftlich-technische Revolution der zweiten Hälfte des 20.Jahrhunderts hat die Dimensionen des Wechselwirkungsprozesses von menschlicher Produktionstätigkeit und Natur in ungeheurer Weise ausgeweitet. Sie haben globale Ausmaße angenommen und bergen die Gefahr der lebensbedrohenden irreversiblen Zerstörung des natürlichen Stoffwechselgleichgewichts der Natur. Damit steht die Technologie vor der Aufgabe einer grundsätzlichen Neubewertung und Gestaltung von Produktionsprozessen im Hinblick auf ihre Umweltverträglichkeit. Die Produktionsprozesse müssen "ökologisiert" werden.

Unter *Ökotechnologien* verstehen wir Technologien, die nach den Prinzipien natürlicher Ökosysteme gestaltet sind. Ökosysteme sind durch ein weitgehend zur Selbstregulation, Selbstorganisation und Selbstreproduktion fähiges Wirkungsgefüge seiner Elemente (Biozönosen und Biotope) sowie durch charakteristische Stoffkreisläufe und Energieflüsse ausgezeichnet. Ihre Grundkomponenten sind Produzenten (organisches Material aus anorganischen Substanzen aufbauende Organismen), Konsumenten (Biomasse verbrauchende Organismen) und Destruenten (abgestorbene organische Substanz zu abiotischen Substanzen abbauende Organismen). Ihr Zusammenspiel ermöglicht weitgehend geschlossene Stoffkreisläufe und erhält damit das dynamische Gleichgewicht der Ökosysteme aufrecht. Technologische Systeme zu ökologisieren bedeutet demnach, innerhalb der einzelnen Hierarchieebenen der Technosphäre und zwischen ihnen Bedingungen zu schaffen, die weitgehend geschlossene Stoffkreisläufe innerhalb der Technosphäre ermöglichen, so dass der verbleibende Stoff- und Energieaustausch zwischen Produktions- und Biosphäre nicht zu irreversiblen Veränderungen der Biosphäre führt.

Das Grundmodell solcher Beziehungen zwischen Biosphäre und Technosphäre sowie innerhalb der Technosphäre gibt Abb.20.1. wieder. Im Einzelnen geht es darum, den höchstmöglichen Anteil der Rohstoffe und Werkstoffe durch Abprodukt- und Abfallminimierung in das Produkt eingehen zu lassen (1), durch umweltfreundliche Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften das Abfall- und Altstoffaufkommen gering zu halten (2), anfallende Altstoffe und Abprodukte durch Aufarbeitungstechnologien in Sekundärrohstoffe zu verwandeln und damit im technogenen Kreislauf zu behalten (3) und schließlich die nicht rückführbaren Altstoffe und Abprodukte schadlos zu deponieren (4).

Zahlreiche Prinzipien der Ökologisierung von Produktionsprozessen decken sich naturgemäß mit den Prinzipien der rationellen Material- und Energienutzung und wachsen mit dem Umweltschutz und der Umweltgestaltung zu einem integrierten Gesamtsystem zusammen. Letztere werden, soweit sie schon in den vorhergehenden Kapiteln dargestellt wurden, in diesem Kapitel nur genannt, um ihre spezifische Funktion für die Ökologisierung hervorzuheben und die Komplexität der Aufgabe deutlich zu machen.

Zusammenfassend lassen sich die Zielfunktionen der Ökologisierung von Produktionsprozessen wie folgt angeben:

- Aufhebung der Disproportionen zwischen hohem, schnell wachsenden Stoffentzug aus der Natur und dem relativ niedrigen Stoffnutzungsgrad
- Aufbau eines technogenen Kreislaufs mit hohem Grad an Geschlossenheit
- Spürbare Reduzierung der Umweltbelastung und Erhaltung (reproduktive Nutzung) der "Gratisdienste der Natur"
- Eindämmung bzw. Vermeidung umweltgefährdender Stoff- und Energieabgaben (keine oder wenig unerwünschte Outputs)

- Unschädlichmachung nicht vermeidbarer umweltgefährdender Stoff- und Energieabgaben.

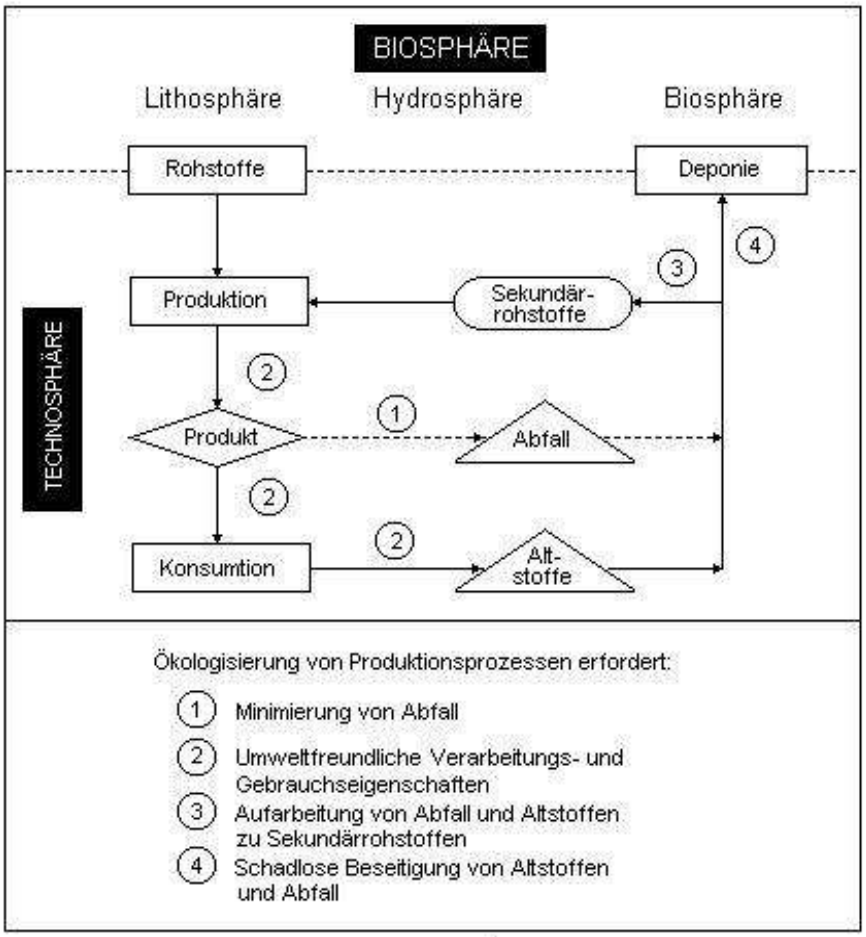


Abb. 20.1. Grundmodell der Ökologisierung von Produktionsprozessen

Daraus ergibt sich folgende Struktur der Strategien und Prinzipien der Ökologisierung von Produktionsprozessen (Abb.20.2):

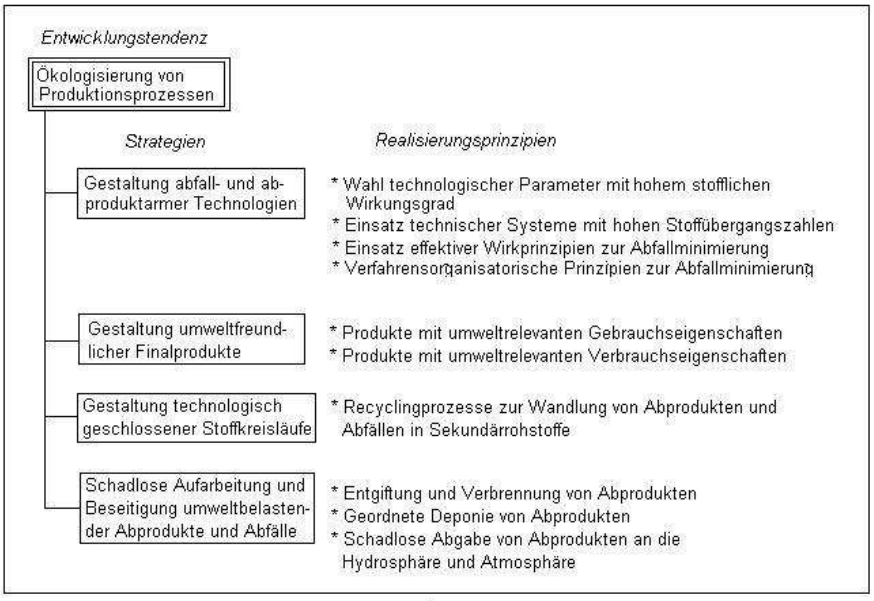


Abb.20.2. Struktur der Entwicklungstendenz "Ökologisierung von Produktionsprozessen"

20.2. Gestaltung abfall- und abproduktarmer Technologien

Die Einführung abfall- und abproduktarmer Technologien gehört zu den wirksamsten Strategien zur Ökologisierung der Produktionsprozesse. Sie verbinden die rationelle Material- und Energienutzung mit dem Schutz der Umwelt. Wichtigstes Kriterium für diese Technologien ist die absolute Abfallminimierung. Darunter verstehen wir die Erhöhung des Anteils der aus dem Ausgangsmaterial gewinnbaren Produktmenge und damit die Reduzierung der Abfallmenge.

Abprodukte sind in Produktions- und Konsumtionsprozessen anfallende Stoffe, die im vorliegenden stofflichen Zustand keiner unmittelbaren Nutzung zugeführt werden können. Sie scheiden aus dem technogenen Stoffkreislauf in die natürliche Umwelt aus und sind demzufolge ein wesentlicher Faktor der Umweltbelastung.

Abfälle sind der Anteil des Materials, der während des Produktionsprozesses nicht in das Produkt eingegangen ist (Spanungsabfälle, Verschnittreste, Abbrand, Abrieb) oder der bei Verbrauchsgütern als Konsumtionsabfall anfällt (Küchenabfälle, Verpackungsrückstände, Waschlaugen, Aschen, Schlacken).

Die Weiterentwicklung der Technologie gestattet es, Abfälle und Abprodukte zunehmend aufzuarbeiten und als *Sekundärrohstoffe* in den technogenen Stoffkreislauf zurückzuführen.

Wichtige Prinzipien zur Gestaltung abfall- und abproduktarmer Technologien sind (nach E.HARTMANN):

- Anwendung von technologischen Prozessparametern mit hohem stofflichen Wirkungsgrad (mit hoher Stoffausbeute)
- Einsatz von technischen Systemen mit hohen Stoffübergangszahlen
- Einsatz effektiver Wirkprinzipien zur Abfallminimierung
- verfahrensorganisatorische Prinzipien zur Abfallminimierung.

Das *Prinzip der Anwendung von Prozessparametern mit hohem stofflichen Wirkungsgrad* erfasst eine Vielzahl von Maßnahmen, die schon im Zusammenhang mit dem rationellen Materialeinsatz genannt wurden (vgl. Kapitel 18.2.). Dazu gehören die Aktivierung von Arbeitsgegenständen, das Gegenstromprinzip, der Kreisprozess, die Kaskadenschaltung und die Intensivierung der Umsetzungsbedingungen. Die laufende Optimierung der Prozessparameter durch Prozessrechner kann besonders in Produktionsprozessen und Verfahrensstufen mit stark variierender Zusammensetzung und Beschaffenheit der Arbeitsgegenstände den stofflichen Wirkungsgrad des Verfahrens positiv beeinflussen, wie z.B. der Salzgehalt von Erdöl in Raffinerien oder der Schwefelgehalt von Kohle in Wärmekraftwerken.

Das *Prinzip des Einsatzes technischer Systeme mit hohen Stoffübergangszahlen* betrifft die konstruktive Gestaltung und die Arbeitsweise technischer Systeme zur Vermeidung bzw. Reduzierung stofflicher Verluste und damit auch erheblicher Umweltbelastungen, die durch nicht beabsichtigte Emissionen an Ein- und Auslassöffnungen, durch die Art der Abgasführung (Abfackeln) oder auch durch Ablagerungen und Verkrustungen in den Reaktoren entstehen. Dabei besitzen zwei Faktoren besondere Bedeutung: die Vergrößerung der aktiven Flächen des Arbeitsorgans und die Hermetisierung.

Das Prinzip der Vergrößerung der aktiven Flächen war bereits im Zusammenhang mit der Verfahrensintensivierung Gegenstand der Darstellung (vgl. Kapitel 17.5.). Während aber dort die Beschleunigung des Verfahrensablaufs im Zentrum der Betrachtung stand, geht es hier um die Abfallminimierung und die reduzierte Schadstoffabgabe in die Umwelt, die durch eine erhöhte Ausbeute erreicht werden.

Die *Hermetisierung technischer Systeme* soll Emissionen an Ein- und Auslassstellen vermeiden, die z. T. zu erheblichen Umweltbelastungen führen können. Das betrifft beispielsweise das Abfackeln von Gasen zur Druckminderung in der Erdölverarbeitung, die Staubemission bei Zementdrehrohröfen oder Verluste in Lösungsmittelkreisläufen. Staubentwicklung tritt beim mechanischen Stofftransport insbesondere an den Übergabestellen auf. Durch den Einsatz staubdichter Schneckenförderer, vollverkleideter Gurtbandförderer und die Vermeidung größerer Fallhöhen für staubhaltiges Gut kann eine erhebliche Staubreduzierung erreicht werden.

Der *Einsatz effektiver Wirkprinzipien zur Abfallminimierung* ist dann für die Ökologisierung von Produktionsprozessen interessant, wenn durch sie Verfahren abgelöst werden können, die mit hoher Umweltbelastung oder großem Abproduktanfall verbunden sind. Der mechanochemische Aufschluss von Rohphosphaten anstelle des traditionellen Schwefelsäureaufschlusses zur Herstellung von Phosphatdüngemitteln ist ein Beispiel für die Anwendung dieses Prinzips. Es erspart bedeutende Mengen Schwefelsäure und eine Verminderung der mit ihrer Produktion verbundenen Schwefeldioxidemissionen.

Die bereits in Kapitel 18.2. unter dem Aspekt einer hohen Stoffausbeute dargestellten *Prinzipien einer rationellen Verfahrensorganisation* führen ebenfalls zu einer Minimierung des Anfalls von Abfällen. Das trifft ganz allgemein für alle Verfahren zu, in denen das Prinzip der Kuppelproduktion angewandt wird. Es ist eine der wirksamsten Methoden zur Verbindung einer rationellen Materialwirtschaft mit den Erfordernissen der Ökologisierung von Produktionsprozessen.

20.3. Gestaltung umweltfreundlicher Finalprodukte

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung für die Ökologisierung des Verhältnisses von Technik und Umwelt sind auch die umweltrelevanten Gebrauchs- und Verbrauchseigenschaften der Erzeugnisse. Sie werden zunehmend zu einem wichtigen Bewertungskriterium für technische Produkte.

Als umweltrelevante Gebrauchs- und Verbrauchseigenschaften kann man ansehen:

- die verlängerte Nutzungsdauer der Finalprodukte
- die recyclinggerechte Produktgestaltung
- der Verzicht auf umweltbelastende Produktkomponenten

Die *Erhöhung der Nutzungsdauer eines Produkts* ist ein Faktor, der für seine Umweltfreundlichkeit von erheblicher Bedeutung ist. Langfristig gesehen, führt eine hohe Nutzungsdauer von Erzeugnissen zu einer Verringerung des spezifischen Materialbedarfs. Theoretisch bedeutet die Verdoppelung der Nutzungsdauer im Prinzip eine Halbierung der Bedarfs an den betreffenden Erzeugnissen und damit des erforderlichen Materialaufwandes bzw. des nach seiner Nutzung entstehenden Abfalls. Dieser Zusammenhang tritt allerdings meist erst über längere Zeiträume in Erscheinung, zumal die Erhöhung der Nutzungsdauer in der Regel auch einen erhöhten Herstellungsaufwand erfordert.

Angesichts der riesigen Mengen von Altreifen, die jährlich anfallen, und unter Berücksichtigung der weiter ansteigenden Zahl der Kraftfahrzeuge sowie der Tatsache, dass Technologien zu ihrer wirtschaftlich vertretbaren Sekundärrohstoffnutzung noch fehlen, ist leicht einzusehen, dass die Erhöhung der Laufleistung von Reifen (durch entsprechende Reifenkonstruktion, durch Verwendung hochwertiger Gummimischungen sowie durch gute Runderneuerungsfähigkeit) nicht nur bedeutende Mengen an Rohstoffen einspart, sondern auch merkliche Auswirkungen auf die Altstoffbeseitigung hat.

Schmieröle und Hydrauliköle werden in bedeutenden Mengen in allen Wirtschaftszweigen eingesetzt. Durch Verbesserung der Alterungsbeständigkeit, des Demulgierverhaltens und des Viskositäts-Temperatur-Verhaltens konnten die Standzeiten dieser Öle beträchtlich verlängert und damit Entsorgungsprobleme vermindert werden.

Recyclinggerechte Produktgestaltung ist eine wichtige Bedingung für rationelle Stoffkreisläufe in der Wirtschaft. Recyclinggerecht ist ein Produkt dann, wenn die Rückgewinnung seiner Inhaltsstoffe nach Verschleiß bzw. Aussonderung aus dem Produktions- oder Konsumtionsprozess technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar ist. Sie erfordert vor allem die einfache Zerlegbarkeit und wirtschaftliche Trennung der einzelnen Produktkomponenten.

Von *umweltrelevanten Verbrauchseigenschaften* sprechen wir bei Finalprodukten, die nach einmaligem Gebrauch zu Abfällen werden und dabei keine Schadstoffwirkung ausüben. Das betrifft z.B. Waschmittel, Düngemittel, Vergaserkraftstoffe, Brennstoffe und Verpackungsstoffe. So waren die lange Zeit vorherrschenden Waschmittel auf Phosphatbasis eine stark die Gewässer belastende Quelle. Die über die Abwässer in die Flüsse und Seen gelangenden Phosphate sind biologisch schwer abbaubar und die Hauptursache für Eutrophierungserscheinungen in den Gewässern. Die Substitution dieser umweltbelastenden Komponente durch ökologisch und toxikologisch unbedenkliche, waschaktive Tenside verleihen den Waschmitteln umweltfreundlichere Eigenschaften. Die Einführung hochoktaniger Kraftstoffe ohne bzw. mit minimalem Gehalt an Bleiverbindungen hat den Schadstoffausstoß durch Kraftfahrzeuge wesentlich verringert. Gleiches gilt für die zunehmende Nutzung SO_2-armer Brennstoffe in Heizungsanlagen. Ein weiteres Beispiel für den Trend zu umweltfreundlichen Verbrauchseigenschaften ist die Forderung nach staubfreien Düngemitteln. Bei den traditionellen Kaligranulaten führten die an der Oberfläche der Granalien haftenden Staubpartikel auf dem Transport und beim Ausbringen auf dem Acker zu Düngerverlusten und zu gesundheitsbelastenden Arbeitsbedingungen. Durch eine technologische Nachbehandlung (Entstauben in der Wirbelschicht durch Wasserbehandlung, sofortige Trocknung und Kühlung) wird die Staubfreiheit gewährleistet. Bei den Verpackungsmitteln für den individuellen Konsum (z.B. Lebensmittelverpackungen) setzen sich anstelle der praktisch

nicht verrottenden und damit die Deponien belastenden Plastmaterialien zunehmend solche Stoffe durch, die biologisch abgebaut werden können.

Umweltfreundliche Gebrauchseigenschaften besitzt ein Produkt, wenn es bei seiner Anwendung keine für den Nutzer oder die Umwelt schädlichen Wirkungen ausübt. Das betrifft z.B. Farben und Lacke, die anstelle der flüchtigen organischen Lösungsmittel Wasser als Lösungsmittel enthalten oder lösungsmittelfrei verarbeitet werden können. Der Ersatz des gesundheitsschädlichen Baustoffes Asbest durch nicht toxisch wirkende Baustoffe gehört auch in diesen Zusammenhang. Erzeugnisse mit niedrigen Verbrauchskennziffern, wie Kraftfahrzeuge mit niedrigem Treibstoffverbrauch und geringem Schadstoffausstoß, Haushaltswaschmaschinen mit minimiertem Wasser-, Energie- und Waschmitteleinsatz, FCKW-freie Kühlaggregate erfüllen die Forderung nach umweltfreundlichen Gebrauchseigenschaften.

20.4. Schaffung technologisch geschlossener Stoffkreisläufe

Stoffkreisläufe sind in sich relativ geschlossene Systeme, bei denen Stoffe ständig nach- und nebeneinander zahlreiche Stadien durchlaufen, wobei sich ihre physikalische oder chemische Existenzform in bestimmter wiederholender Weise wandelt. In klassischer Weise finden wir solche Stoffkreisläufe in der Natur vor (den atmosphärischen Wasserkreislauf, den Kreislauf des Kohlenstoffs, den natürlichen Stickstoffkreislauf u. a.). Sie charakterisieren das dynamische Gleichgewicht des Naturgeschehens dadurch, dass die Stoffwechselprodukte eines Prozesses immer wieder Ausgangsstoffe nachfolgender Stoffwechselprozesse werden.

Innerhalb relativ abgegrenzter technischer Systeme finden wir Stoffkreisläufe als Kühlwasserkreisläufe, Lösungsmittelkreisläufe, Kältemittelkreisläufe, Schmiermittelkreisläufe u. ä.

In unserem Zusammenhang interessieren vor allem Stoffkreisläufe in der Wirtschaft (*technogene Kreisläufe*). Sie werden dadurch charakterisiert, dass "Produktionsreststoffe aus verschiedenen aufeinander folgenden Stufen des gesellschaftlichen Produktionsprozesses... sowie Altstoffe und Konsumtionsabfälle ganz oder teilweise, direkt oder nach spezieller Aufbereitung... wieder als Sekundärrohstoffe eingesetzt und verwertet werden" (Lit. 20.8., S.4). Das Ideal vollständig geschlossener volkswirtschaftlicher Stoffkreisläufe ist in der Praxis aus wirtschaftlichen Gründen nicht erreichbar. Der Grad der Geschlossenheit eines Stoffkreislaufes wird durch den Anteil der sich ständig im Kreislauf befindlichen Stoffe bestimmt. Solche Stoffkreisläufe sind das wichtigste Ziel einer Ökologisierung der Produktionsprozesse. Sie tragen nicht nur zu einer gravierenden Verringerung des Verbrauchs natürlicher Rohstoffe bei, sondern bauen auch den technogenen Eingriff des Menschen in die Natur entscheidend ab (Abb. 20.3.).

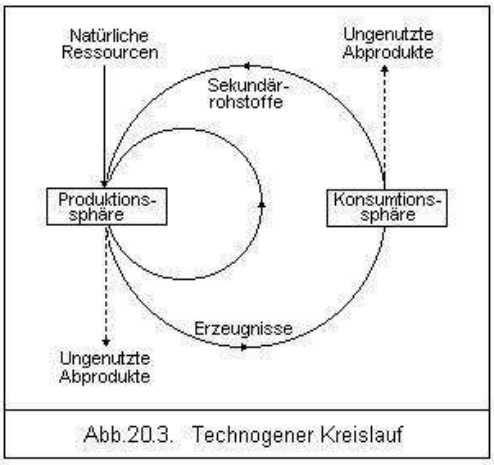


Abb.20.3. Technogener Kreislauf

Im Unterschied zur Strategie der Gestaltung abfall- und abproduktarmer Technologien geht es bei der Schaffung geschlossener technologischer Kreisläufe nicht um den verringerten Anfall von Abprodukten, sondern um deren möglichst vollständige Vermeidung. Die Stoffflüsse in der Technosphäre sollen so gestaltet werden, dass sie sich kreislaufförmig vollziehen und weitgehend in ihr verbleiben. Der Rückfluss von Stoffen aus diesem Kreislauf in die Natur soll auf ein Minimum beschränkt werden. Die Strategie der Schaffung geschlossener Stoffkreisläufe umfasst solche technologischen Maßnahmen, die alle im Produktionsprozess anfallenden Produkte einer sinnvollen Verwertung zuführt.

In Kapitel 18.4. wurde dargestellt, wie durch eine umfassende Umwandlung von Industrie- und Konsumtionsabfällen in Sekundärrohstoffe, die Menge des aus dem technologischen Kreislauf ausscheidenden Materials wesentlich reduziert werden kann. Die Bilanz von Abfallströmen innerhalb integrierter Abfallwirtschaftskonzepte zeigt, dass trotz aller Bemühungen um abfallarme Technologien und Recyclingtechnologien noch erhebliche Restmüllmengen anfallen, die in wesentlichen aus Siedlungsabfällen, Bauschutt und Klärschlämmen bestehen. Im Folgenden wird eine Reihe von Technologien dargestellt, die eine weitere Schließung des technogenen Kreislaufes und eine Entlastung der Umweltbeeinträchtigung ermöglichen.

Eine bisher noch ungenügend genutzte Quelle zur Schließung des technogenen Kreislaufs ist die umfassende Verwertung des Siedlungs-(Haus-)mülls. Seine Zusammensetzung zeigt, dass in ihm noch ein hoher Anteil durchaus verwertbarer Stoffes enthalten ist (Abb. 20.4.)

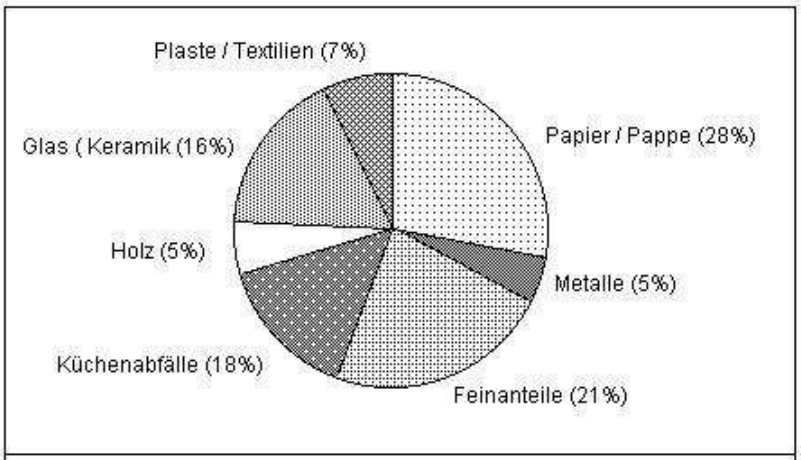


Abb. 20.4. Hausmüllzusammensetzung

Zur maximalen Rückgewinnung dieser Stoffe steht eine Reihe von Technologien zur Verfügung, die sich im Wesentlichen auf folgende Richtungen orientieren (Abb.20.5.):

- Verfahren zur Rohstoffrückgewinnung
- Verfahren zur kombinierten Rohstoff- und Brennstoffgewinnung
- Kompostierungsverfahren
- Verfahren zur energetischen Nutzung der Abfälle
- Verfahren der geordneten Deponierung.

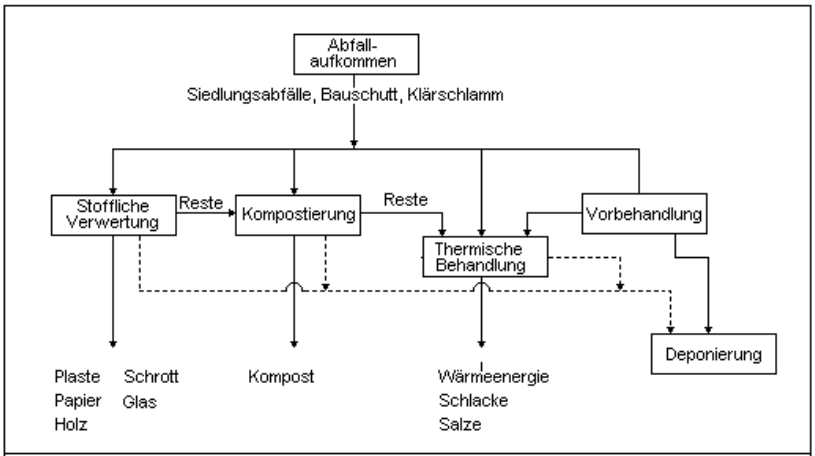


Abb.20.5. Abfallentsorgungsstrategien

Die *Rückgewinnung verwertbarer Stoffe* lässt sich durch mehrstufige Trenntechnologien erreichen. Auf Grund der fortgeschrittenen, zum Teil sehr spezifisch wirkenden Aufbereitungstechnologien zum Zerkleinern, Metallabscheiden, Sieben, Flotieren, Zyklonieren, Windsichten u. a. gelingt heute die weitgehende

Sortierung und Klassifizierung der verschiedenartigen Müllbestandteile. In kleineren Anlagen gelingt es bereits, bis zu 95% der Metalle, der Plaste, des Glases und des Altpapiers abzusondern und zu verwerten.

Unter den *Verfahren der kombinierten Rohstoff- und Brennstoffgewinnung* sind besonders Verfahren zur Herstellung von festem Brennstoff aus Müll aussichtsreich, die seit Mitte der 70iger Jahre in den USA, in Schweden und anderen Ländern entwickelt wurden. Sie umfassen im Prinzip Verfahrensfolgen, die die brennbaren Anteile des Mülls separieren und zu Brennstoffen aufarbeiten. Dazu wird der Abfall zunächst in Shreddern zerkleinert und in einem anschließenden Sortierprozess durch Sieben, Magnetscheiden, Trocknen und Windsichten nach der Dichte in drei Fraktionen getrennt. Die Leichtfraktion enthält die brennbaren Bestandteile. Sie setzt sich im Wesentlichen aus Papier, Holz, Plastmaterial und anderen organischen Bestandteilen zusammen. Dieses Material wird zu einem pulverförmigen Brennstoff oder durch Pressen zu Pellets von 2-3 cm Kantenlänge verarbeitet (Brini-Briketts, Eco-Briketts). Ihr Heizwert von 15 000 - 18 000 kJ/kg entspricht dem von Braunkohlenbriketts. Sie sind geruchlos, hygienisch unbedenklich und lager- und transportfähig. Ihr Einsatz erfolgt zu Heizzwecken in Industrieanlagen, z.B. in der Keramik- und Baustoffindustrie. Die Brennstoffausbeute schwankt je nach Müllzusammensetzung zwischen 30 und 50%. Die Mittelfraktion besteht aus kompostierbarem Material (z.B. Garten- und Küchenabfällen), das nach entsprechender Aufarbeitung wertvolle Bodenverbesserungsmittel liefert. Die Schwerfraktion umfasst vor allem mineralisches Material (Steine, Glas- und Keramikbruch, Aschen- und Schlackenmaterial) und Metalle. Das Eisen wird durch Magnetscheidung abgetrennt. Der verbleibende Rest macht nur noch etwa 10-20% des ursprünglichen Müllvolumens aus und wird deponiert.

Im Zentrum der *Kompostierung* steht der Verrottungsprozess von Gemischen aus verrottungsfähigen Komponenten des Siedlungsmülls und Klärschlämmen. Das zerkleinerte und von Metallen, Glasscherben und Grobtextilien befreite Abfallmaterial wird im Gemisch mit Klärschlamm zu Rottemieten von etwa 5 mal 6 m Grundfläche und 3,5 m Höhe aufgesetzt. Mikroorganismen zersetzen das Material unter Wärmeentwicklung (55-65°C) und zerstören dabei auch Krankheitserreger. Während des 12wöchigen Rotteprozesses wird das Material mehrmals umgesetzt. Der Rohkompost wird abschließend von nicht verrottetem Material in Aufbereitungsanlagen abgetrennt und kann dann als fertiger Kompost abgegeben werden.

Die *thermische Müllverwertung* umfasst Pyrolyse- und Verbrennungsverfahren. Die *Pyrolyse* bezweckt die Aufspaltung organischer Komponenten des Mülls durch Erhitzen unter Luftabschluss. Die Abfälle werden in einem mit Pyrolysegas beheizten Drehtrommelreaktor auf etwa 700°C erhitzt. Es fallen gasförmige, flüssige und feste Pyrolyseprodukte an. Das Verfahren ähnelt der Pyrolyse von Altplasten (vgl. Kapitel 18.4.). Die Produkte werden auf die gleiche Weise genutzt.

Die *Verbrennung* stellt einen weiteren prinzipiellen Weg der schadlosen Beseitigung von Abfällen dar. Sie führt sowohl zu einer ganz entscheidenden Volumenreduzierung (bis zu 90%) und Massereduzierung (bis zu 50%) und schließt eine Entgiftung der Abprodukte ein. Ziel der Abproduktverbrennung ist darüber hinaus die thermische Nutzung der brennbaren Bestandteile, immerhin beträgt der Heizwert des Siedlungsmülls etwa 6 000 - 10 000 kJ/kg und der von Chemieabprodukten sogar 21 000 kJ/kg.

Die Technologie der Restmüll- und Abproduktverbrennung hat in den letzten Jahren einen hohen Stand erreicht. Für die unterschiedlich zusammengesetzten Abprodukte wurden zahlreiche Typen von Verbrennungsanlagen entwickelt, die einen vollständigen Ausbrand des eingesetzten Materials garantieren, u. a. Walzenrost-, Drehtrommel- und Wirbelschichtofen-Anlagen. Hinsichtlich der Rauchgasreinigung ist ein hoher Grad an Umweltverträglichkeit erreicht. Die bei der Müllverbrennung anfallenden Reststoffe können bis zu 80% verwertet werden (Abb.20.6. und 20.7.).

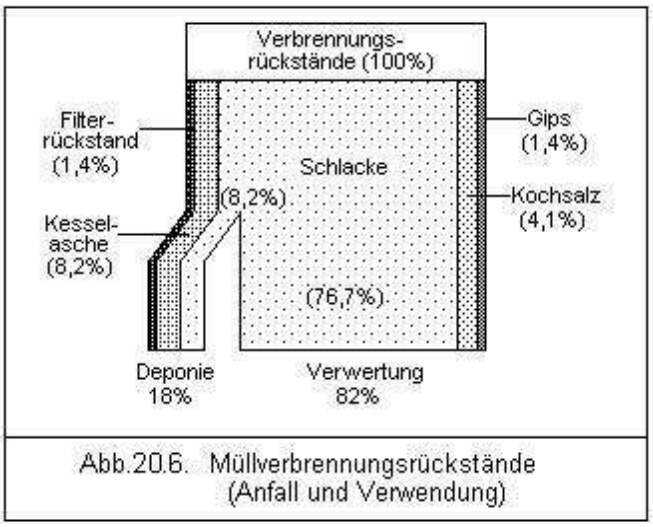


Abb.20.6. Müllverbrennungsrückstände (Anfall und Verwendung)

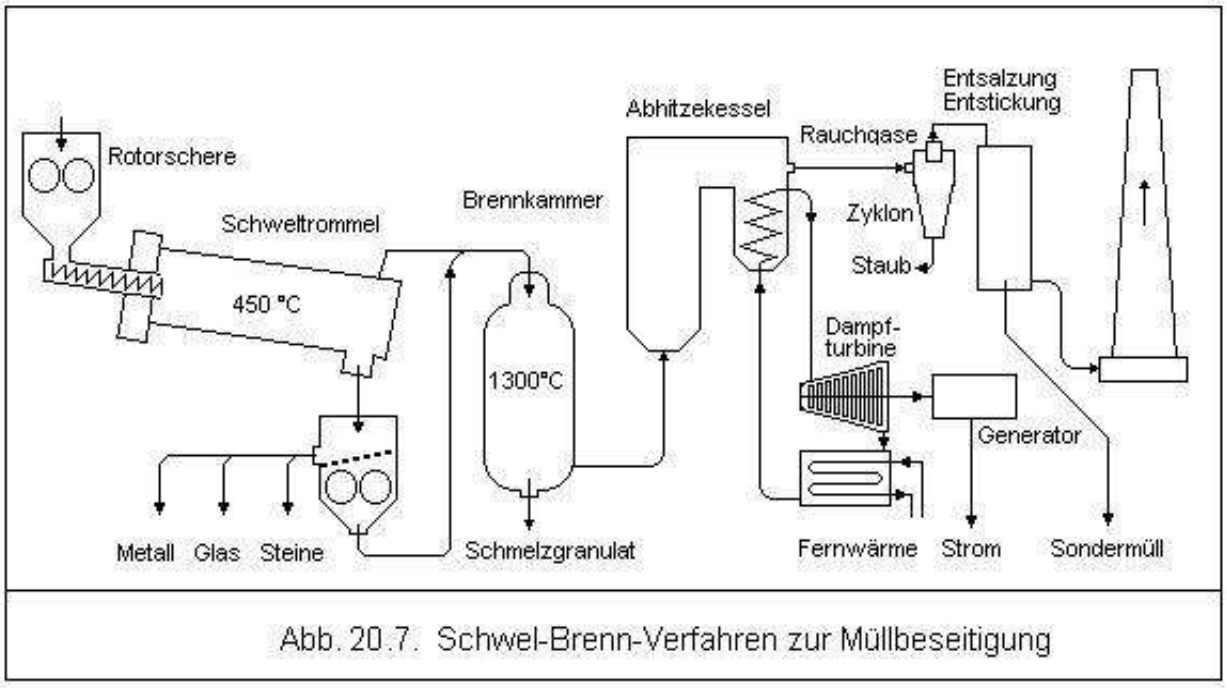


Abb. 20.7. Schwel-Brenn-Verfahren zur Müllbeseitigung

Die energetische Nutzung von organischen Rückständen ist nicht nur über Verbrennungsprozesse möglich. Durch biotechnologische Verfahren lassen sich diese Abfälle (insbesondere Gülle, Mist, landwirtschaftliche Abfälle, organisch belastete Abwässer und Klärschlämme) zur *Erzeugung von Biogas* nutzen. Bereits seit 1930 wurden zahlreiche Biogasanlagen betrieben, konnten aber mit dem leichter zu handhabenden Erdöl nicht konkurrieren. Durch die Weiterentwicklung der Technologie biotechnologischer Verfahren und insbesondere durch die Forderungen einer ökologischen Abfallwirtschaft ist die energetische Nutzung organischer Abfälle wieder aktuell geworden. Die Biogasproduktion umfasst drei Stufen: In der Vorphase wird das umzusetzende Material zerkleinert, mit Wasser versetzt und von anorganischen Bestandteilen befreit. Die Hauptphase läuft in Rührfermentern (Abb.20.8.) ab.

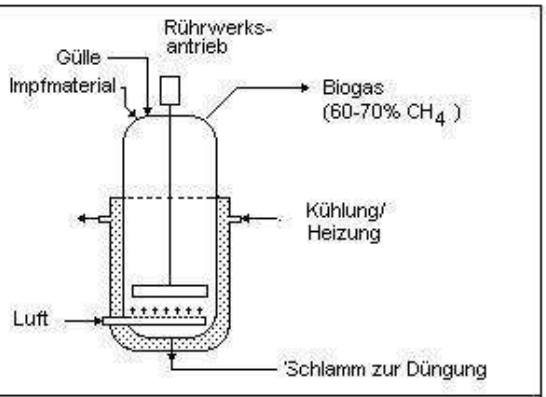


Abb.20.8. Rührwerksfermenter zur Gewinnung von Biogas aus Gülle

Die organische Substanz wird unter anaeroben Bedingungen in zwei Stufen zu Methan abgebaut. In der ersten Stufe werden Kohlehydrate, Fette und Eiweiße durch Enzyme hydrolytisch zu Alkoholen und organischen Säuren abgebaut. In der zweiten Stufe setzen Methanbakterien diese Stoffe in Methan und Kohlendioxid um. Der Prozess ist sehr empfindlich und erfordert dunkles, sauerstofffreies, feuchtes Milieu, eine konstante Temperatur von 35-40°C und einen Feststoffgehalt der Reaktionsmasse von 7-11%. Aus 1 m^3 Stallmist entstehen unter den genannten Bedingungen in 24 Stunden etwa 2 000 m^3 Biogas, das zu 45-55% aus Methan und 30-45% Kohlendioxid besteht. In der Schlussphase wird das Gas aufbereitet. Der fast geruchlose zurückbleibende Faulschlamm ist ein gutes Düngemittel.

20.5. Technologien zur Aufarbeitung und schadlosen Beseitigung umweltbelastender Abprodukte und Abfälle

Ein Teil der industriellen und kommunalen Abfälle und Altstoffe kann nicht unmittelbar auf Deponien verbracht oder als Abwasser bzw. Abluft an die Umgebung abgegeben werden. Es handelt sich dabei u. a. um toxische Chemierückstände wie Säureharze, Klärschlämme, Raffinerierückstände, teer- und ölhaltige Rückstände und chemischen Sondermüll sowie um Industrie- und Kommunalabwässer und Abgase von Industriebetrieben und Kraftwerken.

Unter der schadlosen Beseitigung umweltbelastender Abprodukte und Abfälle verstehen wir die Anwendung technologischer Prinzipien und Maßnahmen, die ihre umweltgerechte und den Umweltbestimmungen entsprechende Abgabe an die Biosphäre sicherstellen. Die Strategie der möglichst schadlosen Beseitigung umweltbelastender Abprodukte und Abfälle zielt darauf, die toxischen Eigenschaften der in die Biosphäre zurückzuführenden Abprodukte und Abfälle zu neutralisieren, so dass sie auf einer Deponie oder bei dem Eintrag in die Hydrosphäre und die Atmosphäre die Stabilität des natürlichen Gleichgewichts nicht gefährden. Dabei orientiert sie sich im Wesentlichen auf folgende Realisierungsprinzipien:

- Entgiftung und Verbrennung von Abprodukten
- Schadlose Abgabe von Abwasser und Abgas an die Hydrosphäre und Atmosphäre
- Geordnete Deponie von Abprodukten

Die *Verbrennung von Abprodukten* zu ihrer Entgiftung erfolgt je nach der Art der aufzuarbeitenden Abprodukte in spezifischen Verbrennungsreaktoren, die meist mit zusätzlichen Nachbrennkammern ausgerüstet sind, um organische Substanzen mit hohem Brennpunkt vollständig umzusetzen. Diese Verfahren umfassen immer auch entsprechende Abgas- und Abwasseraufbereitungsanlagen, um die gegebene Umweltgefährdung nicht auf andere Bereiche zu verlagern.

Eine erhebliche Umweltbelastung geht von *Emissionen* aus, die in Form *von Stäuben und schädlichen Abgasen* in die Atmosphäre gelangen. Für die Beseitigung bzw. die Verminderung solcher Emissionen steht eine Vielzahl technologischer Verfahren zur Verfügung. Stäube und Nebel können durch Schwerkraftabscheiden (Sedimentieren, Prallscheiden), durch Fliehkraftabscheiden (Zyklonieren) oder Filter (Gewebefilter, Elektrofilter) aus der Abluft abgetrennt werden. Gasförmige Schadstoffe können in Lösungsmitteln (Waschen),

durch Adsorbieren an einer Feststoffkomponente und Kondensation oder auf chemischem Wege durch Umwandlung (chemische Gasreinigung, Verbrennung, katalytische Oxydation) gebunden werden.

Zu den bedeutendsten Aufgaben gehört in diesem Zusammenhang die Verminderung der Emission von Schwefeldioxid. Die Verbrennung von schwefelhaltiger Kohle und schwefelhaltigem Heizöl in den Wärmekraftwerken und bei der Wärmeversorgung setzt beträchtliche Mengen an Schwefeldioxid frei, das mit dem Abgas in die Atmosphäre gelangt. Es wurden inzwischen eine Reihe von Technologien zur Rauchgasentschwefelung entwickelt, die das Schwefeldioxid zum größten Teil binden und z. T. einer produktiven Nutzung zuführen können. Verbreitet angewandt werden Verfahren mit Kalkverbindungen (Kalkstein, gebranntem Kalk oder Kalkhydrat), weil Kalklagerstätten verbreitet vorkommen, das Material relativ billig, nicht toxisch und gut transportfähig ist. Im Prinzip erfolgt die Rauchgasentschwefelung dadurch, dass Kalksteinmehl der Kohle beigemengt und das im Verbrennungsraum entstehende Schwefeldioxid direkt als Gips ($CaSO_4$) gebunden wird oder dass die Umsetzung in einer nachgeschalteten Rauchgasreinigung erfolgt.

In Abb.20.9. sind das Kalkstein-Additiv-Verfahren und das Kalkmilch-Absorptions-Verfahren als Beispiele für die Rauchgas-Entschwefelung dargestellt. Die Kohle wird mit einem bestimmten Anteil Kalkstein (10-15%) vermahlen und in den Verbrennungsraum des Dampferzeugers eingebracht. Das bei der Verbrennung freigesetzte Schwefeldioxid wird durch den Kalk zu Kalziumsulfat gebunden und fällt gemeinsam mit der Asche an. Das Gips-Asche-Gemisch lässt sich nur schwer weiterverwenden und muss zum großen Teil deponiert werden. Bedingt kann es in der Zementproduktion, als Kalkdünger oder zur Neutralisation saurer Grubenwässer eingesetzt werden.

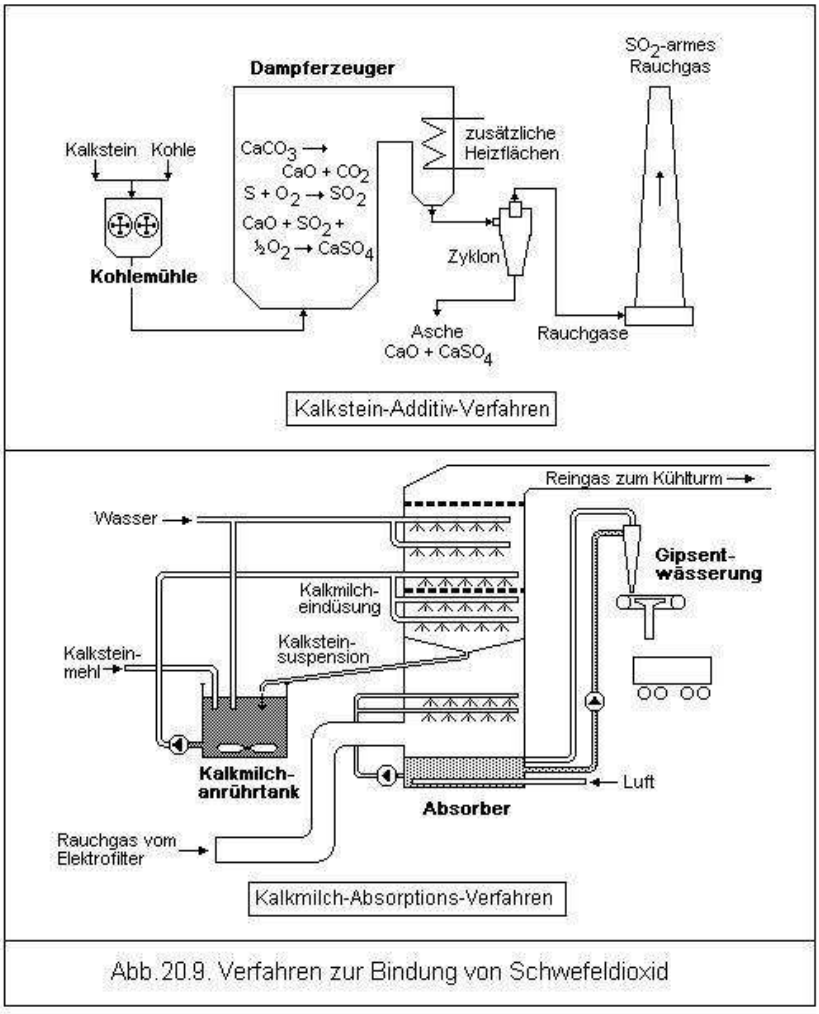


Abb.20.9. Verfahren zur Bindung von Schwefeldioxid

Als weitere Schadstoffkomponente werden mit Rauchgasen konventioneller Wärmekraftwerke und Feuerungsstätten von Industrie und Haushalten oder durch Verbrennungskraftmotoren Stickstoffoxide (NO_X) in die Atmosphäre emittiert. Sie entstehen bei Verbrennungstemperaturen über 1300°C aus Stickstoff und Sauerstoff oder ab 600°C aus Stickstoffverbindungen des Brennstoffs. Durch besonders gestaltete Brennersysteme (Stufenbrenner) kann die NO_X-Bildung wesentlich vermindert werden. Für die Rauchgasentstickung

sind einige Technologien entwickelt worden, von denen das selektive katalytische Reduktionsverfahren (SCR-Verfahren) Verbreitung gefunden hat. Dabei werden Ammoniak und Luft in den Rauchgasstrom eingedüst und die Stickoxide zu Stickstoff und Wasserdampf umgewandelt (Abb.20.10.). Bei Verbrennungsmotoren besorgt ein in den Abgasstrom geschalteter Mehrwegekatalysator für eine Entgiftung der Auspuffgase.

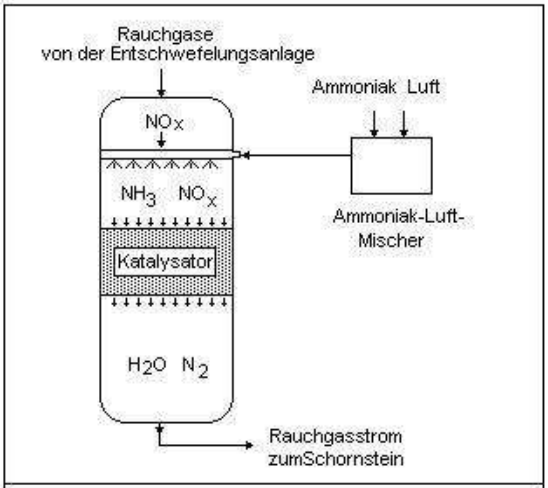


Abb.20.10.Reaktor zur katalytischen Entstickung von Rauchgasen

Die Abgase zahlreicher Produktionsprozesse der chemischen Industrie, der Lebensmittelindustrie und der verarbeitenden Industrien enthalten Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Phenole, Aldehyde, Ketone, Ester oder organische Säuren. So werden bei der Herstellung von Schichtpressstoffen Methanol, Methanal und Phenol freigesetzt, beim Kaffeerösten entstehen Aldehyde und organische Säuren, beim Tiefdruck (Zeitschriften) verdampft Toluol, der Kerntrocknungsprozess in Gießereien setzt Methanal und organische Säuren frei usw. Für die Beseitigung dieser Schadstoffe, die sich auf Grund ihrer Anfallbedingungen nicht als Wertstoffe zurückgewinnen lassen, wird vielfach die Technologie der katalytischen Nachverbrennung eingesetzt. Das Rohgas wird in einem Reaktor mit Brenngas durchmischt und auf 250 bis 350°C vorgewärmt. Es durchströmt eine Katalysatorschicht, wobei die Schadstoffe zu Kohlendioxid und Wasserdampf oxydiert werden. Durch entsprechende Reaktionsbedingungen (Temperatur, Verweilzeit, Art des Katalysators) wird ein möglichst vollständiger Umsatz angestrebt.

Für die *Aufbereitung von verschmutztem Wasser* (Abwasser) steht eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung:

- physikalische Aufbereitungsverfahren (Absetzen grober Teilchen in Kläranlagen durch Sedimentieren, Abtrennen von Ölen in Schwerkraftabscheidern, Filtrieren, Zentrifugieren)
- chemische Aufbereitungsverfahren (Neutralisieren, Ausfällen, Ausflocken, Ionenaustausch, Oxydation)
- biologische Abwasserreinigung (durch Mikroorganismen in Belüftungsbecken, Belebtschlammanlagen, Tropfkörperreaktoren).

Die einzelnen Verfahren werden je nach der Belastung des aufzubereitenden Wassers und der Art der Verschmutzung kombiniert angewandt. Belastetes Brauchwasser durchläuft im Prinzip drei technologische Aufbereitungsstufen. In der *mechanischen Klärstufe* werden die groben Verunreinigungen in Rechenanlagen, die leicht sedimentierenden Schmutzpartikel in Absetzbecken (häufig als Emscherbrunnen ausgeführt, s. Abb.20.11.) aufgefangen und in Schlammfaulbecken geleitet. Fettabscheider trennen ölige Substanzen ab. Die verbleibenden anorganischen und organischen Inhaltsstoffe sind kolloid und echt gelöste Stoffe. Sie werden mit *physikalisch-chemischen Verfahren*, insbesondere durch Flockung, entfernt. Dazu werden dem Wasser Flockungshilfsmittel (Aluminiumsulfat, Eisensulfat und Eisenchlorid) zugesetzt. Durch Einbringen von Luftsauerstoff wird aus dem Eisen(II)sulfat schwer lösliches Eisen(III)hydroxid gebildet. Es bindet kolloid verteiltes Öl und feine Schmutzteilchen und wird über Absetzanlagen, Filter oder Zentrifugen als Schlamm abgeschieden. Die anschließende *biologische Reinigung* des vorgeklärten Wassers umfasst mehrere Stufen. Man unterscheidet zwischen dem aeroben und dem anaeroben Schadstoffabbau. Zu den aeroben Verfahren gehört das verbreitete Belebtschlammverfahren. In großen Belebungsbecken mit Kreiselbelüftern binden Mikroorganismenkulturen unter starkem Sauerstoffeintrag die Schadstoffe und wandeln sie in absetzbare Biomasse um. Beispiel für die unter Luftabschluss arbeitenden anaeroben Verfahren ist das Tropf-

körperverfahren. In großen zylindrischen Reaktoren (Abb. 20.11.) sind faustgroße Brocken von Schlacke, Koks oder Plaststücke als Tropfkörper aufgeschüttet, auf denen sich ein dichter biologischer Rasen angesiedelt hat. Er entzieht dem darüber rieselnden Wasser die Inhaltsstoffe und wandelt sie in Biomasse um. Die absterbenden Schichten des Bakterienrasens werden von Abwasser weggespült und setzen sich im Nachklärbecken als Schlamm ab. Der in den einzelnen Klärstufen anfallende Schlamm wird einer Nachbehandlung durch Ausfaulen, Entwässerung und Trocknung unterzogen, bevor er deponiert oder in Verbrennungsanlagen genutzt wird.

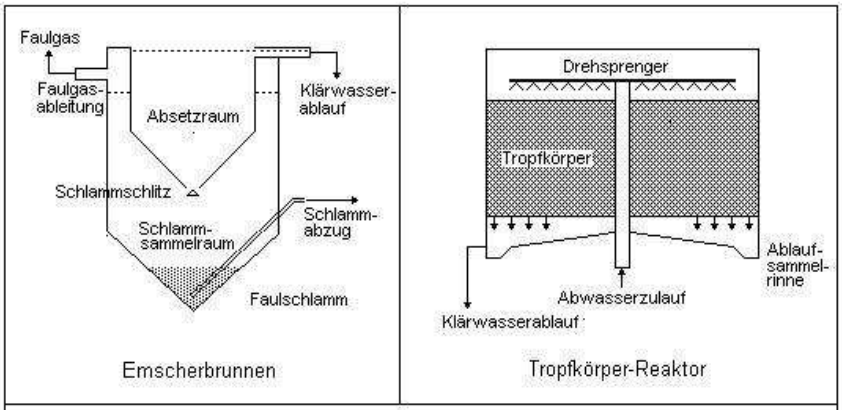


Abb. 20.11. Wasseraufbereitungssysteme

Hoch mit toxischen Chemikalien belastete Abwässer müssen zusätzlich spezifischen Reinigungsverfahren unterworfen werden. Die Tendenz geht dahin, diese Abwässer am Anfallort zu reinigen mit dem Ziel einer Wertstoffrückgewinnung und sie erst dann in zentralen Reinigungsanlagen komplexen Aufbereitungsverfahren zu unterziehen. Solche komplexen, mit Wertstoffrückgewinnung verbundenen Technologien der Abwasseraufbereitung finden wir vor allem in der karbochemischen und petrolchemischen Industrie, in der Zellstoff- und Papierindustrie sowie in der Kunstfaserproduktion.

Ein Beispiel für die Aufarbeitung umweltbelastender Abprodukte mit Wertstoffgewinnung ist die Ethanolgewinnung aus Sulfitablaugen der Zellstoffindustrie. Sie stellen wegen ihrer Inhaltsstoffe eine starke Belastung der Gewässer dar. Neben Schwefelverbindungen und zahlreichen anorganischen und organischen Substanzen (Hemizellulosen, Lignin, Furfurol) enthalten sie etwa 2-3% vergärbare Zucker. Diese bilden die Grundlage für eine Aufarbeitungstechnologie zur Ethanolgewinnung (Abb. 20.12.). Die Ablaugen werden zunächst einer Aufbereitung unterworfen, in der durch Dampfextraktion Schwefeldioxid ausgetrieben und durch Kalkzusatz die stark saure Ablauge neutralisiert wird. Damit werden Bedingungen für die Existenz von Hefen geschaffen. Die neutralisierte Ablauge wird sodann in einem Fermenter mit Hefe versetzt. Weitere Zusätze (Harnstoff, Ammoniumsalze) liefern die für die Hefeentwicklung notwendigen Stickstoffverbindungen. Die Fermentation verläuft unter Luftabschluss in einer Kaskade hintereinander geschalteter Fermenter. Nach etwa 15 bis 20 Stunden Verweilzeit in den Reaktoren sind etwa 95% der verwertbaren Zucker umgesetzt. Die Hefe wird in Separatoren abgetrennt und in den Prozess zurückgeführt. Das entstandene Ethanol wird aus der fermentierten Ablauge durch Destillation und Rektifikation abgetrennt. Es findet vielfältige Anwendung in der Industrie, u. a. als Motorentreibstoff.

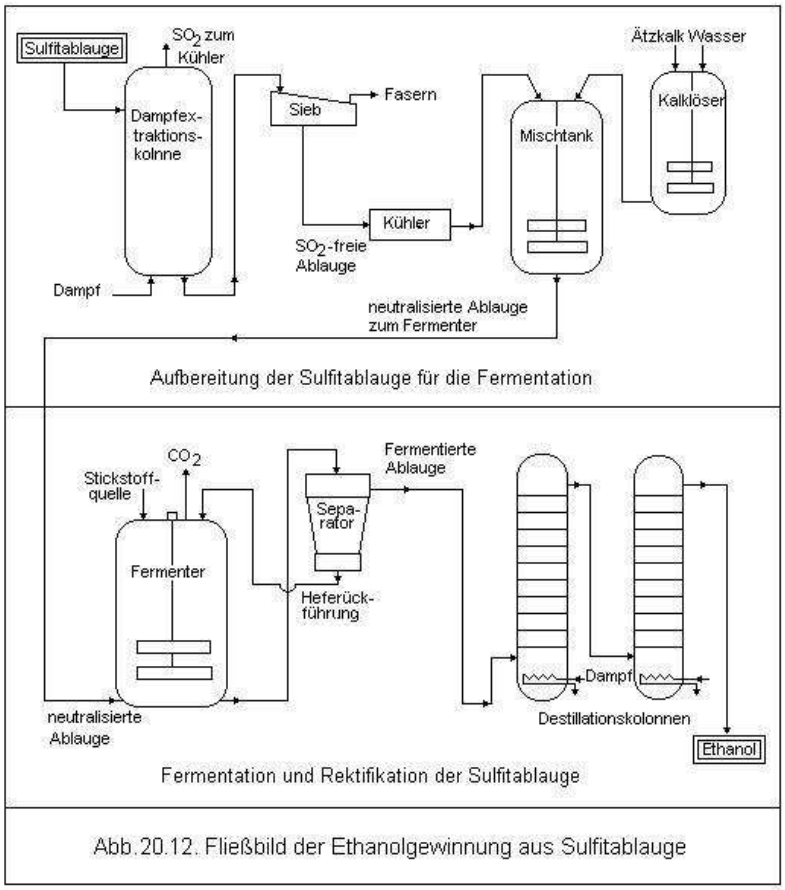


Abb. 20.12. Fließbild der Ethanolgewinnung aus Sulfitablauge

Literatur

20.1 E. Hartmann, Technologische Entwicklungstendenzen zur Ökologisierung der Produktion im wissenschaftlich-technischen Fortschritt, Dissertation B, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1986

20.2 Autorenkollektiv, Schlüsseltechnologien im Überblick, Leipzig 1989

20.3 M. Schubert, Abproduktarme und abproduktfreie Technologie, Leipzig 1987

20.4 Autorenkollektiv, Abproduktnutzung, Leipzig 1980

20.5 Autorenkollektiv, Beispiele zur abproduktfreien Technologie, Leipzig 1982

20.6 Autorenkollektiv, Nutzung von industriellen Abprodukten, Leipzig 1977

20.7 H. H. Emons / H. Kaden, Schätze im Abfall, Leipzig 1983

20.8 E. Garbe / D. Graichen, Sekundärrohstoffe - Begriffe, Fakten, Perspektiven,Berlin 1985

20.9 Autorenkollektiv, Reinhaltung der Luft, Leipzig 1981

Drittes Buch – TECHNISCHE SYSTEME

I. Teil – FUNKTIONEN UND STRUKTURELEMENTE TECHNISCHER SYSTEME

21. Systematik technischer Systeme

21.1. Hierarchische Ordnung technischer Systeme

Die gegenwärtig bekannten und genutzten technischen Systeme weisen nicht nur eine große Vielfalt hinsichtlich ihrer technologischen Funktion auf, sie sind auch in ihrem Funktionsniveau und ihrer Komplexität sehr unterschiedlich strukturiert. Der eigentlichen Systematisierung und Klassifizierung der Gesamtheit der technischen Systeme muss deshalb eine hierarchische Ordnung vorausgehen, denn nur jeweils innerhalb einer Komplexitätsebene sind die Systeme unter einheitlichen Kriterien vergleichbar und in sinnvoller Weise zu ordnen.

Unter Hierarchie versteht man eine Rangordnung oder Stufenfolge der abgegrenzten Über- und Unterordnung von Objekten bestimmter Bereiche der objektiven Realität. Sie widerspiegelt objektiv existierende Strukturgesetzmäßigkeiten des dargestellten Bereiches der Wirklichkeit, wie ein Blick in einige Wissenschaftsdisziplinen belegt. So vermittelt die Kosmologie eine Vorstellung vom hierarchischen Aufbau des Weltalls, indem Strukturen unterschiedlicher Komplexität unterschieden werden: die Metagalaxis, Galaxien, Sternsystemen, Planetensysteme, interstellare Materie u. a. In der Physik werden verschiedene Hierarchieebenen der Struktur der Materie unterschieden: die Ebene der Nukleonen als Quarksystem, die Ebene des Atomkerns als Nukleonensystem, die Ebene des Atoms als System der Nukleonen und Elektronen, die Ebene des Moleküls als Atomsystem, die Ebene der Kristalle als Molekülsysteme und die Ebene der makroskopischen Körper als Kristallsysteme. Die Biologie erfasst mit dem Hierarchiebegriff die Spezifik und die Wechselwirkung verschiedener Organisationsstufen der lebenden Materie von den einfachsten Zellbestandteilen bis zu komplexen Ökosystemen (Protoplasma, Zellbausteine, Zellen, Gewebe, Organe, Organismen, Biozönosen, Biosphäre). Jede der hier genannten Hierarchieebenen besitzt gegenüber den anderen charakteristische Elemente mit spezifischen Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten.

In der Technik dient die Aufdeckung von Hierarchieniveaus der Herstellung einheitlicher Betrachtungsebenen von technischen Systemen gleicher Komplexitätsstufe. Sie ermöglichen eine sinnvolle und wissenschaftlich vertretbare Ordnung aller einer bestimmten Stufe angehörenden Struktureinheiten, weil sie die objektiv existierenden qualitativ unterschiedlichen Strukturniveaus widerspiegeln. Als Einteilungskriterien legen wir dabei funktionale Gesichtspunkte zugrunde.

Hinsichtlich ihrer strukturellen Komplexität lassen sich 6 Hierarchieebenen technischer Systeme bilden, die von Stufe zu Stufe immer komplexere technische und technologische Funktionen ausüben. Die technischen Systeme höherer Ordnung enthalten die der niederen Ebenen als Teilsysteme. Die einfachsten technischen Systeme sind die Funktionselemente (Systeme 1. Ordnung). Aus der Vereinigung mehrerer Funktionselemente zu einer Funktionseinheit entstehen Funktionsgruppen (Systeme 2. Ordnung). Auf der 3. Ordnungsebene stehen die Funktionsorgane. Sie repräsentieren die wesentlichen innerhalb eines technischen Funktionssystems zu realisierenden Hauptaufgaben, unabhängig von der jeweils zu erfüllenden konkreten technologischen Gesamtfunktion. Die 4. Ordnungsebene bilden die Funktionssysteme. Sie realisieren technologische Grundverfahren und konstituieren sich aus Funktionsorganen. Durch die Kombination mehrerer Funktionssysteme entstehen verkettete Funktionssysteme (Systeme 5. Ordnung). Die höchste Ebene bilden vernetzte Funktionssysteme (Systeme 6. Ordnung) (Abb. 21.1.).

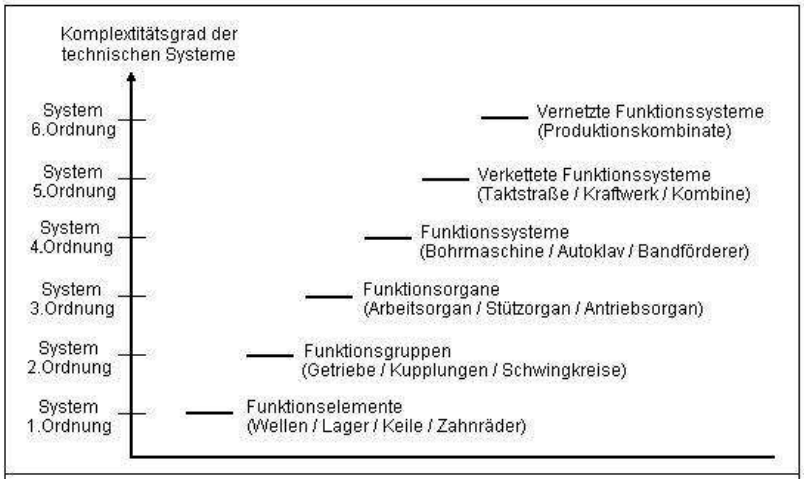


Abb.21.1. Hierarchieebenen technischer Systeme

Im Einzelnen sind die Systeme der verschiedenen Hierarchieebenen wie folgt bestimmt:

- *Funktionselemente* sind die Träger technischer Elementarfunktionen zur Realisierung des Stoff-, Energie- und Informationsflusses innerhalb höherer technischer Systeme. (Wellen, Achsen, Lager, Zahnräder, Schrauben, Schalter, Widerstände, Kondensatoren ...).
- *Funktionsgruppen* sind Träger mehrerer zusammenwirkender Elementarfunktionen. Sie vereinigen mehrere Funktionselemente zu einem einheitlichen System (Schwingkreise, Bremsen, Spanneinrichtungen ...).
- *Funktionsorgane* sind die Träger der technischen Hauptfunktionen in technischen Systemen, die zur Realisierung der technischen Gesamtfunktion notwendig sind (Bearbeitungs-, Stütz-, Führungs-, Übertragungsfunktion...). Sie sind aus Funktionselementen und Funktionsgruppen aufgebaut.
- *Funktionssysteme* sind die Träger der technischen Gesamtfunktion und realisieren technologische Grundvorgänge (Drehmaschine, Bohrmaschine, Pumpe, Elektromotor, Kran, Kraftfahrzeug, Hochofen, Telefonapparat, Küchenmaschinen, Waschautomat, Kühlschrank). Sie sind aus Funktionsorganen aufgebaut.
- *Verkettete Funktionssysteme* sind eine aus mehreren zwangsverketteten Funktionssystemen gebildete Einheit zur Erzeugung eines technischen Produkts. Sie realisieren eine aufeinander abgestimmte Folge von Bearbeitungsvorgängen (Taktstraßen im Maschinenbau, Mähdrescher, chemische Produktionsanlagen, Wärmekraftwerk, Abraumförderbrücke im Braunkohlentagebau).
- *Vernetzte Funktionssysteme* repräsentieren komplexe, aus mehreren miteinander verbundenen verketteten Funktionssystemen bestehende Produktionseinheiten, deren Haupt-, Neben- und Hilfsproduktionen zwangsläufig miteinander gekoppelt sind, und die letztlich nicht nur technologisch, sondern auch ökonomisch und ökologisch determiniert sind (Chemiekombinate, Baukombinate, Verkehrsbetriebe).

(Tabelle 21.1.)

HIERARCHIEEBENE	BEISPIELE
Funktionselemente	Wellen, Achsen, Lager, Schrauben, Zahnräder, Ketten, Federn,
Funktionsgruppen	Getriebe, Kupplungen, Bremsen, Fliehkraftregler, Spanneinrichtungen
Funktionsorgane	Arbeitsorgan, Positionierungsorgan, Steuerungsorgan, Stützorgan
Funktionssysteme	Werkzeugmaschine, Elektromotor, Pumpe, Kran, Schreibmaschine
Verkettete Funktionssysteme	Taktstraße, Erdöldestillationsanlage, Wärmekraftwerk, Mähdrescher,
Vernetzte Funktionssysteme	Komplexe Produktionssysteme

Tabelle 21.1. Hierarchieebenen in der Technik

In Abbildung 21.2. werden die Typen technischer Funktionssysteme der 3., 4. und 5. Hierarchieebene durch die Darstellung der Wirkstellen und ihrer Kopplungen graphisch veranschaulicht.

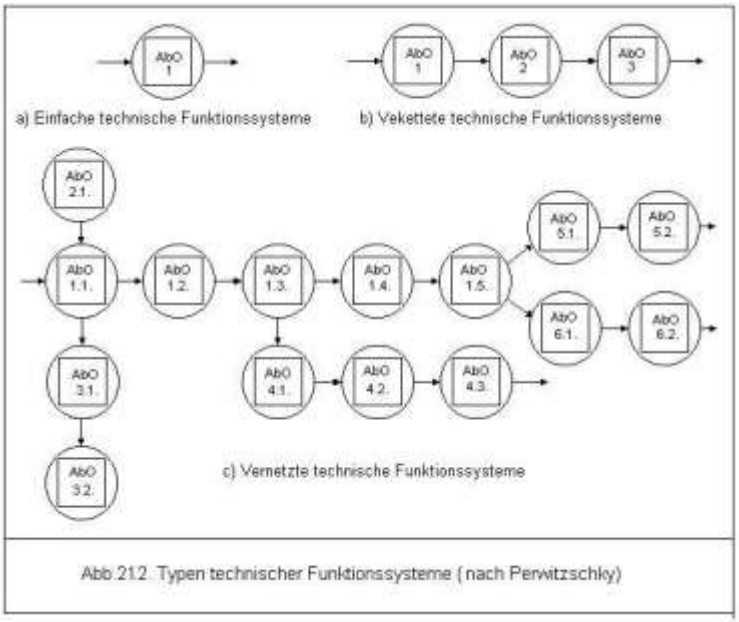


Abb.21.2. Typen technischer Funktionssysteme (nach Perwitzschky)

Die Zuordnung der technischen Systeme zu den einzelnen Hierarchieebenen kann in Abhängigkeit vom Betrachtungsstandpunkt (d.h. von der zu realisierenden Funktion her) wechseln. Betrachtet man einen Elektromotor als Antriebssystem einer Werkzeugmaschine - also in seiner Funktion als Antriebsorgan -, so muss er auf die Ebene der Funktionsorgane eingeordnet werden. Wird er dagegen als elektro-mechanischer Energiewandler untersucht, ist er als selbständiges Funktionssystem einzuordnen.

In einigen Fällen ist die Zuordnung insofern schwierig, als eine klare Funktionsabgrenzung Probleme bereitet. Das betrifft insbesondere die Hierarchieebenen der Funktionsgruppen und der Funktionsorgane. So kann ein Getriebe sowohl den Funktionsgruppen als auch den Funktionsorganen zugeordnet werden. Ist das Getriebe für sich genommen das Übertragungsorgan, gehört es zu den Funktionsorganen, ist es neben anderen Funktionsgruppen (z.B. Kupplung) Teilsystem eines Übertragungsorgans, wird es den Funktionsgruppen zugeordnet. Insgesamt muss deshalb beachtet werden, dass der Übergang von einer zu anderen Hierarchieebene nicht zu starr gehandhabt werden darf, die Übergänge sind teilweise fließend.

21.2. Technologisch-funktionale Ordnungskriterien zur Systematisierung technischer Systeme

Jede Klassifizierung hat in der Wissenschaft die Aufgabe, eine ungeordnete und daher unübersichtliche Vielfalt von Objekten nach bestimmten Gesichtspunkten zu gliedern und damit überschaubar zu machen. Das

Ergebnis ist die Struktur eines feststehenden Systems der zu erfassenden Elemente. Dazu werden auf der Basis allgemeiner und wesentlicher Merkmale, Eigenschaften, Zusammenhänge und Beziehungen der zu ordnenden Objekte Kriterien bestimmt, nach denen sie einzelnen Klassen zugeordnet werden. Die einzelnen Kriterien müssen dabei die Forderung erfüllen, den gesamten Inhalt des Klassifikationsgebietes vollständig zu erfassen und zugleich auch potent sein, neue Objekte aufzunehmen, ohne dass das System dabei gesprengt wird.

Für die Klassifizierung ist es weiterhin möglich, dass nicht nur ein einzelnes Kriterium sondern gleichzeitig mehrere angewandt werden können. Von großer Bedeutung sind Klassifizierungssysteme, die auf der Basis zweier miteinander verbundener Kriterien gebildet werden. Die beiden Kriterien bilden einen Matrixoperator, der zu einer Verknüpfungsmatrix führt.

Die detaillierte Klassifizierung eines Objektbereiches kann im Allgemeinen nicht in einem Schritt vollzogen werden. Es ist nötig, die Klassen des Systems hierarchisch weiter zu untergliedern, wobei der Matrixoperator der Teilklassen jeweils auf der Basis der in diesem Bereich wirkenden wesentlichen Merkmale gebildet werden muss.

Die Wahl der Kriterien, nach denen die Klassifizierung und Gliederung vorgenommen werden soll, hängt sehr wesentlich von der Zielsetzung ab. Auch für die technischen Systeme bieten sich zahlreiche Gliederungsmöglichkeiten an. Wir wollen sie auf ihre Brauchbarkeit für allgemeintechnische Belange untersuchen.

Die *traditionellen Einteilungsschemata* für Maschinen unterscheiden Arbeitsmaschinen und Kraftmaschinen. Arbeitsmaschinen sind danach technische Systeme, die Werkstücke formen oder Produktionsgüter transportieren. Kraftmaschinen wandeln Energie in technisch verwertbare Energie um. Diese Einteilung basiert offensichtlich auf dem im 19.Jahrhundert geprägten klassischen Begriff der Maschine als einer Arbeit verrichtenden oder Energie liefernden Vorrichtung mit beweglichen Teilen. Diese Einteilung muss heute als überholt angesehen werden, weil sie wesentliche Bereiche der modernen Maschinentechnik nicht mehr einbezieht. Der Begriff der Arbeitsmaschinen erfasst in diesen Gliederungen zum einen formändernde Maschinen (d.h. im wesentlichen Werkzeugmaschinen) und zum anderen ortsändernde Maschinen (d.h. Fördermaschinen, Kräne, Pumpen, Gebläse u. ä.). Abgesehen davon, dass eine solche Einteilung sich nur an der Produktionstechnik orientiert, werden auch weite Bereiche der modernen Maschinentechnik nicht erfasst, wie die Reaktionsapparate und die Agrartechnik. Die informationsverarbeitende Technik und die Kommunikationstechnik sind in diesem System ebenfalls nicht zu finden, obwohl z.B. die Fernmeldetechnik und die Funktechnik seit fast 100 Jahren ihren Platz in Wirtschaft und Gesellschaft haben. Der Begriff der Kraftmaschinen orientiert sich zwar allgemein auf Energiewandlungssysteme zur Freisetzung von Operationsenergie (Dampfmaschinen, Verbrennungsmotoren, Turbinen, Elektromotoren usw.) und erfasst sie damit relativ vollständig, im Prinzip impliziert er aber moderne Energiewandlungssysteme wie Kernreaktoren, Wärmepumpen, Brennstoffzellen, Solarkollektoren oder Photovoltaikanlagen nicht ein.

Neben dieser klassischen Unterteilung sind eine *Vielzahl von weiteren Klassifikationssystemen* für technische Systeme entworfen worden, für die jeweils sehr unterschiedliche Kriterien herangezogen wurden und die zumeist aus den Bedürfnissen einzelner Fachdisziplinen entstanden. Sie sind im Einzelnen so vielfältig, dass sie hier auch nicht annähernd vollständig wiedergegeben werden können. Da sie auch wenig Ausgangspunkte für eine fachübergreifende Systematik liefern, verzichten wir auf eine ausführliche Auflistung und verweisen auf HUBKA (Lit. 6.5.), der eine Zusammenstellung solcher Einteilungskriterien gibt. Eine gründliche Darstellung zur Systematisierung technischer Systeme finden wir auch bei BLANDOW und SCHNEIDER (Lit. 6.6., Kap. 6.2.).

Zur Illustration führen wir im Folgenden einige häufig verwendete Ordnungskriterien für technische Systeme an, die jeweils für bestimmte Zwecke brauchbar sind:

- *Struktureller Aufbau* (Werkzeuge, Geräte, Maschinen, Maschinensysteme)
- *Art des zu verändernden Arbeitsgegenstandes* (Operandenart) (Stoffbearbeitende, energieändernde und informationsändernde technische Systeme)
- *Einsatzgebiet / Verwendungszweck (*Produktionstechnik, Haushaltstechnik, Bürotechnik, Kommunikationstechnik, Medizintechnik, Militärtechnik, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik, Forschungstechnik, Verwaltungstechnik, Unterrichtstechnik usw.)
- *Aufbau / technisches Entwicklungsniveau* (einfache Maschinen , Maschinen mit Nachführsteuerung, numerisch gesteuerte Maschinen , teilautomatisierte Maschinen, Vollautomaten)

- *Zugehörigkeit zu Wirtschaftszweigen* (Maschinenbautechnik, Agrartechnik, Energietechnik, Transporttechnik, chemische Technik, Bergbautechnik, Bautechnik usw.)
- *Technologische Funktio*n (stoffbearbeitende, energieändernde, informationsändernde Technik)

Ein Beispiel für die Gliederung technischer Systeme nach gesellschaftlichen Einsatzbereichen gibt Abb. 21.3.

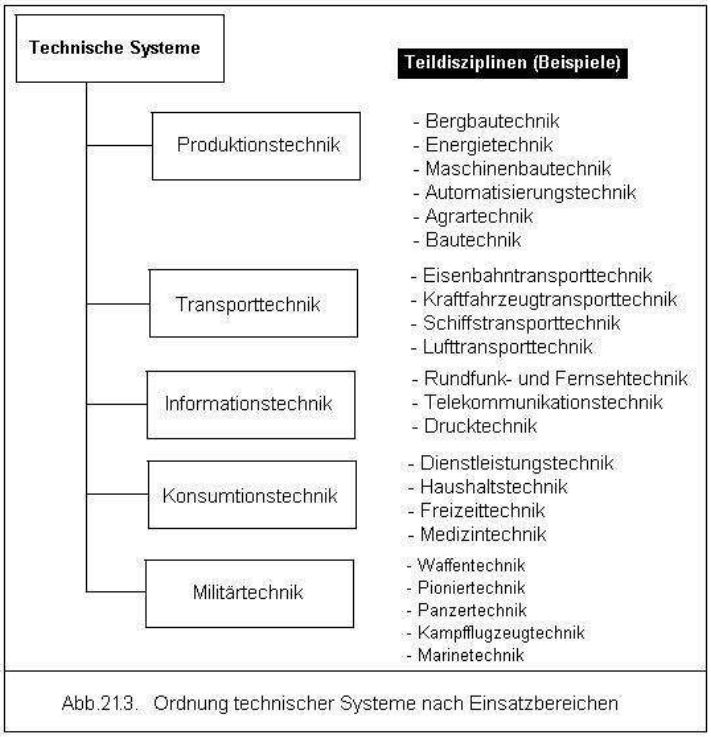


Abb.21.3. Ordnung technischer Systeme nach Einsatzbereichen

Ziel einer allgemeintechnischen Systematik ist die übersichtliche Ordnung der Gesamtheit aller Erscheinungsformen der technischen Systeme, unabhängig von ihrem konkreten Einsatzgebiet, ihren konstruktiven Merkmalen, ihrer Wirkungsweise oder ihrem Entwicklungsniveau. Die relevanten Kriterien für eine solche Systematik werden deshalb auf einem hohen Abstraktionsniveau angesiedelt sein. Sie müssen sowohl die Gesamtheit der technischen Systeme einbeziehen (also über die Produktionstechnik hinausreichen und die Technik aller gesellschaftlichen und individuellen Nutzungsfelder erfassen), als auch alle möglichen Funktionstypen technischer Systeme einbeziehen.

Bei der Aufstellung eines solchen Ordnungssystems muss beachtet werden, dass die Gliederung nur jeweils innerhalb der einzelnen Hierarchieebenen sinnvoll ist. Für die Erfassung der Gesamtheit technischer Systeme kommt nur die Ebene der Funktionssysteme in Betracht. Erst die dieser Ebene angehörenden technischen Gebilde besitzen einen solchen Grad der Komplexität, dass sie technologische Grundvorgänge realisieren können. Von der technologischen Aufgabe, der zweckerfüllenden Funktion, lassen sich allgemeine funktionale Unterscheidungsmerkmale für ein universelles Gliederungssystem der technischen Systeme ableiten. Die Gliederungsebene der technischen Funktionssysteme findet in der Technologie ihre Entsprechung in den technologischen Grundvorgängen als Gliederungsebene für die Systematik der technologischen Vorgänge.

Für die Ebene der Funktionssysteme ist bei der Zuordnung der verschiedenen Typen technischer Systeme weiter zu berücksichtigen, dass in ihr unterschiedliche Entwicklungsstufen (bzw. Komplexitätsstufen) erfasst werden (Werkzeuge, Geräte, klassische Maschinen, automatische Maschinen usw.). Gemeinsames Kriterium ist lediglich, die Potenz zur Realisierung eines technologischen Grundvorgangs.

Unter dem Blickwinkel der allgemeinen Technikтheorie erscheint es zweckmäßig, bei der Bestimmung der Einteilungskriterien des Ordnungssystems von den wesentlichen Merkmalen der technologischen Funktion der technischen Systeme auszugehen. In ihr kristallisieren sich zugleich die Wesensmerkmale jedes technischen Systems: nämlich die Funktion der zweckorientierten Veränderung von Arbeitsgegenständen (oder systemtheoretisch formuliert: der Transformation von Operanden). Daraus lässt sich zwanglos der Matrixoperator für eine Verknüpfungsmatrix als Klassifizierungssystem der technischen Systeme ableiten.

Der Matrixoperator wird gebildet von den Kriterien:

- *Art des zu verändernden Arbeitsgegenstandes* mit den Elementen stoffändernde, energieändernde und informationsändernde Systeme,
- *Art der angestrebten Veränderung des Arbeitsgegenstandes* mit den Elementen Formänderung, Strukturänderung, Ortsänderung und Speicherung.

Die daraus gebildete allgemeintechnische Gliederung der technischen Systeme ist in Abbildung 21.4. dargestellt.

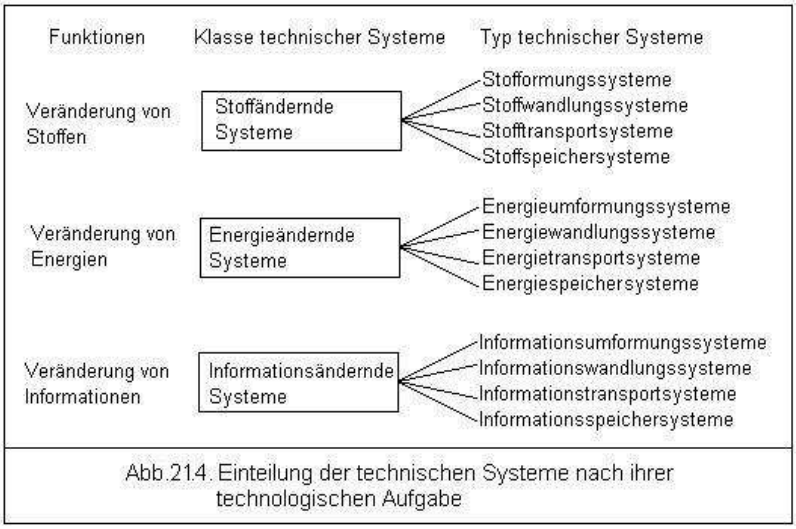


Abb.21.4. Einteilung der technischen Systeme nach ihrer technologischen Aufgabe

Die *stoffändernden Systeme* bearbeiten bzw. verarbeiten stoffliche Arbeitsgegenstände Je nach der Art, in der sie den Arbeitsgegenstand verändern (Form-, Struktur-, Ortsänderung, Speicherung), können sie weiter untergliedert werden in:

- *Stoffformungssysteme* (die alle Werkzeugmaschinen, aber auch Gießeinrichtungen, Metallätzeinrichtungen, Kristallziehmaschinen, Magnetscheider, Lösegefäße, Filteranlagen, Abfüllmaschinen, Verpackungssysteme usw. erfassen) .
- *Stoffwandlungssysteme*. Zu ihnen gehören alle chemischen Reaktionsapparate wie Schachtöfen, Drehrohröfen, Destillationskolonnen, Autoklaven, Elektrolysezellen, Fermenter, Strahlungsreaktoren und Schwingmühlen.
- *Stofftransportsysteme*. Sie umfassen Fördereinrichtungen, Rohrleitungssysteme, Container, Eisenbahnwaggons, Frachtschiffe, Pumpen, Kräne.
- *Stoffspeichersysteme* (Silos, Palettenregale, Bunker, Tanks, Lager u. ä.).

Die energieändernden Systeme haben die Funktion, Energien umzuformen, umzuwandeln, zu transportieren oder zu speichern. Dementsprechend können sie weiter untergliedert werden in:

- Energieumformungssysteme (Transformatoren, Getriebe, Wärmeaustauscher, Kompressoren, Gleichrichter, Verstärker).
- Energiewandlungssysteme (Verbrennungskraftmaschinen, Elektromotoren, Generatoren, Turbinen).
- Energietransportsysteme (Elektrische Leitungsnetze, Gestänge, Zahnradsysteme, Rohrleitungen).
- Energiespeichersysteme (Federn, Schwungmassen, Druckluftbehälter, Wärmespeicher, Kondensatoren, Akkumulatoren).

Die informationsändernden Systeme erfassen die Gesamtheit der zur Informationsverarbeitung und -übertragung eingesetzten Einrichtungen. Entsprechend ihrer technologischen Funktion werden sie in drei Klassen aufgegliedert:

- Informationsumformungssysteme (z.B. Lochbandleser, Messgeräte, Trägerverstärker, Dämpfungsglieder)
- Informationswandlungssysteme (z.B. Kodierer, Dekodierer, Analogverknüpfungsglieder, Computer, Mikroprozessoren)

- Informationstransportsysteme (z.B. Telefonkabelnetze, Funkübertragungssysteme, Lochkartenzuführungen, Glasfaserkabel, elektrische Übertragungsleitungen)
- Informationsspeicherungssysteme (Lochkarten, Videobänder, ROM-Speichermatrix, Disketten, Druckerzeugnisse, Fotos, Filme).

21.3. Verknüpfungsmatrix technischer Systeme

Aus den bisherigen Überlegungen leiten wir nun das allgemeintechnische Klassifikationssystem der technischen Funktionssysteme in Form einer Verknüpfungsmatrix ab. Als Matrixoperator bestimmen wir in Analogie zum Ordnungssystem der technologischen Grundverfahren für die Zeileneingänge die Arten der zu verändernden Arbeitsgegenstände mit den Elementen stoffliche, energetische und informationelle Arbeitsgegenstände und für die Spalteneingänge die Arten der Transformationen, denen die Arbeitsgegenstände unterzogen werden können, mit den Elementen Formen, Wandeln, Ortsverändern und Speichern. Beide Datenmengen erfüllen die Forderung, auf einer logischen Ebene zu liegen, sich einander auszuschließen und die Gesamtmenge der möglichen Elemente vollständig zu erfassen.

Für die einzelnen Elemente der Transformation der Operanden muss die Bedeutung im Hinblick auf die verschiedenen Operandenarten festgelegt werden.

Formänderung stofflicher Arbeitsgegenstände bedeutet Änderung der Gestalt, der äußeren Form oder Änderung physikalischer Eigenschaften ohne durchgreifende Änderung der chemischen Struktur. Formänderung energetischer Arbeitsgegenstände erfasst Parameteränderungen innerhalb einer Energieart (z.B. Änderung des Temperaturniveaus thermischer Energieträger, Frequenzänderung von Strahlungsenergie, Spannungsänderung elektrischer Energie). Bei informationellen Arbeitsgegenständen bezeichnet Formänderung die Änderung des Signalträgers, ohne die Information selbst zu verändern (z.B. Änderung von Trägerart, Trägererscheinungsform, Trägerbereich).

Wandeln bedeutet im Bereich stofflicher Arbeitsgegenstände die Veränderung der chemischen Struktur, im Bereich energetischer Arbeitsgegenstände die Veränderung der Energieart (z.B. Wandeln von elektrischer in mechanische Energie oder von Strahlungsenergie in elektrische Energie) und für informationelle Arbeitsgegenstände die Veränderung der Information selbst durch Signalstrukturänderung oder Änderung des Informationsinhalts (z.B. durch logische Verknüpfung von Informationen oder durch Kodieren).

Ortsverändern umfasst bei stofflichen Arbeitsgegenständen die Lageänderung bzw. den Transport von einem Ort an einen anderen. Analoges gilt für energetische Arbeitsgegenstände. Bei informationellen Arbeitsgegenständen geht es um die Übertragung von Signalen, d.h. die isomorphe Reproduktion von Informationen an verschiedenen Plätzen

Speichern heißt für stoffliche und energetische Arbeitsgegenstände, sie für eine bestimmte Zeit räumlich und hinsichtlich anderer Parameter konstant zu halten. Bei der Informationsspeicherung geht es um die isomorphe Reproduktion von Daten an einem Platz, um sie zu konservieren und für spätere Nutzung abrufbar zu halten.

Tabelle 21.2. zeigt das Ergebnis einer solchen Verknüpfungsmatrix. Wir bezeichnen sie als *Ordnungssystem technischer Funktionssysteme*.

ART der ARBEITSGEGENSTÄNDE	ART DER TRANSFORMATIONEN			
	Form / Gestalt / Parameter ändern	Wandeln / Struktur ändern	Ort / Lage ändern	Ort / Zustand erhalten / Speichern
Stoff	**Stoffändernde Systeme**			
	Stofformungssysteme	Stoffwandlungssysteme	Stofftransportsysteme	Stoffspeichersysteme
Energie	**Energieändernde Systeme**			
	Energieumformungssysteme	Energiewandlungssysteme	Energietransportsysteme	Energiespeichersysteme
Information	**Informationsändernde Systeme**			
	Informationsumformungssysteme	Informationswandlungssysteme	Informations - transportsysteme	Informationsspeichersysteme

Tabelle 21.2. Ordnung technischer Funktionssysteme

Literatur

21.1 M. Perwitzschky: Grundriss einer Theorie technischer Systeme; Dissertation B, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1975

21.2 Autorenkollektiv: Spezifik der technischen Wissenschaften; Moskau / Leipzig 1980

21.3 Autorenkollektiv: Technische Systeme; Leipzig 1976

21.4 K. Henseler / R. Wollrad: Maschine; Bad Salzdetfurth 1984

21.5 V. Hubka: Theorie der Maschinensysteme; Berlin/Heidelberg 1973

21.6 D. Blandow / G.Schneider: Zur Analyse und Synthese Technischer Gebilde für die Ingenieurausbildung im Maschinenbau; Technische Universität Dresden, Dissertation 1971

22. Funktionen und Strukturen technischer Systeme

22.1. Technologische und technische Funktionen

Ein technisches System zeichnet sich dadurch aus, dass es eine bestimmte, vorher festgelegte und zweckgerichtete Funktion erfüllt. Unter der *Funktion eines technischen Systems* wollen wir allgemein seine für einen technischen Zweck ausgenutzte Eigenschaft verstehen, bestimmte Eingangsgrößen (repräsentiert durch Eigenschaften und Merkmale von stofflichen, energetischen oder informationellen Arbeitsgegenständen) unter bestimmten Bedingungen in bestimmte Ausgangsgrößen (repräsentiert durch die Eigenschaften der stofflichen, energetischen oder informationellen Produkte) überzuführen. Dabei besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Struktur und der Funktion des technischen Systems in dem Sinne, dass einer bestimmten Struktur immer eine bestimmte Funktion und umgekehrt zuzuordnen ist.

Im Rahmen der allgemeinen Techniklehre unterscheiden wir zwischen technologischen und technischen Funktionen in technischen Systemen. Unter der *technologischen Funktion* verstehen wir die Eigenschaft des Systems, so auf Arbeitsgegenstände (Rohstoffe, Werkstoffe, Energieträger, Informationen) einzuwirken, dass sie in gewünschte Produkte übergeführt werden. Sie ist identisch mit der Bearbeitungsfunktion. Sie charakterisiert die nach außen gerichtete Gesamtfunktion des technischen Systems. Die technologische Funktion ist letztlich der Zweck der Entwicklung, des Baus und des Einsatzes der technischen Systeme.

Die technologische Funktion ist an das Arbeitsorgan gebunden. Der zweckgerichtete Ablauf des Bearbeitungsvorgangs ist aber nur möglich durch das koordinierte Zusammenwirken aller im System zusammenwirkenden Funktionsorgane. Diese zwischen den einzelnen Funktionsorganen intern ablaufenden Vorgänge bezeichnen wir als technische Funktion und die sie repräsentierenden Abläufe als technische Vorgänge.

Die technologische Funktion des technischen Systems lässt sich als aus einer Mehrzahl zusammenwirkender technischer Teilfunktionen determiniert auffassen, die durch Funktionsorgane und Funktionselemente innerhalb des Gesamtsystems realisiert werden. Die technologische Funktion wird - anders ausgedrückt - durch eine bestimmte Struktur des technischen Systems determiniert. Es gilt allerdings, dass eine bestimmte technologische Funktion nicht an nur eine bestimmte Struktur gebunden ist, sondern durchaus auch mittels unterschiedlicher Strukturen realisiert werden kann. Umgekehrt können auch verschiedenartige technologische Funktionen durch gleichartige Strukturen erreicht werden. In jedem konkreten Fall ist die Struktur aber eindeutig bestimmt.

Die *technischen Funktionen wirken* innerhalb des Systems und betreffen die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Funktionsorganen und Funktionselementen. Es handelt sich dabei um Funktionen wie das Bereitstellen, Weiterleiten und Umformen der Operationsenergie, das Gewinnen und Verarbeiten von Steuerungsinformationen sowie das Abstützen und Verbinden der einzelnen Teilsysteme. Sie dienen ausschließlich dazu, die für die Bearbeitungsaufgabe (die technologische Funktion) notwendigen Vorgänge zu ermöglichen. Die technischen Funktionen sind der technologischen Funktion insofern untergeordnet als ihre Aufgabe darin besteht, die technologische Funktion zuverlässig und optimal zu realisieren.

Die technischen Funktionen unterliegen einer Hierarchie. Die unterschiedlichen Hierarchieebenen ergeben sich aus der Komplexität der zu realisierenden Funktion. Den einzelnen Ebenen können jeweils charakteristische Teilsysteme des Gesamtsystems zugeordnet werden. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, folgende Ebenen der technischen Funktionen zu unterscheiden:

- Bereichsfunktionen:
  - Fluss der Arbeitsgegenstandes sichern ,
  - Fluss der Operationsenergie sichern ,
  - Fluss der Steuerungsinformation sichern.
- Organfunktionen: z.B. der Bereichsfunktion „Fluss der Operationsenergie sichern“:
  - Operationsenergie bereitstellen,
  - Operationsenergie übertragen.
- Gruppenfunktionen: z.B. der Organfunktion „Operationsenergie übertragen“:
  - Operationsenergie weiterleiten,
  - Operationsenergie umformen,
  - Operationsenergie anpassen,
  - Operationsenergie speichern,

- Operationsenergie teilen.

- Elementarfunktionen: z.B. der Gruppenfunktion „Operationsenergie speichern“:
  - Schwungradspeichern,
  - Federspeichern,
  - Pendelspeichern
  - Kondensatorspeichern.

Technische Elementarfunktionen werden von Funktionselementen durch technische Elementarvorgänge realisiert. Unter einem *technischen Elementarvorgang* verstehen wir eine im technischen Sinn unteilbare gezielte Änderung technischer Größen stofflicher, energetischer oder informationeller Art. Der jeweilige Zustand der Größen wird durch Eingangs- und Ausgangsgrößen erfasst. Funktionsträger dieser Elementarvorgänge sind die Funktionselemente. Die bezweckte Änderung wird durch das mittels des Funktionselements erzwungene abgestimmte Zusammenwirken eines Komplexes von Naturvorgängen erreicht. Die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den einzelnen Faktoren werden durch das Funktionsprinzip ausgedrückt.

Die Struktur jedes technischen Elementarvorgangs wird durch drei Faktoren charakterisiert: durch die zu ändernde Größe, die ändernde Größe und durch das Vollzugselement. Zwischen ihnen bestehen ähnliche Kopplungsbeziehungen wie beim technologischen Grundvorgang (Abb. 22.1.). Sie werden durch die jeweiligen Funktionsbedingungen charakterisiert.

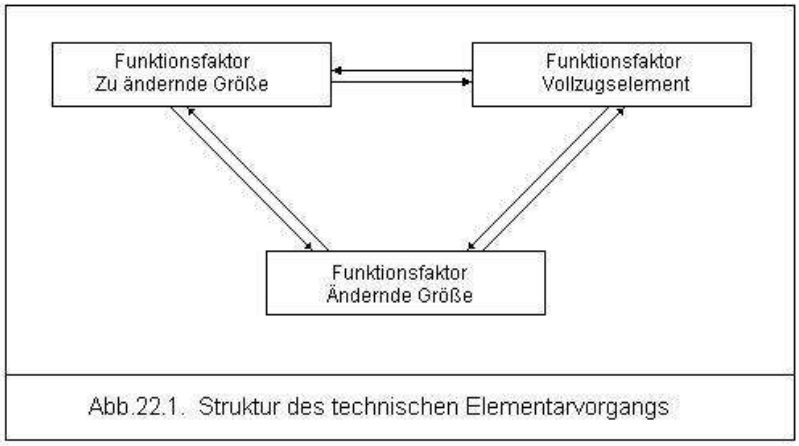


Abb.22.1. Struktur des technischen Elementarvorgangs

Ein Vergleich der Struktur technischer Elementarvorgänge und technologischer Grundvorgänge macht die Analogie zwischen beiden deutlich (vgl. Kap. 5.3.) und zeigt auch die engen Beziehungen zwischen technologischen und technischen Funktionen, die zum Teil je nach dem Betrachtungsstandpunkt wechselweise ineinander übergehen können.

Die technischen Elementarvorgänge können durch *Funktionsprinzipien* erfasst und abgebildet werden. Diese gehören ihrem Charakter nach zu den Funktionsgesetzen (wie z.B. die Wirkprinzipien der technologischen Grundvorgänge). Sie treffen Aussagen zum Zweck des Vorgangs, beschreiben den Vorgangsverlauf, charakterisieren die wesentlichen Funktionsfaktoren in ihren vorgangsbestimmenden Eigenschaften und erfassen die Zustandsänderungen in ihrem zeitlichen Verlauf (Abb.22.2.). Daraus ergibt sich folgende *allgemeine Aussagenstruktur der Funktionsprinzipien:*

- Zweck und Ziel der gewollten Größenänderung
- Veränderungseigenschaften der technischen Größe
- Funktionseigenschaften des Vollzugselements
- Charakteristik der Funktionsfaktoren und der Vorgangsbedingungen
- Vorgangsverlauf / Übertragungsfunktion [A = f (E)](E = Eingangsgröße, A = Ausgangsgröße)

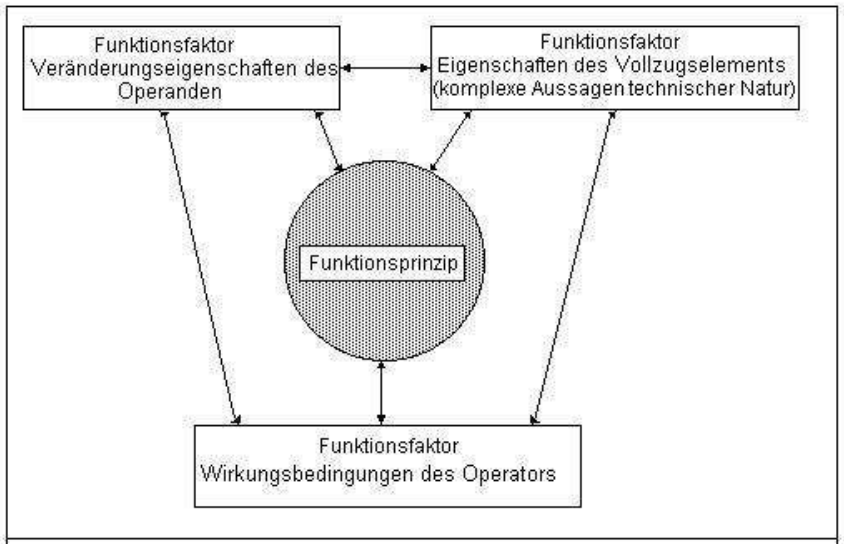


Abb.22.2. Determinanten des technischen Funktionsprinzips

22.2. Funktionsanalyse technischer Systeme

Die Analyse technischer Systeme hat im Rahmen einer allgemeinen Techniklehre die Aufgabe, deren Aufbau und Funktionen bzw. ihre Struktur und ihr Verhalten für ein vertieftes Verständnis zu erfassen. Sie soll die funktionell-technologischen und die technisch-konstruktiven Merkmale des Systems bestimmen. Dabei werden die ihnen zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien aufgedeckt und die inneren Zusammenhänge und der Wirkungsmechanismus verdeutlicht. Das geschieht vor allem durch die Bestimmung der konstruktiven bzw. funktionalen Elemente des zu untersuchenden technischen Systems und der zwischen ihnen bestehenden Relationen (Kopplungen). Die Kopplungen können stofflicher, energetischer oder informationeller Art sein.

Die Analyse kann unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Je nach dem Zweck der Betrachtung wird einem von ihnen der Vorrang gegeben. Als Hauptaspekte kommen im Rahmen der allgemeinen Techniklehre dafür in Frage:

- der konstruktiven Aufbau
- der funktionelle Aufbau

22.2.1. Konstruktiver Aufbau

Bei der Analyse des konstruktiven Aufbaus technischer Systeme sind die konstituierenden Teilsysteme *Bauteile*. Es wird zwischen Bauelementen und Baugruppen unterschieden.

Bauelemente sind die Elementarsysteme der konstruktiven Maschinenanalyse. Sie sind die kleinsten, konstruktiv nicht mehr zerlegbaren Bestandteile technischer Systeme. Sie kommen in gleicher oder ähnlicher Form in technischen Systemen aller Art (Maschinen, Fahrzeuge, Förderanlagen usw.) in großer Anzahl vor. Sie werden in der Literatur auch als Maschinenelemente bezeichnet. Typische Vertreter der Bauelemente sind vor allem Verbindungselemente (z.B. Schraub-, Keil-, Federverbindungen), des weiteren Wellen, Lager, Achsen und Zapfen.

Baugruppen sind aus mehreren verschiedenen Bauelementen zusammengesetzt. Sie dienen vor allem Aufgaben im Stoff-, Energie- und Informationsfluss, z.B. der Übertragung und Umformung mechanischer Energie, dem Tragen und Fortleiten des Stoffs oder der Aufnahme von Kräften. Dem gemäß gibt es Baugruppen zum Übertragen mechanischer Energie, zum Umformen von Bewegungen, zum Stofftransport und zum Abstützen und Verbinden von Bauteilen.

Die Konstruktion der Bauelemente und Baugruppen wird durch die Funktionsanforderungen bestimmt und muss alle möglichen Beanspruchungen im Funktionsablauf berücksichtigen. Die Bauteile sind weitgehend standardisiert und unterliegen der ständigen Weiterentwicklung. Ein und dieselbe Funktion kann durch ver-

schiedenartige Bauteile realisiert werden. So kann die Verbindung einzelner Teile durch unterschiedliche Verbindungselemente erfolgen, z.B. durch Schrauben, Federn oder Niete. Welches Bauelement zum Einsatz kommt, hängt von den Bedingungen und den Anforderungen an die Funktionserfüllung ab. Neben funktionstechnischen Faktoren beeinflussen auch technologische und ökonomische Faktoren die Auswahl.

Tabelle 22.1. gibt eine Übersicht zu typischen Bauelementen und Bauteilen und die von ihnen zu erfüllende Funktion.

FUNKTION	BEISPIELE
Bauelemente zum Abstützen von Bauteilen	Gleitlager, Wälzlager, Achsen, Zapfen
Bauelemente zum Verbinden von Bauteilen	Schrauben, Stifte, Keile, Federn, Niete
Bauelemente zum Fortleiten von Stoff und Energie	Seile, Ketten, Zugstangen, Rohre
Baugruppen zur Drehmomenten-übertragung	Wellen, Zahnräder, Kupplungen
Baugruppen zum Umformen mechanischer Energie	Rädergetriebe, Flüssigkeits-getriebe, Kurbelgetriebe
Baugruppen als Widerstand im mechanischen Energiefluß	Gesperre. Blenden, Düsen, Ventile
Baugruppen zum Schalten und Regeln des mechanischen Energieflusses	Kupplungen, Schaltwerke, Absperr-ventile, Schieber, Absperrhähne

Tabelle 22.1. Übersicht zu Bauelementen und Baugruppen

22.2.2. Funktioneller Aufbau

Unter funktionellen Gesichtspunkten wird das technische System (Funktionssystem) in Funktionsbereiche, Funktionsorgane und Funktionselemente gegliedert.

Die *Funktionsbereiche* des technischen Systems ergeben sich aus den Funktionen bei der Realisierung der einzelnen Flüsse innerhalb des technischen Systems. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf Kap. 6.4., in dem wir den Stoff-, Energie- und Informationsfluss in technischen Systemen ausführlich dargestellt haben. Die abzuleitenden Funktionsbereiche sind:

- der Funktionsbereich zur Realisierung des Stoffflusses (oder allgemeiner: des Flusses des Arbeitsgegenstandes)
- der Funktionsbereich zur Realisierung des Energieflusses
- der Funktionsbereich zur Realisierung des Informationsflusses

Innerhalb der Funktionsbereiche werden jeweils ganz bestimmte technische Grundfunktionen (Organfunktionen) ausgeübt, die ihrerseits durch entsprechende Funktionsorgane realisiert werden (s. Kap. 22.4. und 22.5). Die Grundfunktionen lassen sich weiter in technische Elementarfunktionen untergliedern, die durch Funktionselemente repräsentiert werden.

22.3. Funktionsbereiche technischer Systeme zur Realisierung von Stoff- , Energie- und Informationsfluss

Wenn wir davon ausgehen, dass die Funktion eines technischen Systems in der gezielten Veränderung von Arbeitsgegenständen besteht, dass dabei Energien aufgewandt werden müssen, durch die die Veränderungen am Arbeitsgegenstand herbeigeführt werden und dass schließlich der Vorgang durch entsprechende Steuerungsinformationen so abläuft, dass das gewünschte Bearbeitungsziel erreicht wird, so ergibt sich daraus in erster Näherung, dass jedes entwickelte technische Funktionssystem aus drei Funktionsbereichen besteht:

- dem Bearbeitungsteil,
- dem Energieteil und
- dem Informationsteil

Der Bearbeitungsteil realisiert den Fluss des Arbeitsgegenstandes und wirkt auf den Arbeitsgegenstand direkt oder indirekt verändernd ein. Je nach der Art des Arbeitsgegenstandes kann es sich um einen Stoff-, Energie- oder Informationsfluss handeln.

Der Energieteil wird durch den Energiefluss innerhalb des technischen Systems, d.h. durch die Bereitstellung der Operationsenergie, ihre Anpassung an die Vorgangserfordernisse und ihre Weiterleitung an die Wirkstelle gekennzeichnet. Der Energieteil stellt auch Hilfsenergien (z.B. für Kühlvorgänge und Transportvorgänge innerhalb des Funktionssystems) und Steuerungsenergien (für die im Informationsteil benötigte Energie) bereit.

Den Informationsteil bilden die Teilsysteme, die den Informationsfluss innerhalb des Gesamtsystems sichern. Diese Funktion umfasst die Bereitstellung, Gewinnung, Verarbeitung und Übertragung von Steuerungsinformationen.

22.3.1. Der Bearbeitungsteil

Die Funktionen des Bearbeitungsteils besteht in der Realisierung der technologischen Gesamtfunktion des technischen Systems. Sie ist auf den Arbeitsgegenstand gerichtet und hat seine finale Veränderung zum Ziel. Sie umfasst drei Teilfunktionen: die eigentliche Bearbeitungsfunktion (oder auch Vollzugsfunktion), die Führungsfunktion und die Positionierungsfunktion. Jede dieser Funktionen wird jeweils durch eigenständige Funktionsorgane repräsentiert.

Die *Bearbeitungsfunktion* (Vollzugsfunktion) umfasst die Schaffung und Sicherung aller wesentlichen Bedingungen, die für die finale Änderung des Arbeitsgegenstandes nötig sind. Dazu gehören alle Vorgänge an der Wirkstelle. Die Einwirkung kann direkt durch das Arbeitsorgan oder auch indirekt über Wirkmedien oder Wirkbedingungen erfolgen.

Die *Führungsfunktion* bewirkt die Positionierung des Arbeitsorgans und tritt dort in Aktion, wo das Arbeitsorgan zwangsläufige Bewegungen ausführen muss

Die *Positionierungsfunktion* bewirkt die Fixierung des Arbeitsgegenstandes in einer vorgegebenen Lage und gegebenenfalls seine zwangsläufigen Bewegungen.

22.3.2. Der Energieteil

Der Energieteil hat zwei wesentliche Grundfunktionen. Er stellt die dem Bearbeitungsvorgang adäquate Energie bereit und überträgt sie in angepasster Form auf die anderen Teilsysteme des technischen Systems.

Die *Bereitstellungsfunktion* für die Energie umfasst die Zuführung von Gebrauchsenergie von außen und gegebenenfalls ihre Umwandlung in die dem Bearbeitungsvorgang adäquate Operationsenergie.

Die *Übertragungsfunktion* hat die Aufgabe, die dem technischen System zugeführte Energie den Bearbeitungsanforderungen anzupassen, sie an die Wirkstelle weiterzuleiten, sie auf die verschiedenen Teilsysteme zu verteilen und gegebenenfalls auch zu speichern.

22.3.3. Der Informationsteil

Der Informationsteil nimmt die für den Prozess notwendigen Steuerungsinformationen von außen auf (durch menschliche Steuerbefehle, Informationsabruf aus Steuerungsprogrammen, Messinformationen aus dem Prozess). Wir können zwei Grundfunktionen für diesen Teil angeben: die Steuerungsfunktion und die Optimierungsfunktion.

Die *Steuerungsfunktion* realisiert im Einzelnen das Messwerterfassen, das Messwertprüfen und -vergleichen, das Abrufen gespeicherter Informationen, sowie die Abgabe von Befehlen zur Steuerung des Prozessablaufs wie Schalten und Einstellen.

Die *Optimierungsfunktion* zielt auf die flexible Prozesssteuerung. Sie passt den Verfahrensablauf den sich ändernden Prozessbedingungen an durch komplexes Verarbeiten von Prozessinformationen an und optimiert den Prozessablauf.

Ein Informationsteil ist nur bei solchen technischen Systemen ausgeprägt vorhanden, die mindestens das Entwicklungsniveau programmgesteuerter Systeme besitzen. Klassische Maschinen weisen keinen voll aus-

geprägten Informationsteil auf, können aber bereits Elemente mit Steuerungsfunktion haben (z.B. Fliehkraftregler, Schaltelemente, Stellelemente).

22.3.4. Der Stützteil

Alle genannten Grundfunktionen müssen schließlich in einem funktionellen Ganzen zusammenwirken. Die materiellen Träger einzelnen Funktionen, die Funktionsorgane, müssen zu einem Gesamtsystem verbunden werden, die Teilsysteme in einer bestimmten Lage zueinander fixiert werden, die auf sie wirkenden Kräfte müssen aufgenommen bzw. kompensiert werden. Die dabei auszuübenden Aufgaben erhalten die Bezeichnung *Stützfunktion*. Sie umfasst im Einzelnen das Verbinden und Lagefixieren der Teilsysteme sowie die Aufnahme, Kompensierung und Ableitung wirkender Kräfte innerhalb des Systems

Diese Funktion kann keinem der bisher genannten drei Bereiche zugeordnet werden. Sie nimmt eine Sonderstellung außerhalb dieser Bereiche ein, die in einem Strukturmodell entsprechend sichtbar werden muss.

Zusammenfassend lassen sich die Überlegungen zu den Funktionsbereichen technischer Systeme und die durch sie realisierten Funktionen in einem Strukturmodell darstellen. (Abb. 22.3.)

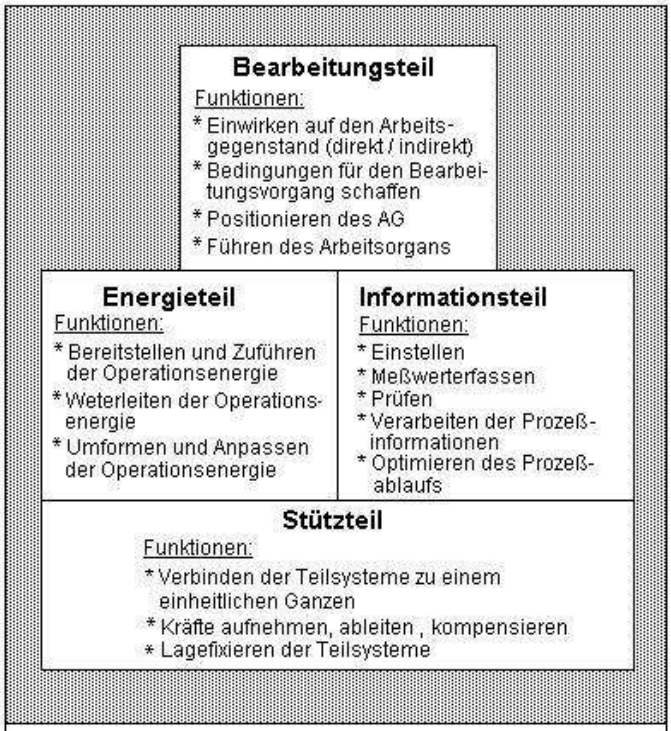


Abb.22.3. Funktionsbereiche technischer Systeme

22.4. Funktionsorgane technischer Systeme

Aus der Charakteristik der Funktionsbereiche technischer Systeme und der durch sie zu realisierenden Teilfunktionen lassen sich zusammenfassend 8 Grundfunktionen angeben, die in jedem technischen System für die Durchführung technologischer Aufgaben zu realisieren sind. Die einzelnen Funktionen werden durch entsprechende Funktionsorgane realisiert, deren Bezeichnung durch die zugehörige technische Grundfunktion determiniert ist:

• Bearbeitungsteil	Bearbeitungsfunktion	----	Arbeitsorgan
	Führungsfunktion	---	Führungsorgan
	Positionierungsfunktion	---	Positionierungsorgan
• Energieteil	Antriebsfunktion	---	Antriebsorgan
	Übertragungsfunktion	---	Übertragungsorgan
• Informationsteil	Steuerungsfunktion	---	Steuerungsorgan
	Optimierungsfunktion	---	Optimierungsorgan
• Stützteil	Stützfunktion	---	Stützorgan

Das *Arbeitsorgan* steht im Zentrum des Bearbeitungsteils. Von ihm gehen die entscheidenden Wirkungen auf die Veränderung des Arbeitsgegenstandes aus. Das Arbeitsorgan ist das Teilsystem des technischen Funktionssystems, das den Arbeitsgegenstand von einem bestimmten Ausgangszustand in einen bestimmten Endzustand überführt. Es steht mit dem Arbeitsgegenstand in direkter Wechselwirkung oder wirkt über ein Wirkmedium auf ihn ein.

Das *Führungsorgan* determiniert die notwendigen mechanischen Zwangsbewegungen des Arbeitsorgans (z.B. der Werkzeugschlitten der Drehmaschine, die Zustellspindel der Bohrmaschine, die Kippvorrichtung des Zementmischers) und besitzt deshalb immer direkte Kopplung zu ihm. Der Einfluss kann auch indirekt erfolgen, wenn die Zwangsführung auf das vom Arbeitsorgan ausgehende Wirkmedium gerichtet ist.

Das *Positionierungsorgan* hat die Aufgabe, den Arbeitsgegenstand in einer bestimmten Lage zu fixieren und gegebenenfalls die Relativbewegung zwischen Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand zu sichern. Aus der Funktion ergeben sich direkte Kopplungen zwischen Positionierungsorgan und Arbeitsgegenstand, aber auch mit dem Arbeitsorgan und dem Führungsorgan.

Die Zuführung und Bereitstellung der Operationsenergie erfolgt durch das *Antriebsorgan*. Es ist im Allgemeinen ein Energiewandler (z.B. Elektromotor, Verbrennungsmotor). Es kann auch ein Energiespeicherungssystem sein (z.B. Akkumulator, Feder). Wird die Energie bereits in der Form dem technischen System zugeführt, wie sie als Operationsenergie benötigt wird, so entfällt die Notwendigkeit für das Vorhandensein eines Antriebsorgans. Das kann auch dann der Fall sein, wenn der Bearbeitungsvorgang unter dem Einfluss eines Potentialgefälles mit Entropiezunahme verläuft, die Operationsenergie also praktisch mit dem Arbeitsgegenstand zugeführt wird (z.B. bei Schwerkraftförderern, bei Reaktoren für exotherme Stoffwandlungsprozesse, bei Energiewandlern und Energieumformern, bei technischen Systemen zum Schwerkraftgießen).

Kopplungen besitzt das Antriebsorgan nur zum Übertragungsorgan. Das ergibt sich daraus, dass die vom Antriebsorgan bereitgestellte Operationsenergie immer erst durch das Übertragungsorgan an seine Wirkungsstelle weitergeleitet und gegebenenfalls an die technologische Aufgabe angepasst wird.

Das *Übertragungsorgan* nimmt die Operationsenergie von Antriebsorgan oder direkt von außen auf, passt sie über entsprechende Teilsysteme (das sind im allgemeinen Energieumformer wie Getriebe, Transformatoren, Wärmeaustauscher) den Bearbeitungsanforderungen an und leitet sie über das Arbeitsorgan bzw. das Führungsorgan oder das Positionierungsorgan an die Wirkstelle weiter.

Das *Steuerungsorgan* verarbeitet und speichert sie und leitet sie an die zu steuernden Teilsysteme weiter. Informative Kopplungen können zum Arbeitsorgan, zum Führungsorgan und zum Positionierungsorgan bestehen. Auch zum Energieteil sind Relationen möglich.

Die hoch entwickelten technischen Systeme weisen in ihrem Informationsteil ein *Optimierungsorgan* auf. Es ermöglicht eine flexible, den wechselnden Prozessbedingungen angepasste Steuerung der Bearbeitungsvorgänge. Es ist im Allgemeinen ein Prozessrechner, der auf der Basis einer Vielzahl während des Bearbeitungsvorgangs gewonnener und verarbeiteter Informationen den Prozessablauf optimiert. Eine direkte Kopplung existiert nur zum Steuerungsorgan.

In einer Tabelle zusammengefasst ergibt sich folgende Übersicht und Zuordnung von technischen Funktionen, Systembereichen und Funktionsorganen (Tabelle 22.2.):

Teilsystem des TS	Funktionsorgan	Symbol	Funktion	Beispiele
Bearbeitungsteil	Arbeitsorgan	AbO	Bearbeiten	Maschinenwerkzeuge, Reaktionsraum, Greifer
	Führungsorgan	FüO	Zwangsführung des Arbeitsorgans	Support, Bohrfutter, Führungsbahnen
	Positionierungsorgan	PsO	Fixieren und Positionieren des Arbeitsgegenstandes	Drehmaschinenfutter, Leitbleche
Energieteil	Übertragungsorgan	ÜbO	Weiterleiten, Umformen, Anpassen der OpE	Getriebe, Rohrleitungen, Kupplungen
	Antriebsorgan	AnO	Bereitstellen der Operationsenergie	Elektromotoren, Akkumulatoren
Informationsteil	Steuerungsorgan	StO	Meßwerterfassen, Prüfen, Einstellen	Kurvensteuerungen, Schrittschaltwerke
	Optimierungsorgan	OpO	Prozeßoptimierung	Prozeßrechner
Stützteil	Stützorgan	SzO	Verbinden der Teilsysteme, Kräfte aufnehmen	Gestelle, Gehäuse, Ständer, Fundamente

Tabelle 22.2. Technische Funktionen und Funktionsorgane

22.5. Organstrukturmodell technischer Systeme

Nachdem wir die in technischen Systemen realisierten technologischen und technischen Funktionen analysiert und die dazugehörigen Funktionsorgane bestimmt haben, wollen wir im nächsten Schritt diese Ergebnisse nutzen, um ein allgemeines Strukturmodell technischer Systeme zu entwerfen.

Wenden wir die Erkenntnisse zunächst auf ein konkretes technisches System an und versuchen, die in ihm vorhandenen Funktionsorgane zu bestimmen und zu lokalisieren. Wir wählen dazu eine Tischbohrmaschine (Abb.22.4.).

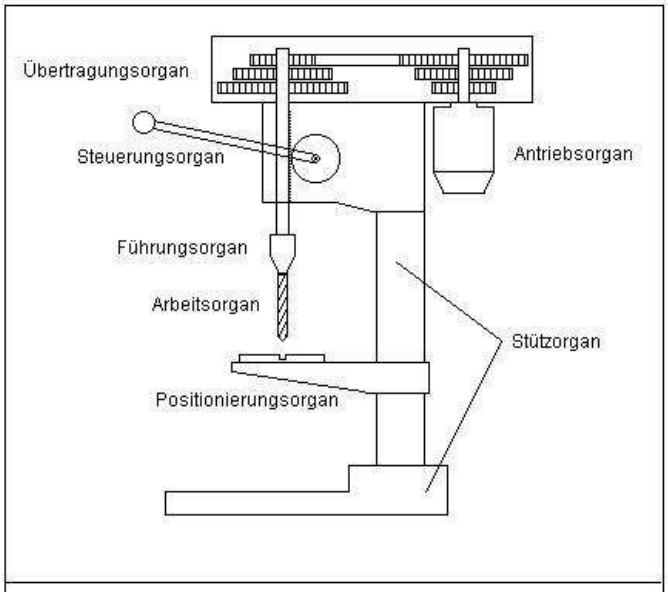


Abb.22.4. Organstruktur einer Tischbohrmaschine

Das Arbeitsorgan ist das Bohrwerkzeug. Mit ihm erfolgt die technologische Veränderung des Arbeitsgegenstandes, das Bohren. Der Arbeitsgegenstand wird für den Bearbeitungsvorgang auf dem Bohrtisch mittels Maschinenschraubstöcken oder anderen Aufspannvorrichtungen für die Bearbeitung in der gewünschten Lage positioniert und festgehalten. Diese Teilsysteme bilden das Positionierungsorgan. Das Bohrwerkzeug wird durch die mit Spannvorrichtungen ausgerüstete Bohrspindel aufgenommen (Führungsorgan).

Die Operationsenergie (mechanische Rotationsenergie) wird durch einen Elektromotor hervorgebracht. Er repräsentiert das Antriebsorgan. Von ihm aus wird die Energie auf das Getriebe übertragen, das verschiedene Bohrgeschwindigkeiten und gegebenenfalls auch entgegengesetzte Drehrichtungen ermöglicht. Es überträgt die Rotationsbewegung direkt auf die Bohrspindel. Das Getriebe ist das Übertragungsorgan.

Der Vorschub erfolgt durch Verschieben der Bohrspindel mittels eines Bedienungshebels. Er ist Element eines nicht voll ausgeprägten Steuerungsorgans. Ein Optimierungsorgan ist bei der hier betrachteten Tischbohrmaschine nicht vorhanden.

Alle Teilsysteme werden durch ein Säulengestell zu einer funktionellen Einheit verbunden. Es hält sie in ihrer Lage und nimmt die entstehenden Kräfte auf. Das Säulengestell ist das Stützorgan.

Auf die hier dargestellte Weise lassen sich alle technischen Systeme in ihrer grundlegenden Struktur charakterisieren. Auf dem Wege zu einem allgemeinen, beliebige technische Systeme erfassenden Strukturmodell müssen gegenüber dem hier betrachteten konkreten Beispiel noch weitere Abstraktionsschritte gegangen werden. Sie führen über ein Blockschema zu einem allgemeinen Strukturmodell technischer Systeme. Am Beispiel der Abb. 22.5. lassen sich diese Abstraktionsschritte ablesen.

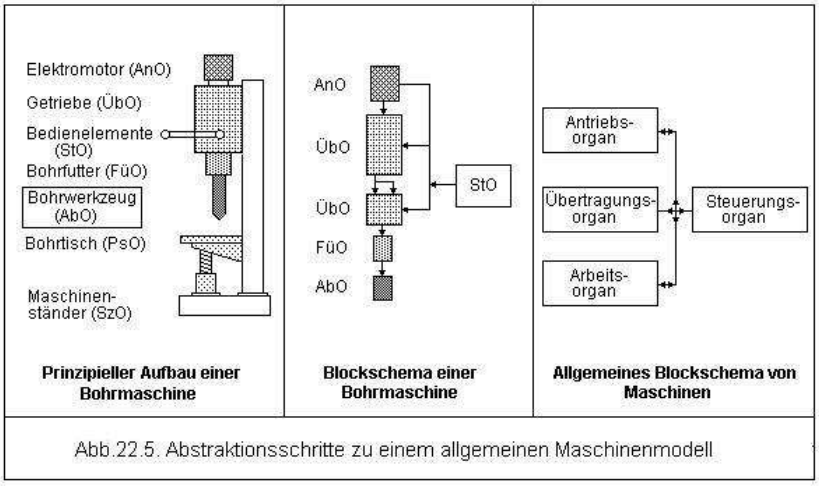


Abb.22.5. Abstraktionsschritte zu einem allgemeinen Maschinenmodell

Ein allgemeines Modell technischer Systeme muss alle möglichen Funktionssysteme erfassen, sowohl hinsichtlich unterschiedlichster technologischer Aufgaben wie auch verschiedener Entwicklungsniveaus. Das heißt einerseits, dass es sowohl für Werkzeugmaschinen (Drehmaschinen, Betonmischmaschinen, hydraulische Pressen, Webmaschinen usw.), Transporteinrichtungen (Bandförderer, Krananlagen, Kraftfahrzeuge usw.), Landmaschinen (Erntemaschinen, Bodenbearbeitungsmaschinen, Melkmaschinen usw.), chemische Reaktoren (z.B. Schachtöfen, Autoklaven, Reaktionstürme), Energiemaschinen (wie Generatoren, Verbrennungsmotoren, Akkumulatoren), Informationsverarbeitungssysteme (wie Personalcomputer, Telefongeräte, Fernsehgeräte) und beliebige andere Arten technischer Mittel gültig sein muss. Andererseits muss es auch die unterschiedliche Komplexität und Entwicklungshöhe berücksichtigen, wie sie z.B. bei Werkzeugen, Geräten, Maschinen, Anlagen und Aggregaten vorliegen kann.

Ein so verstandenes Organstrukturmodell technischer Systeme ist das *allgemeine Strukturgesetz technischer Systeme*. Es besagt, dass jedes technische System (genauer: jedes technische Funktionssystem) entsprechend seinem Entwicklungsniveau aus einer begrenzten Zahl von Teilsystemen besteht, von denen jedes eine charakteristische, von der konkreten technologischen Aufgabe unabhängige Funktion innerhalb des Gesamtsystems ausübt, und dass zwischen den Strukturelementen charakteristische Relationen bestehen. Diese Kopplungen zwischen den Funktionsorganen können stofflicher, energetischer oder informationeller Natur sein und dienen der Funktionsrealisierung zwischen ihnen. Die Zahl der in dem betrachteten System vorhandenen Funktionsorgane hängt von seinem technologischen Entwicklungsniveau ab und bestimmt seine Zuordnung zu verschiedenen Teilklassen technischer Funktionssysteme.

Letzten Endes geht der Gedanke einer allgemeinen Struktur der Maschinerie auf MARX zurück. Bei seinen Untersuchungen über die Unterschiede zwischen Handwerkzeug und Maschine kam er zu dem Ergebnis, dass alle entwickelte Maschinerie aus drei wesentlich verschiedenen Teilen besteht, „der Bewegungsmaschine, dem Transmissionsmechanismus, endlich der Werkzeugmaschine oder Arbeitsmaschine. Die Bewegungsmaschine wirkt als Triebkraft des ganzen Mechanismus...Der Transmissionsmechanismus...regelt die Bewegung, verwandelt, wo es nötig ihre Form,...verteilt und überträgt sie auf die Werkzeugmaschinerie.

Beide Teile des Mechanismus sind nur vorhanden, um der Werkzeugmaschine die Bewegung mitzuteilen, wodurch sie den Arbeitsgegenstand anpackt und zweckmäßig verändert“ (Lit. 22.5., Seite 393).

Die Entwicklung des Grundmodells geht zunächst von der Aufgliederung des Gesamtsystems in 3 Teilbereiche aus. Der Bearbeitungsteil als wesensbestimmendes Teilsystem steht im Zentrum der Darstellung. Er umfasst das Arbeitsorgan, das Führungsorgan und das Positionierungsorgan. Die nach außen gerichtete technologische Funktion des technischen Systems wird durch die vom Arbeitsorgan ausgehenden Relationen zum Arbeitsgegenstand verdeutlicht. Da diese Verbindung direkt oder indirekt (über ein Wirkmedium) erfolgen kann, ergeben sich zwei mögliche Relationen. Auch vom Positionierungsorgan geht eine Kopplungsmöglichkeit zum Arbeitsgegenstand, die sich unmittelbar aus der Funktion dieses Organs ergibt, den Arbeitsgegenstand in eine bestimmte Lage zum Arbeitsorgan zu bringen und zu fixieren. Innerhalb des Bearbeitungsteils bestehen Kopplungen zwischen allen Funktionsorganen.

Unterhalb des Bearbeitungsteils sind der Energieteil und der Informationsteil angeordnet. Der Energieteil besteht aus dem Antriebs- und dem Übertragungsorgan. Dem Antriebsorgan wird von außen die Operationsenergie zugeführt und von ihm in die prozessadäquate Energieform umgewandelt. Das Antriebsorgan besitzt nur zum Übertragungsorgan direkte Kopplungen. Wenn die Operationsenergie bereits in der prozesswirksamen Form zugeführt wird, entfällt das Antriebsorgan. Sie gelangt dann direkt zum Übertragungsorgan. Das Übertragungsorgan besitzt direkte Kopplungen zu allen Funktionsorganen des Bearbeitungsteils und auch des Informationsteils, für die es sowohl Operationsenergie als auch Hilfsenergien bereitstellt.

Der Informationsteil erhält von außen Steuerungsinformationen zugeführt, die sowohl dem Steuerungsorgan direkt als auch über das Optimierungsorgan zugeführt werden können. Das Steuerungsorgan besitzt Kopplungen zu den Funktionsorganen des Bearbeitungsteils und zum Übertragungsorgan.

Die 3 Teilbereiche des technischen Systems „ruhen“ auf dem Stützteil, der vom Stützorgan gebildet wird. Das auf diese Weise entwickelte Organstrukturmodell ist in Abb. 22.6. dargestellt.

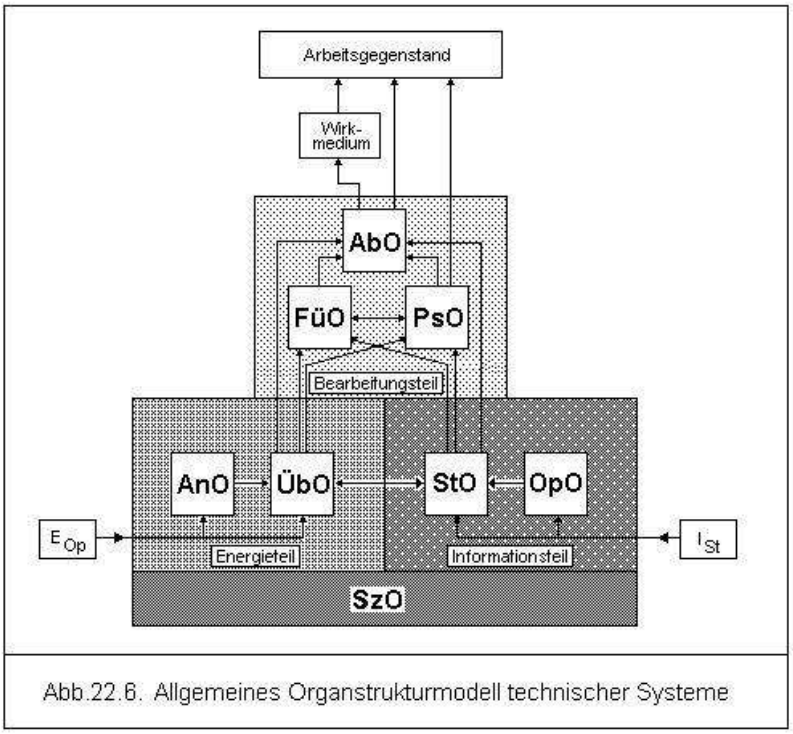


Abb.22.6. Allgemeines Organstrukturmodell technischer Systeme

Für die Methodologie der Organstrukturanalyse technischer Systeme sind 2 Prämissen zu beachten. Zum ersten ist es nur auf einer bestimmten Hierarchieebene technischer Systeme möglich und sinnvoll, Funktionsorgane als Teilsysteme zu bestimmen. Die Funktionsorgane sind die Strukturelemente der sog. Funktionssysteme. Wir verstehen darunter solche Arbeitsmittel, die technologische Grundvorgänge realisieren können. Innerhalb dieser Hierarchieebene der Funktionssysteme ist wiederum zu berücksichtigen, dass sie ein sehr unterschiedliches Entwicklungsniveau hinsichtlich ihrer Komplexität besitzen können. Zu ihnen gehören Werkzeuge, Geräte, einfache Maschinen, klassische Maschinen, programmgesteuerte Maschinen

und kybernetische Maschinen. Jeder dieser Typen weist eine ganz charakteristische Organstruktur auf, wie aus Tabelle 22.3. hervorgeht (vgl. auch Kap.2 Genetisches Modell der Funktionssysteme).

Funktionssystem	Strukturelemente	Beispiele
Werkzeuge	AbO SzO	Hammer, Feile, Schere
Geräte	AbO ÜbO SzO	Handbohrgerät, Pflug, Handkaffeemühle
einfache Maschinen	AbO FüO PsO SzO	fußgetriebene Nähmaschine Schreibmaschine, Handwebstuhl
Klassische Maschinen	AbO FüO PsO SzO AnO ÜbO	Schleifmaschine, Wäsche-schleuder,
Programmgesteuerte Maschinen	AbO FüO PsO SzO AnO ÜbO StO	Waschautomat, Nachführ-drehmaschine,
Kybernetische Maschinen	AbO FüO PsO SzO AnO ÜbO StO OpO	Prozeßrechnergesteuerte Produktionsanlagen Personalcomputer

Tabelle 22.3. Organstruktur von Funktionssystemen unterschiedlichen Entwicklungsniveaus

Literatur

22.1 Autorenkollektiv: Funktionen, Strukturen, Elemente und Gesetzmäßigkeiten technischer Systeme; Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1987

22.2 Autorenkollektiv: Technische Systeme; Leipzig 1976

22.3 H. Dornberger / H. H. Kraft / W. Büttner;: Technische Bauteile, Leipzig 1980

22.4 H. Fuchs: Allgemeine Maschinenlehre; Berlin 1988

22.5 Marx / Engels: Werke, Band 23; Berlin 1972

23. Arbeitsorgane als funktionsbestimmende Teilsysteme technischer Systeme

23.1. Bearbeitungsfunktion und Arbeitsorgan

Unter den verschiedenartigen Funktionen eines technischen Systems nimmt die Bearbeitungsfunktion die zentrale Stellung ein, denn sie ist es, wofür das technische System eigentlich geschaffen und eingesetzt wird. Die Bearbeitungsfunktion ist identisch mit der technologischen Funktion des Systems.

Die Analyse der Bearbeitungsfunktion unterschiedlichster technischer Systeme zeigt, dass sie in eine Reihe typischer allgemeingültiger Teilfunktionen (Elementarfunktionen) aufgegliedert werden kann, die durch charakteristische Funktionselemente bzw. Funktionsorgane innerhalb des Bearbeitungsteils repräsentiert werden. Wir unterscheiden:

- die Vollzugsfunktion
- die Führungsfunktion
- die Positionierungsfunktion

Die *Vollzugsfunktion* umfasst die eigentliche zielgerichtete Einwirkung auf den Arbeitsgegenstand. Sie ist die Bearbeitungsfunktion im engeren Sinne und erfasst das Geschehen an der Wirkstelle. Die Wirkstelle ist der Bereich eines technischen Systems, in dem die technologischen Vorgänge, d.h. die unmittelbaren Wechselwirkungsprozesse zwischen Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand ablaufen. Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand bilden zusammen das Wirkpaar.

Die *Wirkstelle* kann als Wirkfuge, Wirkspalt oder als Wirkraum ausgebildet sein. Die Wirkfuge wird von dem Flächenpaar von Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand gebildet, das sich während des Bearbeitungsvorgangs berührt. Der Wirkspalt ist der Bereich, in dem zwischen Arbeitsgegenstand und Arbeitsorgan ein Wirkmedium oder eine Wirkenergie zur Wirkung kommt. Von einem Wirkraum sprechen wir, wenn die Veränderung des Arbeitsgegenstandes nicht auf punkt- oder flächenförmige Einwirkung begrenzt ist, sondern räumlich erfolgt, wie bei chemischen Raumreaktionen, bei Gefügeänderungen von Werkstoffen beim Härten oder beim Stofftransport.

Die Vollzugsfunktion (Bearbeitungsfunktion im engeren Sinne)) wird durch das *Arbeitsorgan* realisiert. Es bewirkt den Bearbeitungsvorgang zur gezielten Veränderung des Arbeitsgegenstandes. Alle anderen Funktionsorgane sind ihm untergeordnet, weil deren Funktion letzten Endes der Sicherung und optimalen Durchführung dieser Bearbeitungsfunktion dient.

Das Arbeitsorgan charakterisiert das technische System als Ganzes durch den von ihm bewirkten Bearbeitungsvorgang. Die Bezeichnung vieler technischer Systeme steht dem gemäß in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Arbeitsorgan bzw. mit dem Bearbeitungsvorgang. So werden die Namen von Werkzeugmaschinen eindeutig durch ihr Arbeitsorgan (Kreissäge, Walzenbrecher) oder den Bearbeitungsvorgang (Bohrmaschine, Drehmaschine, Schleifmaschine, Schweißanlage, Schmiedepresse) bestimmt. Reaktionsapparate werden im allgemeinen nach dem Stoffwandlungsprozess (charakterisiert durch wesentliche Prozessparameter bzw. Parameter der Reaktionsmasse) bezeichnet (Rieselturm, Polymerisationsautoklav, Elektrolysezelle, Gasphasen-Kontaktofen), aber auch nach der Grundform oder der Anordnung des Reaktionsraumes (als Arbeitsorgan): Wannenofen, Schachtofen, Drehrohrofen. Transportsysteme werden ebenfalls oft nach dem Arbeitsorgan benannt: Bandförderer, Rutschenförderer, Schneckenförderer.

Zur Charakterisierung des Arbeitsorgans gehört auch die Analyse der Art und Weise der Wechselwirkung von Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand. In einer Vielzahl der Fälle steht das Arbeitsorgan in unmittelbarem Kontakt zum Arbeitsgegenstand. Es bewirkt in direktem Eingriff seine Veränderung. Das ist z.B. der Fall bei spanenden und umformenden Arbeitsorganen wie Säge, Drehmeißel, Schmiedehammer und Pressstempel, aber auch bei Lastaufnahmemitteln in Hebezeugen, bei der Förderschnecke oder bei Gussformen. Es gibt aber auch zahlreiche Beispiele, in denen das Arbeitsorgan nicht direkt, sondern vermittels eines Wirkmediums die Veränderung des Arbeitsgegenstandes herbeiführt. Diese Wirkmedien können stofflicher oder energetischer Art sein. Sie übertragen die Wirkenergie auf die zu verändernden Bereiches des Arbeitsgegenstandes und rufen dort die gewünschte Veränderung hervor. Stoffliche Wirkmedien können energetisch aktivierte Feststoffe, Flüssigkeiten oder auch Gase sein. Energetische Wirkmedien können alle technisch wirksamen Energiearten sein, wie Plasmen, glühende Gase, Elektronenstrahlen, Laserstrahlen oder Magnetfelder. Lokalisiert sind die Wirkmedien in der Wirkfuge zwischen Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand. Die Größe der Wirkfuge kann in weiten Grenzen variieren, von millimeterengen Wirkfugen bis zu meterbreiten Wirkfel-

dern. Beispiele für Wirkmedien sind der Quarzsand in Sandstrahlgebläsen, Druckwasser in Wasserstrahlbearbeitungsanlagen, Flammgase in Schweißgeräten, Luft und Wasser in Strömungsförderern, Elektronenstrahlen und Laserstrahlen in Bearbeitungsanlagen und elektromagnetische Felder in Induktionsschmelzanlagen und in Magnetkrananlagen.

Die *Führungsfunktion* ist auf das Arbeitsorgan gerichtet und bezweckt eine Begrenzung der Freiheitsgrade des Arbeitsorgans. Sie bestimmt seine zwangsläufigen Bewegungen und beeinflusst die räumliche Orientierung der stofflichen und energetischen Wirkmedien.

Beispiele für die Führungsfunktion sind:

- die Begrenzung der Arbeitsbewegungen des Bohrers an der Bohrmaschine auf Rechts- bzw. Linksrotation und die Zustell- bzw. die Rückführbewegung,
- die Bestimmung der Vorschub- und Schnittbewegung des Drehmeißels an der Drehmaschine,
- die Bündelung der Strahlungsenergie durch optische und magnetische Linsen beim Laserstrahlabtragen.

Die Führungsfunktion wird durch das Führungsorgan realisiert. Typische Elemente des Führungsorgans sind Werkzeugschlitten, Supporte, Werkzeugspannfutter, Führungen, Lagerungen bei direkt wirkenden Arbeitsorganen und Düsen. Bei stofflichen und energetischen Wirkmedien übernehmen optische und magnetische Linsensysteme diese Funktion.

Die *Positionierungsfunktion* ist auf den Arbeitsgegenstand gerichtet. Während des Bearbeitungsvorgangs muss nicht nur das Arbeitsorgan selbst positioniert werden, sondern auch der Arbeitsgegenstand in eine bestimmte Lage gebracht und fixiert und in manchen Fällen auch bestimmten Zwangsbewegungen unterworfen wird.

Beispiele für die Positionierungsfunktion sind:

- das Spannen des Werkstücks bei der spanenden Bearbeitung im Backenfutter oder zwischen Spitzen auf der Drehmaschine,
- die Funktion des Niederhalters an Hebelscheren zur Fixierung des Materials,
- die Funktion von Rührwerken in Reaktoren zur Durchmischung der Reaktanden,
- die Funktion des Abstreifers an Bandförderern zur gleichmäßigen Verteilung des Aufgabegutes,
- die Funktion des Weicheisenkörpers im Stator von Drehstromgeneratoren.

Die Positionierungsfunktion wird vom Positionierungsorgan wahrgenommen. Typische Erscheinungsformen der Elemente des Positionierungsorgans sind Spannelemente bei geometrisch bestimmten Feststoffen sowie Leitelemente, Blenden, Strömungsteiler bei Flüssigkeiten und Gasen. Strahlungsförmige Arbeitsgegenstände können durch elektromagnetische Felder, durch Blenden oder Parabolantennen positioniert werden.

Aus den bisherigen Überlegungen ergibt sich, dass die Bearbeitungsfunktion komplexer Natur ist und die Vollzugs-, die Positionierungs- und die Führungsfunktion umfasst. Die einzelnen Teilfunktionen werden durch spezifische Funktionsorgane realisiert. Das eigentliche Arbeitsorgan erfüllt die Vollzugsfunktion (die Bearbeitungsfunktion im engeren Sinne).

Die allgemeine Charakteristik und die daraus abgeleitete Definition des Arbeitsorgans muss bei der riesigen Vielfalt konkret existierender Arbeitsorgane notwendigerweise einen hohen Allgemeinheitsgrad aufweisen. Sie muss die Gemeinsamkeiten aller möglichen Arbeitsorgane erfassen, unabhängig davon, ob sie Form-, Struktur- oder Ortsänderungen an Stoffen, Energien oder Informationen hervorrufen. Dabei ist eine Reihe von Aspekten bedeutsam.

Als wesentliche Aspekte, die dabei zu berücksichtigen sind, wären zu nennen:

- die Art und Weise der Wechselwirkung mit dem Arbeitsgegenstand (direkt, indirekt)
- Relationen zur Positionierungs- und Führungsfunktion
- Komplexität des Arbeitsorgans (einfach - zusammengesetzt - aus mehreren Einzelsystemen bestehend).

Resultierend aus diesen Überlegungen definieren wir:

> Das *Arbeitsorgan* ist das wesensbestimmende Funktionsorgan technischer Funktionssysteme. Es bewirkt den Bearbeitungsvorgang, indem es an der Wirkstelle bzw. im Wirkraum mit dem Arbeitsgegenstand direkt oder indirekt (über ein stoffliches oder energetisches Wirkmedium) auf ihn einwirkt bzw. mit ihm in Wechselwirkung tritt oder aber den Arbeitsgegenstand aufnimmt und Bedingungen für die gezielte Wechselwirkung zwischen Arbeitsgegenständen schafft. Mit dem Arbeitsgegenstand bildet das Arbeitsorgan ein Wirkpaar. Die zugeführte Operationsenergie wird bei der Wirkpaarung in Wirkung am Arbeitsgegenstand umgesetzt. Das Arbeitsorgan kann aus einem System zusammenwirkender Bauteile bestehen.

23.2. Klassen der Arbeitsorgane

Für eine Klassifizierung der Arbeitsorgane in ihrer Gesamtheit hat sich ihre Einteilung nach dem System der Bearbeitungsvorgänge als zweckmäßig erwiesen. Das liegt auf der Hand, denn Bearbeitungsvorgang und Arbeitsorgan bilden zwei Seiten eines einheitlichen Systems. Wir bilden deshalb für jede Klasse von Bearbeitungsvorgängen eine entsprechende Klasse von Arbeitsorganen:

- Arbeitsorgane zur Stoffformung
- Arbeitsorgane zur Stoffwandlung
- Arbeitsorgane zum Stofftransport
- Arbeitsorgane zum Stoffspeichern
- Arbeitsorgane zur Energieumformung
- Arbeitsorgane zur Energiewandlung
- Arbeitsorgane zum Energietransport
- Arbeitsorgane zum Energiespeichern
- Arbeitsorgane zur Informationsumformung
- Arbeitsorgane zur Informationswandlung
- Arbeitsorgane zum Informationstransport
- Arbeitsorgane zur Informationsspeicherung

23.2.1. Arbeitsorgane in Stoffformungssystemen

Die technologische Funktion der Arbeitsorgane zur Stoffformung besteht in der formändernden Bearbeitung stofflicher Arbeitsgegenstände, wobei das Ziel die Gestalt- oder die Eigenschaftsänderung sein kann. Solange Stoffformungsverfahren vorwiegend durch mechanische Operationsenergie realisiert wurden, waren die Arbeitsorgane dieser Verfahren eine relativ einheitliche, nur in wenige Typen gegliederte und gut überschaubare Klasse. Sie konnte weitgehend mit dem Begriff des Maschinenwerkzeugs erfasst werden. Die vor allem durch die wissenschaftlich-technische Revolution ausgelöste technische Nutzung neuer Wirkprinzipien und die Anwendung elektrischer, chemischer und Strahlungsenergie an der Wirkstelle zur Veränderung des Arbeitsgegenstandes haben zu einer wesentlichen Erweiterung der Typen stoffformender Arbeitsorgane geführt.

Schon eine erste vergleichende Analyse zeigt, dass nach der Art der Wechselwirkung von Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand zwei große Gruppen unterschieden werden können: direkt wirkende Arbeitsorgane und indirekt über ein Wirkmedium wirkende Arbeitsorgane.

Die *direkt wirkenden Arbeitsorgane* stehen in unmittelbaren Eingriff zum Arbeitsgegenstand. Zu ihnen zählen die Maschinenwerkzeuge mit den Grundwirkformen Keil, Walze, Stempel und Sieb. Im Allgemeinen übertragen sie mechanische Wirkenergie. Beispiele sind Bohrer, Fräser, Schleifscheiben, Messerklingen, Bürsten und Nähnadeln. Zu dieser Gruppe gehören aber auch formspeichernde Arbeitsorgane, deren Grundwirkform der Wirkraum oder der Stempel ist. Sie können selbständige Arbeitsorgane sein (z.B. Gießformen) oder mit einem Werkzeug zusammen das Arbeitsorgan bilden (z.B. Gesenk mit Stempel).

Die Maschinenwerkzeuge bestehen oft aus paarigen Teilsystemen, wie Nadel und Schlaufenbildner bei Nähmaschinen, die Backen eines Backenbrechers, Ober- und Unterwalze eines Walzgerüsts, Düse und Druckschnecke von Plastspritzmaschinen oder Matrize und Stempel bei Kunststoffpressen.

Die *indirekt wirkenden Arbeitsorgane* bewirken die Veränderung des Arbeitsgegenstandes vermittels eines stofflichen oder energetischen Wirkmediums. Sie treten mit dem Arbeitsgegenstand nicht direkt in Wechselwirkung.

Grundwirkformen von Arbeitsorganen, die über stoffliche Wirkmedien den Arbeitsgegenstand zielgerichtet verändern, sind formspeichernde Stempel, Düse und Wanne. Als Wirkmedien werden pulverförmige Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase eingesetzt. Als Wirkenergien treffen wir in diesen Zusammenhängen mechanische, hydraulische, pneumatische, chemische, elektrochemische und Ultraschallenergie an.

Bei energetischen Wirkmedien (Elektronenstrom, Lichtbogen, Plasma, elektromagnetische Felder, Strahlungsenergie) hat das Arbeitsorgan im Allgemeinen als Grundwirkformen Elektroden oder Düse. Es sind auch vielfältige Formen von Energiewandlern als indirekt wirkende Arbeitsorgane anzutreffen (Rubinlaser, Infrarotlampen, elektromagnetische Spulen). Charakteristische Formen der Wirkenergie sind thermische, elektrische, magnetische und Strahlungsenergie. (Abb. 23.1.).

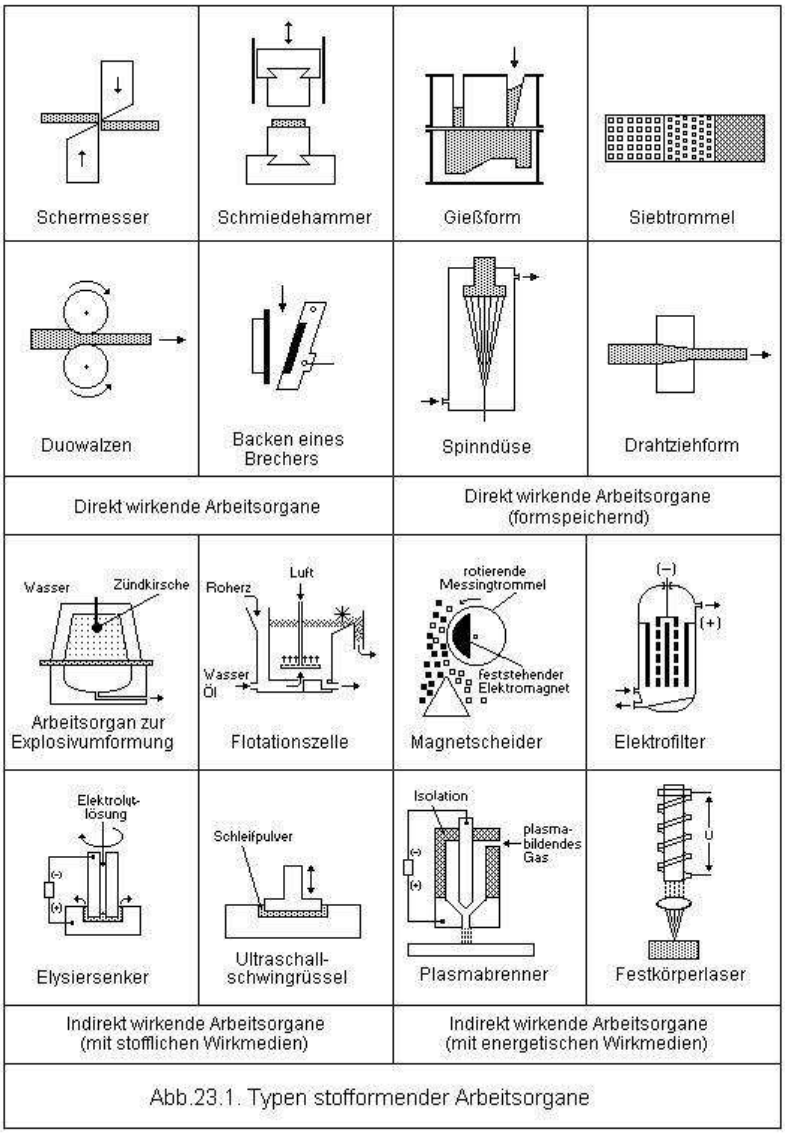


Abb.23.1. Typen stofformender Arbeitsorgane

23.2.2. Arbeitsorgane in Stoffwandlungssystemen

Die charakteristischen Arbeitsmittel zur Durchführung der Stoffwandlung sind Reaktoren. Für die Bestimmung und Charakterisierung der Arbeitsorgane in diesen Systemen muss man von der Spezifik der Stoffwandlungsprozesse ausgehen. Bei der chemischen Reaktion wirken Arbeitsgegenstände aufeinander ein. Daraus folgt, dass das Arbeitsorgan nur mittelbar wirkt. Die Reaktoren sind im Prinzip Behälter, die die Reaktionsmasse aufnehmen. In ihnen herrschen Bedingungen hinsichtlich Temperatur, Druck, Durchmischung

und Verweilzeit, die die optimale Umsetzung der Reaktanden ermöglichen und zu den gewünschten Produkten führen.

Das Arbeitsorgan von Reaktoren ist der *Reaktionsraum*. Seine Grundwirkform ist der Wirkraum. Als Grundformen ist zwischen dem Strömungsrohr und dem Reaktionskessel zu unterscheiden. Der Stoffwandlungsprozess kann innerhalb des Reaktionsraumes in unterschiedlicher räumlicher Ausdehnung und Verteilung ablaufen (analog zur Wirkstelle in der Stoffformung). Reaktionsraum und Reaktionsort sind deshalb nicht identisch. Man unterscheidet die Reaktionsräume nach der Art des Reaktionsortes in drei Typen:

- Reaktionsräume mit Raumreaktion
- Reaktionsräume mit Schichtreaktion
- Reaktionsräume mit Zonenreaktion.

Bei den Reaktionsräumen mit Raumreaktion vollzieht sich der Stoffwandlungsprozess im gesamten Volumen, in dem Reaktanden vorhanden sind. Dieser Typ des Reaktionsraumes liegt z.B. bei Gärbottichen, bei Umlaufreaktoren, bei Rieseltürmen und bei Fermentern vor.

Bei den Reaktionsräumen mit Schichtreaktion erfolgt die Umsetzung nur in einem begrenzten Bereich, einer Schicht. Das trifft z.B. für den Reaktionsraum von Drehrohröfen, Etagenöfen, Hordenkontaktöfen, Glockenbodenreaktoren, Schachtöfen und Wirbelschichtreaktoren zu. Beim Hochofen der Roheisengewinnung bilden sich im Reaktionsraum gleichzeitig mehrere Schichten mit unterschiedlichen Reaktionsabläufen aus.

Wenn sich der Bereich der Stoffumwandlung auf eine sehr schmale Zone einengt, haben wir Reaktionsräume mit Zonenreaktion. Wir finden sie dort, wo die Reaktion beim Aufeinandertreffen der Reaktanden mit sehr hoher Geschwindigkeit abläuft. Das ist bei hochreaktiven Gasen der Fall (z.B. im Chlorwasserstoffsyntheseofen, im Ammoniakverbrennungsofen) oder bei elektrolytischen Prozessen an der Oberfläche der Elektroden in Elektrolysezellen.

23.2.3. Arbeitsorgane in Transportsystemen

Die Bearbeitungsfunktion in *Stofftransportsystemen* umfasst drei Teilfunktionen:

- das Tragen des Fördergutes
- die Übertragung der Operationsenergie auf das Fördergut
- das Führen des Transportobjekts durch den Transportkanal

Diese Charakteristik der Bearbeitungsfunktion liefert zugleich die Kriterien für die Bestimmung des Arbeitsorgans in Stofftransportsystemen. Die Tragfunktion erfordert im Allgemeinen flächenhaft oder räumlich ausgebildete Arbeitsorgane zur Aufnahme des Transportgutes, wie sie im Förderband von Bandförderern, in den Bechern von Becherwerken oder in den Rohren von Pipelines vorliegen.

Die Führungsfunktion kann durch eine entsprechende konstruktive Gestaltung der Tragelemente realisiert werden (Rohrleitungssysteme, endlose Bänder, Eimerketten), muss aber in anderen Fällen durch besondere Führungselemente als Teil des Arbeitsorgans erzwungen werden (z.B. Schienenwege im Bahntransport, Aufgabeschurren und Abstreifer an Bandförderern).

Die Übertragung der Operationsenergie durch das Arbeitsorgan auf das Transportgut erfolgt beim Haftreibungs- und Trägheitsfördern unmittelbar durch das auch die Tragfunktion ausübende Element. In anderen Fällen wird sie durch spezielle Elemente des Arbeitsorgans, wie Förderschnecken, Schlepperschaufeln und Mitnehmer übertragen. Eine weitere Möglichkeit ist die indirekte Vermittlung der Operationsenergie durch flüssige oder gasförmige Medien (pneumatische und hydraulische Förderer).

Zusätzliche Bedingungen für die Gestaltung des Arbeitsorgans werden dann wirksam, wenn besondere Forderungen hinsichtlich der Zustandserhaltung (Form, Struktur) des Fördergutes auftreten, z.B. beim Transport verderblicher Lebensmittel oder von zerbrechlichen bzw. feuchtigkeitsempfindlichen Produkten.

Die Stoffspeicherung erfordert als Bearbeitungsfunktion die Aufnahme und die Zustandssicherung des Speichergutes. Die Grundform des Arbeitsorgans ist im Allgemeinen der Füllraum der Speichersysteme (analog zum Reaktionsraum in Stoffwandlungsprozessen). Seine Größe und zusätzliche Kopplung mit Positionierungseinrichtungen (z.B. Regale, Zwischenwände) hängt im einzelnen von der Art der Speichergüter (Stückgüter / Schüttgüter), ihren Eigenschaften, ihrem Aggregatzustand, von der Partiegröße, von der Zugriffsbereitschaft zu den Lagereinheiten und der Lagerzeit ab.

Beim *Energietransport* ist der Transport stofflich gebundener Energie (Kohle, Erdöl, Heißwasser, Kernbrennstoff) weitgehend mit dem Stofftransport identisch. Die Arbeitsorgane dieser Transportsysteme weisen deshalb keine Besonderheiten gegenüber diesen auf. Für strahlungs- bzw. feldgebundene Energie (elektrischer Strom, Strahlungsenergie) werden Arbeitsorgane benötigt, die eine gerichtete Strömung bzw. Ausbreitung ermöglichen. Für die einzelnen Energiearten sind sie jeweils spezifisch. Grundwirkformen sind Massivleiter (mechanische Energie: Gestänge, Wellen, Seilzüge; elektrische Energie: elektrische Leitersysteme; Strahlungsenergie: Lichtleiterkabel) und Antennensysteme.

Die Energiespeicherung von stofflich gebundener potentieller Energie (wie Kohle, Erdöl, Brenngase) ist mit dem Stoffspeichern identisch und erfordert entsprechende Arbeitsorgane. Kinetische Energieformen werden zeitweilig in potentielle Zustandsformen überführt, indem stoffliche Träger auf ein höheres Energiepotential gebracht werden (Druckluft, Warmwasser, Federspannung, Kondensatorladung).

Die *Arbeitsorgane von Informationstransportsystemen* sind weitgehend mit denen des Stoff- und Energietransports identisch. So werden statische Informationsträger (d.s. Speichermedien wie Disketten, Schallplatten, Magnetbänder, Bücher) wie normale Stückgüter zwischen Absender und Empfänger transportiert. Innerhalb technischer Informationsverarbeitungssysteme werden diese stoffgebundenen Informationsträger allerdings über spezifische systemgebundene Transportvorrichtungen von einem Sender zu einem Empfänger bewegt (z.B. Lochstreifen oder Magnetbänder durch Lochstreifen- oder Magnetbandzuführungen). Dynamische Informationsträger (energiegebundene Informationen) können über entsprechende Leitersysteme (Telefonkabel, Lichtleiter, Druckluftleitungen) transportiert werden. Leiterunabhängige Signale (Rundfunkwellen, Schallwellen, Lichtsignale) werden wie entsprechende Energieträger übertragen. Besonderheiten weisen die Arbeitsorgane des Informationstransports insofern auf, als es oft notwendig ist, die Übertragungskanäle gegen Störungen und Informationsverlust zu sichern (Abschirmungen, Dämpfungsausgleich).

Informationsspeicherung wird durch die Erzeugung statischer Zustände stabiler Strukturen auf Speichermedien realisiert (Schallplattenrillen, magnetische Zustände auf Magnetplatten, Lochfolgen auf Bändern, Schaltzustände bei Relais).

23.2.4. Arbeitsorgane in energieändernden Systemen

Die Arbeitsorgane in energieändernden Systemen bewirken die Umformung und Wandlung energetischer Arbeitsgegenstände indem sie - ähnlich wie bei den Stoffwandlungssystemen - Bedingungen für die Wechselwirkung von Energieträgern schaffen. Bei der Energieumformung bleibt der Arbeitsgegenstand innerhalb der gleichen Energieart erhalten, es wird lediglich die Energieform verändert. Bei den Wandlungsprozessen erfolgt der Übergang von einer Energieart zu einer anderen. In jedem Falle aber findet ein Trägerwechsel beim Übergang von der Ausgangsenergieart zur Produktenergieart statt.

Gemeinsam ist allen Vorgängen, dass das Arbeitsorgan von der zu verändernden Energie durchströmt wird. Die energieändernden Arbeitsorgane sind im Allgemeinen „paarig“ gestaltet, d.h. sie bestehen aus zwei wesensbestimmenden Teilsystemen, zwischen denen eine energetische Kopplung besteht. Beim Übergang von einem Teilsystem zum anderen erfolgt der für alle energieändernden Vorgänge charakteristische Trägerwechsel.

So geht die elektrische Energie beim Transformationsvorgang von der Primärspule auf den Elektronenfluss (als Trägersystem) der Sekundärspule über. Da es sich um einen Umformungsvorgang handelt, ändert sich die Trägerart nicht, wohl aber der Träger innerhalb dieser Art. Die energetische Kopplung zwischen Primär- und Sekundärspule wird durch das elektromagnetische Feld realisiert.

Für den Elektromotor als Funktionssystem der elektro-mechanischen Energiewandlung ist das Stator-Rotor-System als Arbeitsorgan anzusehen. Beide Teilsysteme werden durch das sich um die Induktionswicklungen des Primärkreises ausbildende elektromagnetische Wechselfeld gekoppelt. Es stellt das Wirkmedium dar, das durch die Induktion in den Sekundärwicklungen die Rotordrehung hervorruft. Die elektrische Energie wird damit in mechanische Energie umgewandelt. Träger dieser Energie ist die rotierende Welle.

Für chemo-thermische Energiewandlungsprozesse (charakterisiert durch Verbrennungsreaktionen) sind Brennersysteme und Verbrennungsroste in Kombination mit Verbrennungsräumen typische Arbeitsorganpaarungen.

Bei strahlungs-elektrischen Wandlern (Fotozellen) wird das Arbeitsorgan von zwei Halbleiterschichten (p-Typ und n-Typ) gebildet, die durch eine Sperrschicht (pn-Übergang) getrennt sind. Die auf den p-Halbleiter

auftreffende Strahlungsenergie löst negative und positive Ladungsträger aus. Die Sperrschicht leitet nur die negativen Ladungsträger zur n-Schicht. Dadurch kann sich ein elektrisches Potential aufbauen. Auch hier zeigt sich, dass der Primärenergieträger das Arbeitsorgan durchströmt und dass der Wandlungsprozess durch einen Trägerwechsel (von Photonen zu elektrischen Ladungsträgern) charakterisiert wird.

Beispiele für Grundwirkformen energieändernder Arbeitsorgane gibt Abb. 23.2.

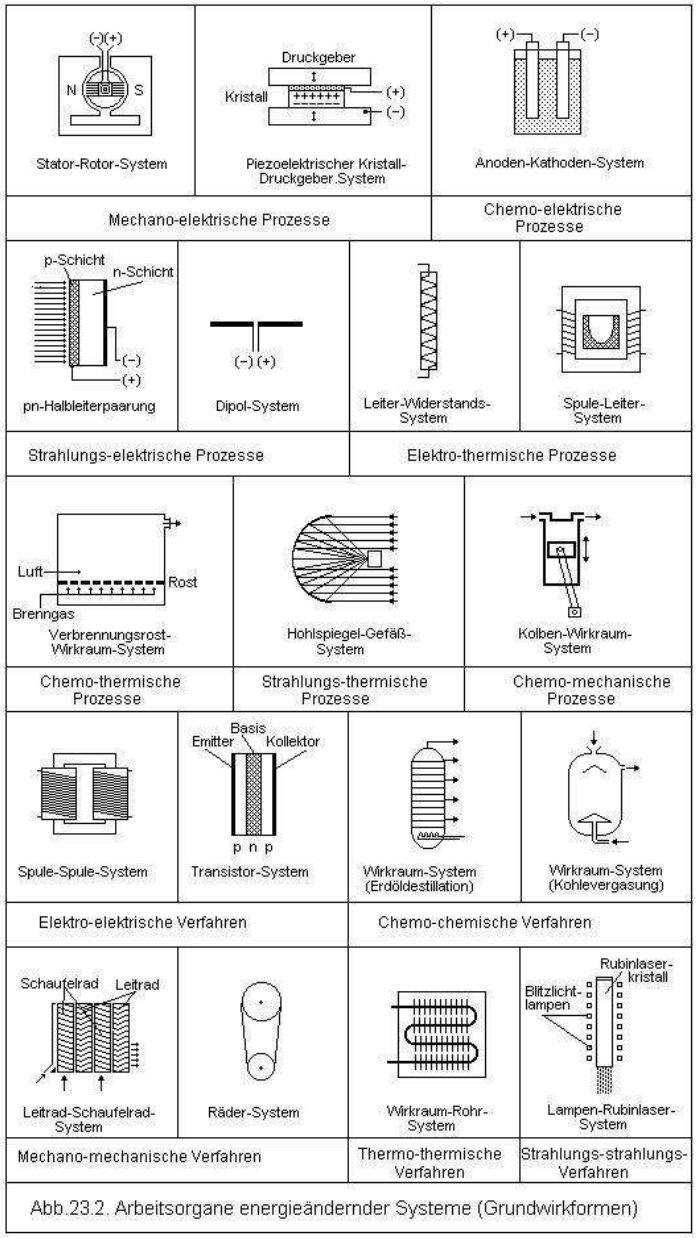


Abb.23.2. Arbeitsorgane energieändernder Systeme (Grundwirkformen)

23.2.5. Arbeitsorgane in informationsändernden Systemen

Bei den informationsändernden Systemen ist es zweckmäßig, für die Bestimmung der Arbeitsorgane zwischen Steuer- und Regelungssystemen und elektronischen Informationsverarbeitungssystemen zu unterscheiden.

Innerhalb der Steuerungs- und Regelungssysteme sind vier Grundfunktionen zu realisieren: Messen, Vergleichen, Verstärken und Stellen. Dementsprechend lassen sich verschiedene Grundtypen von Arbeitsorganen feststellen.

In technologischen Prozessen der Stoff- und Energiebearbeitung kommt es zur Steuerung bzw. Regelung der technischen Systeme zunächst darauf an, Prozessinformationen zur gewinnen. Die charakteristischen Ar-

beitsorgane dieser Funktionsgruppen sind *Messfühler und Messwerke*. Messfühler erfassen Regelgrößen und geben sie in übertragbarer Form an einen Messwandler weiter. Messwerke stellen der Wert der Regelgröße fest, vergleichen vorgegebene Soll-Werte mit dem jeweiligen Ist-Wert und geben Abweichungen als Differenzbetrag in Form von Druck- oder Bewegungsgrößen an Messwandler weiter. Je nach den zu erfassenden Größen existiert eine Vielzahl von Typen: Temperaturmessfühler (z.B. Metall-Ausdehnungsthermometer, Thermoelemente, Widerstandsthermometer, Strahlungspyrometer), Druckmessfühler (z.B. Flüssigkeitsmanometer, Schwimmermanometer, Tauchglockenmesswerk, Federmanometer, Ringwaage), Messfühler für Mengen, Durchfluss und Dichte (z.B. Verdrängungszähler, Turbinenzähler, Normblenden, Normdüsen, Schwebekörperdurchflussmesser, Venturirohre), Drehzahlmessfühler (Fliehkraftpendel, Stroboskope) sowie spezielle Messfühler für Analyseverfahren (wie Ringmesskammer und Gaschromatograph).

Eine zweite Gruppe von informationsändernden Arbeitsorganen sind die *Messwertwandler* (Messumformer, Messumsetzer). Sie wandeln die gewonnenen physikalischen Werte in für die Weiterverarbeitung günstige Signalarten und -pegel um. Typische Beispiele sind für die Umformung pneumatischer Größen die Systeme Düse-Prallplatte und Düse-Blende, für die Umformung hydraulischer Größen Schieber und Strahlrohr und für die Umformung elektrischer Größen der Differentialtrafo und der Ringwiderstand.

Eine vierte Gruppe umfasst die *Stellglieder*. Allgemein sind es veränderliche Widerstände, die den Stoff- oder Energiestrom verändern und damit die Ist-Werte auf den Soll-Wert einpegeln. Beispiele sind Ventile, Schieber, Drosselklappen, Potentiometer, Stelltransformatoren, Stellwiderstände. Je nach der zu beeinflussenden Größen handelt es sich um Druckminderer, Fliehkraftpendel, Steller mit Stellmotor. Die Stellglieder werden durch einen geeigneten Stellmotor angetrieben, der seine Energie durch die Ausgangsleistung des Verstärkers erhält.

Alle Gruppen von Arbeitsorganen können entsprechend der angewandten Energie als mechanische, pneumatische, hydraulische, optische oder elektrische Systeme ausgeführt sein. Abb. 23.3. gibt einen Überblick über einige Grundtypen informationsändernder Arbeitsorgane.

Für die Klasse der elektronischen Informationsverarbeitungssysteme geht es darum, Signale zu verändern. Dabei kann es sich sowohl um die Änderung der Trägerart, der Trägererscheinungsform, des Trägerbereichs wie um die Trägerleistung handeln. Die Grundwirkformen der Arbeitsorgane existieren jeweils für die verschiedenen Trägerarten (mechanisch, pneumatisch, elektrisch usw.). In der Mehrzahl der Fälle bestehen sie aus einem komplexen System seriell oder parallel zusammenwirkender gleichartiger oder unterschiedlicher Bauteile (z.B. der Decodierer als System von UND-Gattern). Bedeutsam ist weiterhin, dass Arbeitsorgane mit komplexer Struktur oftmals verschiedene Grundvorgänge realisieren können (Multivalenz von Arbeitsorganen). In diesen Fällen wird die Art des zu realisierenden Grundvorgangs von der Steuerungsinformation bestimmt.

Eine dritte Gruppe sind die *Verstärker*. Unstetige Verstärker werden auch als Kraftschalter bezeichnet. Die vom Messwerk gelieferte Energie reicht im Allgemeinen nicht zum Betrieb des Stellgliedes aus. Deshalb ist eine Leistungsverstärkung notwendig. Je nach der Art der verwendeten Hilfsenergie unterscheidet man pneumatische, hydraulische und elektrische Verstärker. Charakteristische Erscheinungsformen der Arbeitsorgane sind hier das Düse-Prallplatte-System, das Düse-Steuernadel-System, das Düse-Steuerschieber-System, das Strahlrohr, das Thyratron, die Tunneldiode und der Transistor.

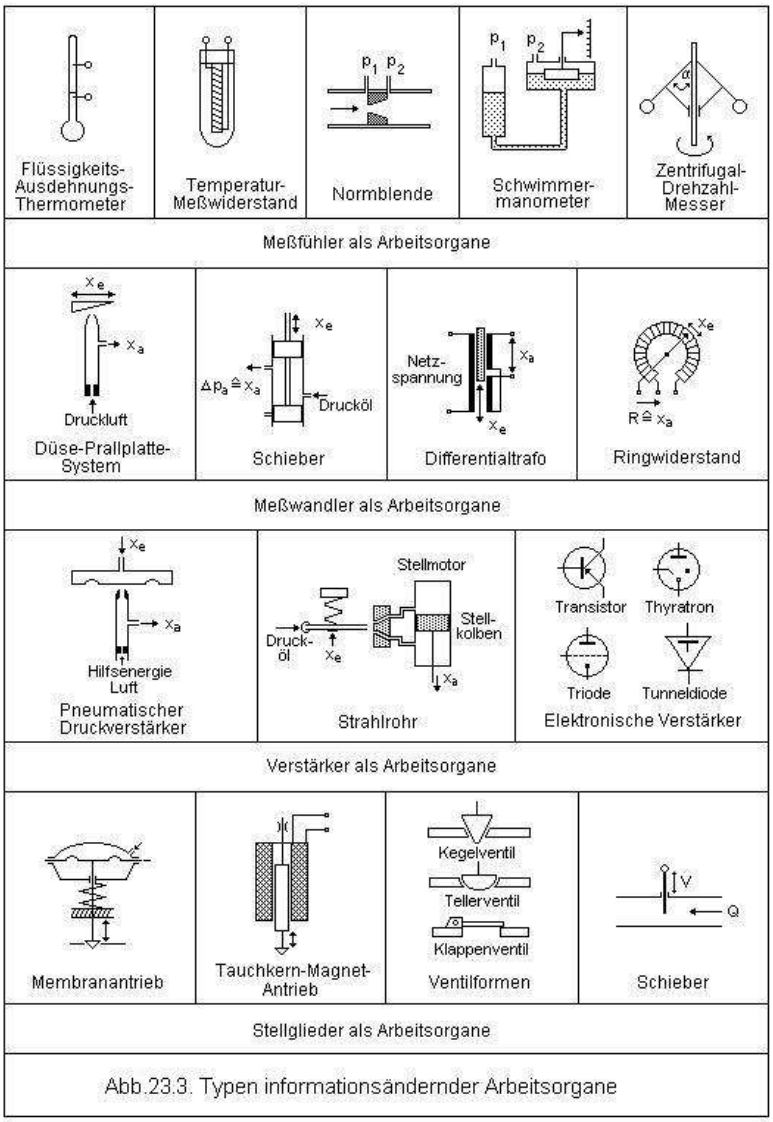


Abb.23.3. Typen informationsändernder Arbeitsorgane

Beispiele für Grundwirkformen dieser Gruppe von informationsändernden Arbeitsorganen sind:

- Physikalische Größenumformer (z.B. Thermoelement, Piezokristall, Photoelement, Antenne)
- Schalter, Kontakte, Teiler, Vervielfacher, Einwegventile
- Analogverknüpfungsglieder (z.B. Additionsglied, Subtraktionsglied)
- Analogtransformationsglieder (z.B. Integrierglied, Signumsbildner)
- Diskretverknüpfungsglieder (z.B. ODER-Gatter, UND-Gatter)
- Diskrettransformationsglieder (z.B. Trigger, Negator)
- Oszillatoren, steuerbare und nichtsteuerbare Widerstände, Komparatoren
- Analogspeicher (CCD-Speichermatrix, Linearspeicher, Flächenspeicher, Einwertspeicher)
- Digitalspeicher (RAM-Speichermatrix, ROM-Speichermatrix, Flächenspeicher).

Literatur

23.1 H. Wolffgramm : Arbeitsorgane als wesensbestimmende Strukturelemente technischer Systeme; Wiss. Zeitschrift der Pädag. Hochschule Erfurt / Mühlhausen, Heft 2/A 1977, Seite 17 bis 24

23.2 M. Perwitzschky / Chr. Hein / P. Schneider / R. Worch: Funktionen, Strukturen, Elemente und Gesetzmäßigkeiten technischer Systeme; Martin-Luther-Universität, Halle (Saale) 1987

23.3 G. Möbius: Entwicklungstendenzen der Arbeitsorgane im wissenschaftlich-technischen Fortschritt; Dissertation A, Martin-Luther-Universität, Halle (Saale) 1985

23.4 M. Perwitzschky: Grundriss einer Theorie technischer Systeme; Dissertation B, Martin-Luther-Universität Halle (Saale) 1975

24. Funktionsorgane in technischen Systemen

In den bisherigen Überlegungen stand der externe Aspekt (d.h. die technologische Funktion) im Zentrum des Interesses. Dazu waren die Kenntnis des inneren Aufbaus der Funktionsorgane und die Art des Zustandekommens der (Organ-) Funktionen nicht erforderlich. Will man aber Erkenntnisse über die Art und Weise gewinnen, wie die geforderte Funktion hervorgebracht wird, muss man die Elementarstruktur der Funktionsorgane analysieren und die den Funktionselementen zugrunde liegenden Funktionsprinzipien aufdecken.

24.1. Funktionsorgane des Bearbeitungsteils technischer Systeme

Im Bearbeitungsteil jedes technischen Systems werden alle Teilfunktionen realisiert, die unmittelbar auf den Fluss des Arbeitsgegenstandes gerichtet sind. Im Mittelpunkt stehen die Vorgänge, die die Veränderungen am Arbeitsgegenstand bewirken. Sie werden durch das Arbeitsorgan herbeigeführt. Neben den Bearbeitungsfunktionen im engeren Sinne müssen aber noch weitere Funktionen erfüllt werden, um die Bearbeitungsvorgänge zielgerichtet ablaufen zu lassen.

Der Bearbeitungsteil technischer Funktionssysteme umfasst deshalb neben dem Arbeitsorgan, das in Kapitel 5 ausführlich behandelt wurde, weitere Teilsysteme, die die gezielte Wechselwirkung von Arbeitsorgan und dem Arbeitsgegenstand ermöglichen. Das betrifft einerseits Vorrichtungen, die die Zwangsführung des Arbeitsorgans bzw. der Wirkmedien ermöglichen, und andererseits Teilsysteme, die die Positionierung, Fixierung und gegebenenfalls die Zwangsbewegung des Arbeitsgegenstandes bewirken: das Führungsorgan und das Positionierungsorgan.

Das *Führungsorgan* übt insofern eine wesentliche Funktion innerhalb des Bearbeitungsteils aus, als es die notwendigen mechanischen Zwangsbewegungen des Arbeitsorgans gegenüber dem Arbeitsgegenstand bestimmt und dessen Freiheitsgrade vorgibt. Es ist im Allgemeinen immer mit dem Arbeitsorgan direkt gekoppelt. Typische Erscheinungsformen des Führungsorgans sind der Werkzeugschlitten an Drehmaschinen, die Zustellspindel der Bohrmaschine, die Kippvorrichtung eines Zementmischers.

Die Führungsfunktion kann auch indirekt ausgeübt werden, wenn das Arbeitsorgan stationär ist und die Zwangsführung des vom Arbeitsorgan ausgehenden Wirkmediums beabsichtigt ist. Solche Beispiele sind optische und magnetische Linsen an Laser- und Elektronenstrahlbearbeitungssystemen sowie die Käfigführungen der rotierenden Trommelanker in Elektromotoren.

Das *Positionierungsorgan* ist das Teilsystem, das den Arbeitsgegenstand in seiner Lage fixiert und gegebenenfalls Relativbewegungen zum Arbeitsorgan vermittelt. Die Wirkungen des Positionierungsorgans sind deshalb ausschließlich auf den Arbeitsgegenstand gerichtet. Je nach der Art des Arbeitsgegenstandes (Stoff, Energie, Information) hat es eine charakteristische Erscheinungsform.

Die Positionierungsfunktion lässt sich bei näherer Betrachtung differenzieren in:

- das räumliche Fixieren des Arbeitsgegenstandes. Für geometrisch bestimmte Feststoffe sind dazu Spannvorrichtungen, Halter und Greifer im Einsatz. Flüssige und plastische Arbeitsgegenstände werden in Gefäßen (Wannen, Bottichen, Trögen) gegenüber dem Arbeitsorgan fixiert;
- das Zwangsführen des Arbeitsgegenstandes, beispielsweise bei der Aufnahme eines Werkstücks durch eine Spanneinrichtung an der Drehmaschine, durch Diaphragmen zur Trennung von Reaktionsprodukten in einer Elektrolysezelle, durch Siebböden in Reaktionstürmen, durch Abstreifer an Bandförderern, durch Leitschaufeln in Turbinen;
- das Selektieren (das Zurückhalten unerwünschter Beimengungen) durch Siebe in Vergasern, Überlaufsperren, Prallbleche;
- das Verteilen und Zusammenführen des Arbeitsgegenstandes, beispielsweise durch Sprühdüsen in Reaktoren, Weicheisenpakete in Transformatoren und Reflektoren an Antennen.

24.2. Funktionsorgane des Energieteils technischer Systeme

Der Energieteil wird in seiner Struktur durch die im Zusammenhang mit dem Energiefluss zu vollziehenden Funktionen bestimmt. Er vereinigt in sich die Funktionen der Hervorbringung bzw. Zulieferung der prozessadäquaten Operationsenergie und deren Anpassung an die konkreten Prozessbedingungen. Sie werden durch das Antriebsorgan und das Übertragungsorgan realisiert.

In allen Fällen, in denen die Operationsenergie nicht in der dem Prozess adäquaten Form zugeführt wird, besitzen die technischen Funktionssysteme ein *Antriebsorgan*. Es stellt die benötigte Operationsenergieart bereit, indem es die von außen zugeführte Energie (z.B. Elektroenergie, Brennstoffe, Kraftstoffe) in die erforderliche Energieart umwandelt. Antriebsorgane sind deshalb immer Energiewandler. Grundlegende Typen dieser Energiewandler sind Motoren (Elektromotoren, Verbrennungsmotoren), Turbinen (Dampfturbinen, Wasserturbinen, Windräder), Generatoren, Öfen und elektro-thermische Energiewandler (Widerstandsheizungen, Lichtbogenheizungen, Induktionsheizungen).

Es ist eine Funktion des Antriebsorgans, die Kopplung des technischen Systems mit seiner Umgebung sicherzustellen. Es ist in diesem Sinne Randelement, das den notwendigen Energieinput zur Durchführung der Funktionen des technischen Systems ermöglicht.

Ein gesondertes Antriebsorgan fehlt den technischen Systemen, bei denen die Operationsenergie dem Arbeitsgegenstand angelagert ist (z.B. beim Schwerkraftgießen und bei exothermen Stoffwandlungsprozessen) oder bei denen die Operationsenergie in prozessadäquater Form zugeführt wird (z.B. bei Elektroschweißgeräten und bei Informationsverarbeitungssystemen).

Die bereitgestellte Operationsenergie muss im Allgemeinen noch an die Prozessbedingungen angepasst, umgeformt und die an Wirkstellen weitergeleitet werden. Diese Funktion übernimmt das *Übertragungsorgan*.

Im Einzelnen umfasst die Übertragungsfunktion:

- das Weiterleiten der Operationsenergie innerhalb des technischen Systems an die Wirkungsstellen zur Sicherung des Energieflusses (durch Leiterelemente wie Gestänge, Wellen, Rohrleitungen, elektrische Leitungen);
- das Umformen der Energie (z.B. Drehzahl- und Drehrichtungsändern mechanischer Energie, Druckändern pneumatischer Energie, Spannungsändern elektrischer Energie) durch Urformelemente wie Getriebe, Transformatoren, Impulsgeneratoren, Kompressoren, Druckentspannungsglieder):
- das Teilen des Energiestromes (durch Teilerelemente wie Rohrverzweigungen, Rädergetriebe, elektrische Leitungssysteme);
- das Anpassen des Energiestromes hinsichtlich seiner Stärke und Größe (durch Anpassungselemente z.B. bei mechanischer Energie durch Gesperre, bei hydraulischer und pneumatischer Energie durch Blenden und Drosselklappen, bei elektrischer Energie durch Widerstände);
- das Zwischenspeichern der Energie (durch Speicherelemente wie Schwungmassen, Federn, Kreisel, Pendel, Windkessel, Druckgefäße, Spulen, Kondensatoren).

Entsprechend diesen Funktionen im Energiefluss treten im Übertragungsorgan Leiter, Teiler, Umformer, Widerstände und Speicher als Teilsysteme auf. Je nach der Art der Energie besitzen sie charakteristische Erscheinungsformen. Sie weisen zwar unabhängig von der Energieart funktionelle Gemeinsamkeiten auf, jedoch bestehen zwischen den Elementen zur Anpassung der verschiedenen Energiearten konstruktive Unterschiede.

Leiter

Innerhalb der technischen Systeme wird die Energie vorwiegend als mechanischer Energiefluss weitergeleitet. Die Kraftübertragung kann durch Zug-, Druck- Biege- oder Torsionsbeanspruchung erfolgen. Mechanische Zugkräfte werden von Zugmitteln (Gestänge, Ketten, Seile, Riemen oder Gliederverbindungen) übertragen. Die Druckkraftübertragung kann durch starre Schubgestänge sowie durch Flüssigkeiten und Gase in geschlossenen Rohrleitungen oder Zylindern erfolgen. Drehmomente werden mittels Wellen und Rädern fortgeleitet. Kupplungen verbinden Wellen und übertragen ebenfalls Drehmomente.

Für die Weiterleitung hydraulischer, pneumatischer und thermischer Energie werden Rohrleitungen eingesetzt.

Die Übertragung elektrischer Energie verläuft über elektrische Leitungen. Optische Energiefortleitung erfolgt über Glasfaserkabel.

Teiler

Für die Aufteilung mechanischer Energieströme stehen Rädergetriebe und Kurbelgetriebe zur Verfügung. Die Ströme der übrigen Energieformen und -arten lassen sich durch Rohr- und Leitungsverzweigungen teilen.

Widerstände

Der Energiefluss muss innerhalb des technischen Systems oft begrenzt, unterbrochen und wieder zugeschaltet werden. Das geschieht durch Widerstände im Leitersystem. Der mechanische Energiefluss kann durch Ventile, Schieber, Blenden und Überlaufsperren beeinflusst werden. Einen besonderen Platz nehmen die Gesperre ein. Sie bestehen aus einem Elementenpaar (Sperrstück und Sperrer), das die Verbindung gelenkig miteinander verbundener Getriebeglieder teilweise oder ganz aufhebt.

Speicher

Zur Erzeugung und Aufrechterhaltung gleichmäßiger Energieflüsse (z.B. von Drehzahlen bei Turbinen, von Förderdrucken in Pumpen, von Walzgeschwindigkeiten in der Blechherstellung) werden Speicherelemente eingesetzt, die Schwankungen ausgleichen und glätten können. Funktionselemente dieser Gruppe sind Schwungmassen, Federn, Druckkessel, Wasserhochbehälter. Im elektrischen Energiefluss sorgen Kondensatoren und Akkumulatoren für die Energiezwischenspeicherung.

Umformer

Die vom Antriebsorgan zugeführte Operationsenergie muss innerhalb des technischen Systems an die verschiedenartigen Anforderungen der Verfahrensrealisierung durch Umformelemente angepasst werden. Im mechanischen Energiefluss dienen dazu Getriebe, wobei zwischen Getrieben zur Drehzahländerung und Getrieben zur Änderung des Bewegungsablaufs unterschieden werden kann. Im Einzelnen sind zu nennen:

- Getriebe zur Drehzahländerung: Reibkörper-, Riemen-, Ketten-, Zahnradgetriebe;
- Getriebe zur Änderung des Bewegungsablaufes, vor allem der Umformung von Rotationsbewegungen in Translationsbewegungen: Koppelgetriebe wie Gelenkviereck, Kurbelschwinge, Schubkurbelgetriebe.
- Getriebe zur Umformung schneller Drehbewegungen in periodisch wiederkehrende komplizierte Bewegungen (insbesondere in automatischen Werkzeugmaschinen, polygraphischen Maschinen, Verpackungsmaschinen und Webautomaten): Kurvengetriebe;
- Getriebe zur Umformung kontinuierlicher rotatorischer Antriebsbewegungen in periodisch unterbrochene Arbeitsbewegungen: Schaltgetriebe (Reibkörperschaltwerk, Malteserkreuzschaltwerk, Sternradschaltwerk) .

Eine Auswahl der verschiedenen Erscheinungsformen von Teilsystemen der Übertragungsorgane ist in den Abbildungen 24.1. und 24.2. dargestellt.

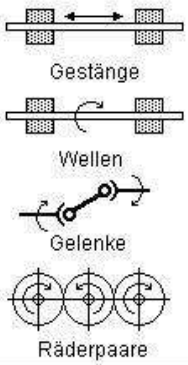
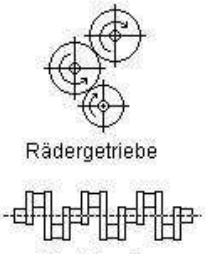
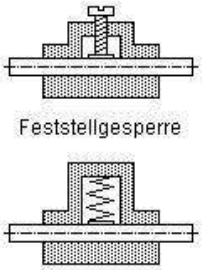
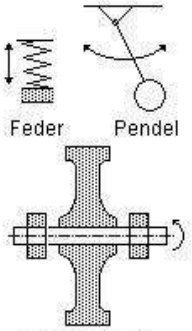
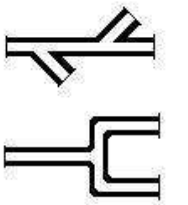
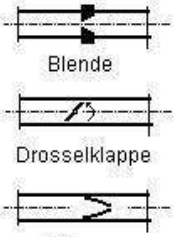
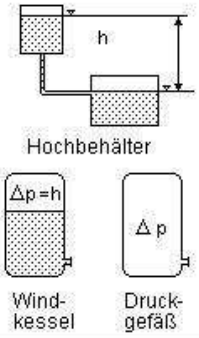
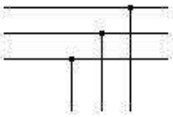
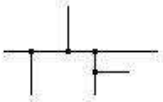
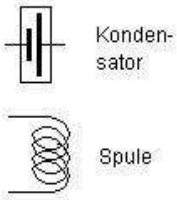
Energie-form	Elemente des Übertragungsorgans			
	Leiter	Teiler	Widerstände	Speicher
mecha-nisch				
hydrau-lisch pneuma-tisch				
elektrisch				
optisch		Lichtleiternetze		Fluoreszenzschirm

Abb. 24.1. Elemente von Übertragungsorganen

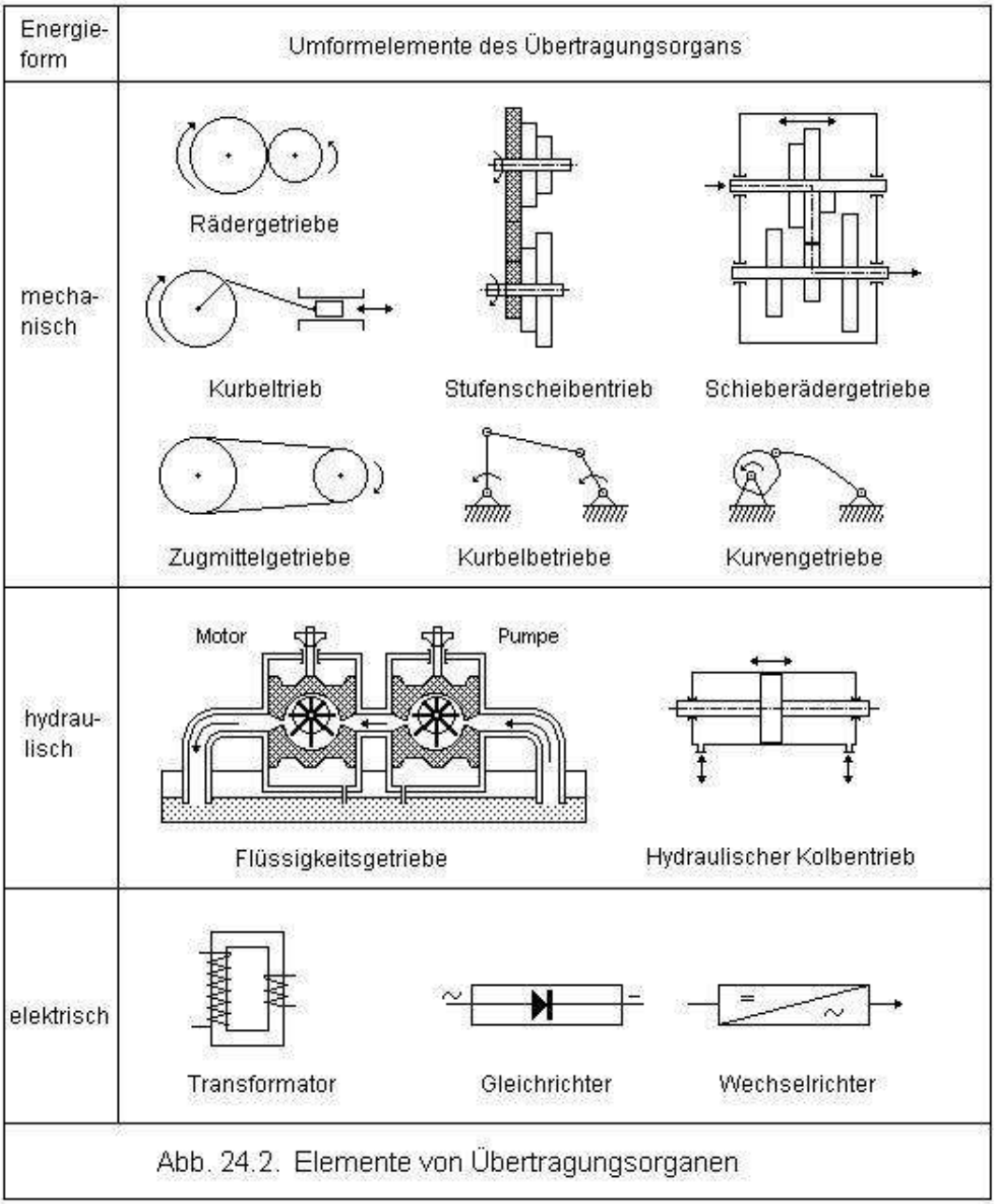


Abb. 24.2. Elemente von Übertragungsorganen

24.3. Funktionsorgane des Informationsteils technischer Systeme

Der Informationsteil technischer Funktionssysteme realisiert allgemein den Informationsfluss innerhalb des Systems. Dazu nimmt er aus der relevanten Umgebung (vom Bedienungspersonal, aus Programmspeichern) und über Messfühler von rückgekoppelten anderen Funktionsorganen innerhalb des Systems Steuerungsinformationen auf, verarbeitet sie und bringt sie in den Stell- und Vollzugselementen zur Wirkung. Ein voll ausgebildeter Informationsteil ist nur bei solchen technischen Systemen vorhanden, die mindestens das Entwicklungsniveau programmgesteuerter Systeme besitzen. Klassische Maschinen weisen zwar keine voll ausgebildeten Steuerungsorgane auf, können aber bereits Elemente derselben besitzen (Schaltelemente, Stellelemente, Anschläge, Fliehkraftregler, Überdruckventile, Endschalter, Überlaufsicherungen u. ä.).

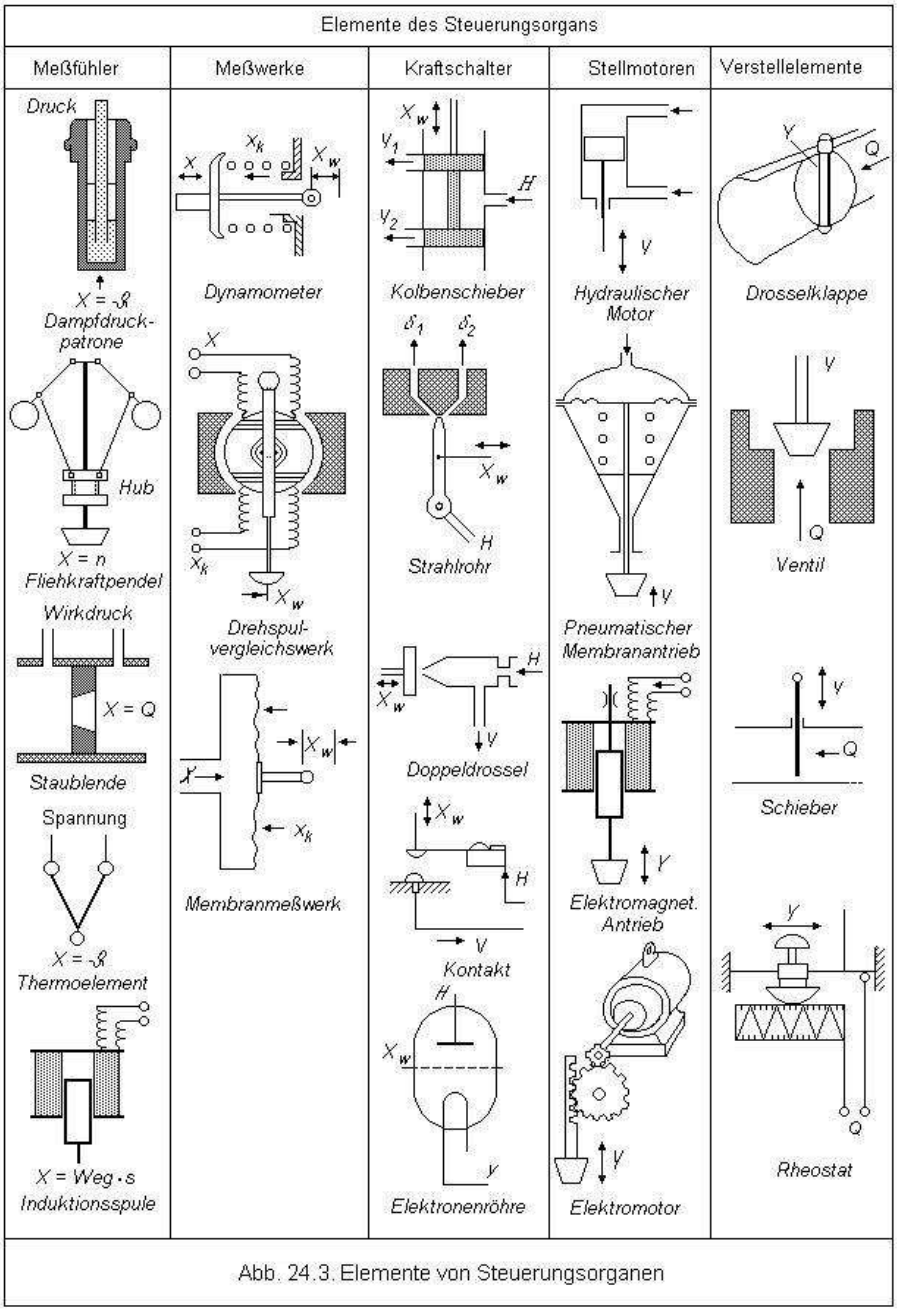


Abb. 24.3. Elemente von Steuerungsorganen

Wir unterscheiden im Informationsteil die Steuerungs- und die Optimierungsfunktion, die jeweils von separaten Funktionsorganen ausgeübt werden.

Das *Steuerungsorgan* definieren wir als das Funktionsorgan, das es gestattet, einen vorgegebenen (starren) Prozessablauf ohne weiteren Eingriff von außen durch Einstellen, Messwerterfassen, Prüfen, Schalten oder Abruf gespeicherter Informationen zu realisieren.

Die Steuerungsfunktion lässt sich in eine Reihe von Teilfunktionen aufgliedern, die im Steuerungsorgan durch entsprechende Elemente repräsentiert werden:

- Steuerungsinformationen aufnehmen bzw. aus Speichern abrufen (Programmdisketten, Meisterwellen, Lochbandspeicher)
- Messwerterfassen (durch Messfühler, Messmittel und Anzeigeelemente)
- Messwertprüfen und mit Festwerten vergleichen (Vergleichselemente)
- Schalten (durch Schalter und Schaltwerke)
- Einstellen (durch Stellglieder und Bedienelemente, Regler).

Ähnlich wie vollständige Funktionssysteme können auch Steuerungsorgane ein sehr unterschiedliches Entwicklungsniveau aufweisen. Vom einfachen Fliehkraftregler, Füllstandsregler oder Druckregler über Kurvenscheibensteuerungen und Schrittschaltwerke bis zu hochentwickelten digitalen Prozessablaufsteuerungen reichen die Strukturniveaus. Bei aller Unterschiedlichkeit im technischen Niveau besitzen sie als gemeinsames Charakteristikum, dass sie nur eine starr vorgegebene Prozessablaufssteuerung realisieren.

Die oben angegebenen Steuerungsfunktionen werden durch entsprechende Steuerungselemente realisiert (Abb.24.3.):

Messelemente sind Teilsysteme des Steuerungsorgans, die Steuerungsinformationen aufnehmen, Messwerte erfassen, anzeigen und registrieren. Sensoren und Messfühler sind charakteristische Vertreter dieser Gruppe. Wichtige Messgrößen sind Temperatur, Druck, Mengen, Durchfluss, Dichte, Füllstand, Drehzahl, Kräfte, Weg- und Winkeländerungen, Gasanalyse.

Speicherelemente sind Teilsysteme, die Produktionsinformationen aufnehmen und zu einem beliebigen Zeitpunkt abrufbar bereithalten (Formspeicher, Kurvenscheiben, Lochkarten, Schrittschaltwerke, Magnetbänder, Magnetplatten).

Verarbeitungselemente (Messwandler) sind Teilsysteme, die die gewonnenen und bereitgestellten Informationen nach vorgegebenen Programmen verarbeiten, mit Sollwerten vergleichen und Steuerungsinformationen abgeben.

Stellelemente sind Teilsystem, die auf den Fluss des Arbeitsgegenstandes und der Operationsenergie verändernd einwirken. Sie stellen allgemein Widerstände im Stoff- und Energiestrom dar. Typische Erscheinungsformen dieser Stellelemente sind: Ventile, Drosselklappen, Schieber, Stelltransformatoren, Stellwiderstände.

Schaltelemente (Schalter unterschiedlicher Art).

Das *Optimierungsorgan* stellt eine qualitativ neue Stufe der Prozesssteuerung dar. Es überwindet die Stufe der starr vorgegebenen Prozessfolgesteuerung zugunsten einer auf die sich ändernden Prozessbedingungen reagierenden Steuerung. Es ermöglicht einen flexiblen Prozessablauf, indem es laufend Prozessinformationen vom Steuerungsorgan aufnimmt, in Prozessrechnern verarbeitet und optimierende Befehle an das Steuerungsorgan übermittelt.

24.4. Funktionsorgane des Stützteils technischer Systeme

Der Stützteil technischer Funktionssysteme besteht nur aus einem Funktionsorgan. Das Stützorgan ist das Teilsystem, das die Funktionsorgane eines technischen Systems zu einer funktionalen Einheit verbindet, sie in einer bestimmten Lage hält und die auf sie wirkenden Kräfte kompensiert. Es wird von einigen Autoren auch als Trägerorgan bezeichnet.

Das *Stützorgan* umfasst Maschinenkörper, Gestelle, Chassis, Rahmen, Fundamente und Träger. Es dient als Stützgerüst für alle anderen Maschinenteile, wie Arbeitsvorrichtungen, Antriebe, Getriebe, Steuerungseinrichtungen und muss alle beweglichen Teile für den Arbeitsgegenstand und das Arbeitsorgan führen. Bei mobilen Maschinen (Baumaschinen, Landmaschinen) kommt das Fahrwerk als Teil des Stützorgans hinzu.

Es ist Aufgabe des Stützorgans, alle statischen Kräfte aufzunehmen, sie abzuleiten, zu kompensieren und Schwingungen zu dämpfen.

Das Stützorgan soll dem System während des Betriebes einen festen Stand garantieren. Es muss deshalb biege- und verwindungssteif gestaltet sein.

Maschinenkörper als Erscheinungsformen des Stützorgans bestehen meist aus wenigen Teilen (Abb.24.4.). Die Befestigung der anderen Maschinenteile wird durch Bohrungen, Laschen, Flansche und Stege ermöglicht. Die bauteilarme Konstruktion ermöglicht eine relativ unkomplizierte Wartung. Traditionell bestehen Maschinenkörper aus Grauguss (Schwerbauweise). Der Trend geht aber hin zu verringerten Massen. Das führt zur Gestaltung der Rahmen und Gestelle aus Profilstählen (Leichtbauweise).

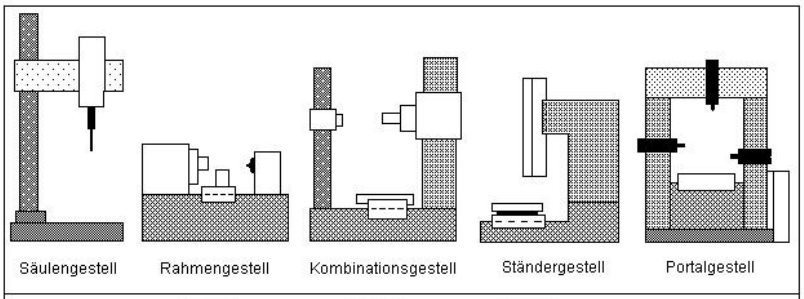


Abb. 24.4. Grundformen und Elemente des Stützorgans

24.5. Kopplungsbeziehungen und Mehrfachfunktionen von Funktionsorganen

Zusammenfassend zur Untersuchung der Strukturelemente technischer Systeme können wir feststellen, dass die Funktionssysteme nicht nur aus einer relativ kleinen Zahl unterschiedlicher Teilsysteme (Funktionsorgane) aufgebaut sind, sondern dass zwischen den einzelnen Funktionsorganen bei aller Differenziertheit und Spezifik der technischen Systeme charakteristische Kopplungen bestehen. Erst dadurch werden sie zu einem strukturierten Gesamtsystem zusammengeführt.

Von einer Kopplung zwischen zwei Funktionsorganen sprechen wir dann, wenn mindestens eine Komponente des Outputs eines Funktionsorgans gleichzeitig der Input eines anderen Funktionsorgans ist. Die Kopplungen können stofflicher, energetischer oder informationeller Art sein. Die Kopplungen zwischen den Funktionsorganen können auf eine begrenzte Zahl typischer Relationen zurückgeführt werden.

Die Kopplungen ergeben sich aus den Aufgaben der Funktionsorgane und den dabei notwendigen Wechselwirkungen zwischen ihnen bei der Realisierung des Stoff-, Energie- und Informationsflusses im Bearbeitungsprozess. Als mögliche Grundtypen von Kopplungen gibt M. PERWITZSCHKY die offene Kopplungskette, die geschlossene Kopplungskette, die Eingangsverzweigung und die Ausgangsverzweigung sowie die Kombination der Kopplungstypen als Kopplungsnetz an, wie sie in Abb. 24.5. veranschaulicht sind (Lit. 24.5., Kap.24.4.).

Die Kopplungsbeziehungen finden im Strukturmodell technischer Funktionssysteme in Form von Relationen ihren Ausdruck. Sie machen auch deutlich, dass ein technisches System nicht einfach als Summe seiner Teilsysteme aufgefasst werden kann, sondern als nur als einheitliche Ganzheit

In diesem Zusammenhang sei auf zwei Besonderheiten hingewiesen. Zum ersten können bestimmte Funktionen eines technischen Systems durch unterschiedliche Strukturen und umgekehrt durch gleichartige Strukturen verschiedene Funktionen erfüllt werden.

Zum zweiten macht die Strukturanalyse von Funktionssystemen deutlich, dass den Funktionsorganen in manchen Fällen Doppel- oder Mehrfachfunktionen zukommen. So hat der Hammerstiel sowohl Stütz- als auch Übertragungsfunktion. Der Weicheisenkern eines Transformators realisiert Stützfunktionen für die Wicklungen, Übertragungs- und Positionierungsfunktionen für die elektromagnetische Energie. Die Antriebstrommel eines Gurtbandförderers überträgt Operationsenergie (Übertragungsfunktion) und führt zugleich das Förderband (Führungsfunktion). Solche Mehrfachfunktionen einzelner Organe zeigen, wie technisch-konstruktive Lösungen jeweils ein Optimum anstreben. Für die Organstrukturanalyse technischer Systeme sollte jeweils die unter dem gewählten Betrachtungsaspekt als Hauptfunktion anzusehende Aufgabe die Bezeichnung des Organs bestimmen.

Es kommt auch eine Reihe von Fällen vor, in denen ein Funktionsorgan nicht voll ausgebildet ist. Das betrifft häufig die Steuerungsfunktion, wenn das Funktionssystem einen niederen Komplexitätsgrad aufweist als der einer programmgesteuerten Maschine. Typisch sind dafür Endschalter an Drehmaschinen oder Fliehkraftregler an Dampfmaschinen.

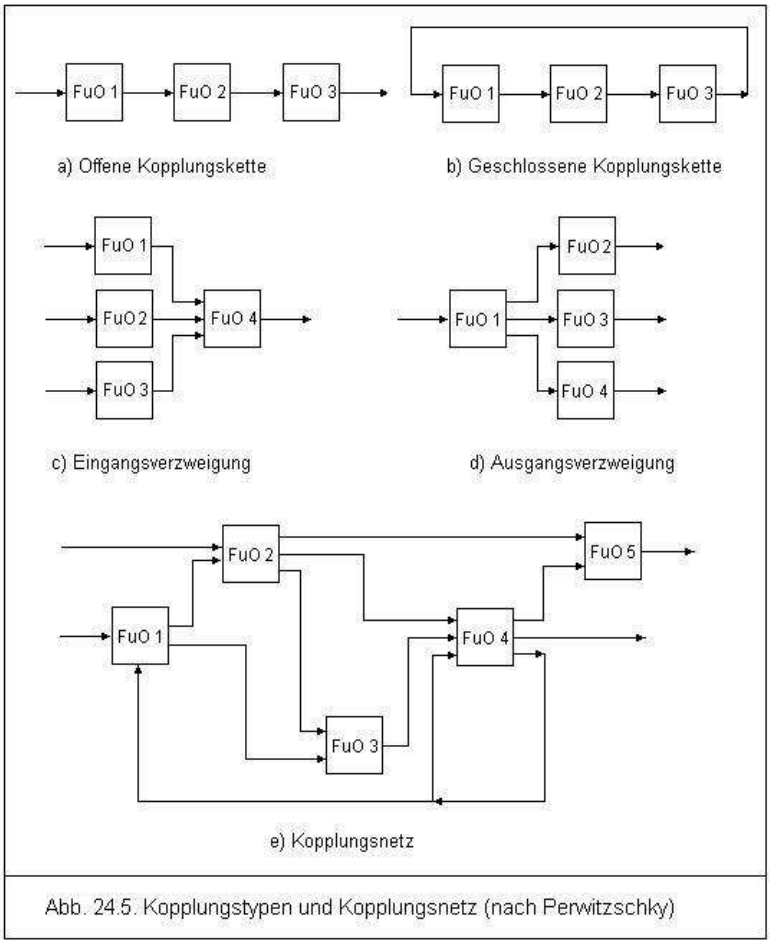


Abb. 24.5. Kopplungstypen und Kopplungsnetz (nach Perwitzschky)

Literatur

24.1 H. Dornberg / H.H. Kraft / W. Büttner: Technische Bauteile, Leipzig 1980
24.2 Autorenkollektiv: Technische Systeme; Leipzig 1976
24.3 H. Fuchs: Allgemeine Maschinenlehre; Berlin 1988
24.4 H. Nowitzki / R. Schwarz: Baumaschinenkunde, Berlin 1981
24.5 M. Perwitzschky: Grundriss einer Theorie technischer Systeme, Dissertation B Martin-Luther-Universität; Halle (Saale) 1975

25. Allgemeintechnische Darstellungsformen technischer Systeme

25.1. Übersicht über allgemeintechnische Darstellungsformen technischer Systeme

Technische Systeme lassen sich grafisch in Form von technischen Zeichnungen, Sinnbildern, Diagrammen, Schemata, Prinzipskizzen, Fließ- und Strukturbildern u. a. abbilden. Solche graphischen Darstellungen sind wichtige Verständigungsmittel. Sie veranschaulichen nicht nur verbal dargestellte Sachverhalte, sondern ergänzen und vertiefen sie oft in entscheidender Weise. Sie haben darüber hinaus eine unersetzliche selbständige Funktion als Konstruktionszeichnungen und Schaltpläne, aus denen unmittelbar alle notwendigen Informationen zur Produktion und Installation technischer Systeme und Einrichtungen entnommen werden können.

Nicht übersehen werden sollte, dass sie internationale Verständigungsmittel sind, die keine speziellen Fremdsprachenkenntnisse voraussetzen.

Für die Entwicklung der Technikwissenschaften war immer charakteristisch, dass parallel zur Herausbildung von neuen Betrachtungsweisen, Arbeitsmethoden und Verfahren, mit denen die jeweils herangereiften und zu lösenden technischen Aufgabenstellungen erfolgreich bearbeitet werden konnten, auch spezifische grafische Darstellungsformen entwickelt wurden, die die jeweiligen Betrachtungsaspekte adäquat wiederzugeben gestatteten. So sind für den Maschinenbau technische Zeichnungen typisch, die die geometrischen Formen der technischen Objekte anschauliche und maßstabgerecht abbilden und die konstruktiven Aspekte widerspiegeln. In der Elektrotechnik und in der Informationselektrik dagegen kommt es in vielen Fällen weniger auf die geometrischen Formen und Abmessungen der Bauteile und Baugruppen an, sondern auf das Zusammenwirken der Einzelelemente und ihren Beziehungen im Gesamtsystem. Diese werden durch Sinnbilder (Schaltzeichen bzw. Symbole) in Schaltplänen übersichtlich und in ihrem funktionellen Zusammenwirken oder in ihrem schaltungstechnischen Zusammenhang dargestellt. Eine ähnliche Funktion haben technologische Schemata. Die Symbole werden in ihrem Aufbau meist aus der Funktion des Bauelements abgeleitet.

Auch für die Allgemeine Techniklehre sind spezifische Darstellungsformen entwickelt worden, die den allgemeintechnischen und allgemeintechnologischen Sachverhalten und den zugrunde liegenden spezifischen Betrachtungsweisen und Aussageinhalten Rechnung tragen. Für technologische Systeme haben wir im Kap.14 graphische Darstellungsformen zusammengestellt und das schematische und das konstruktive Fließbild sowie Stoff- und Energieflussbilder als aussagekräftige Formen hervorgehoben. Grundsätze der Symbol- und Strukturdarstellung technologischer Grundvorgänge wurden in den Kapiteln 5 und 6 beschrieben. Im Folgenden sollen Darstellungsmöglichkeiten vorgestellt werden, die technische Systeme unter allgemeintechnischen Aspekt abbilden. Aufgabe dieser Abbildungen ist es, invariante Momente technischer Systeme zu verdeutlichen, insbesondere

- die Elementarstruktur von Systemen aufzudecken,
- die Elemente eines technischen Systems übersichtlich zu erfassen,
- die Strukturbeziehungen zwischen diesen Elementen anschaulich wiederzugeben
- die Funktionen von Elementen, Funktionsgruppen und Funktionssystemen auf einem hohen Abstraktionsniveau darzustellen (insbesondere hinsichtlich der auftretenden Stoff-, Energie- und Informationsflüsse).

Die wichtigsten Darstellungsformen sind die Symboldarstellung und die Strukturdarstellung.

25.2. Symboldarstellung

Die Symboldarstellung ist ein Mittel der Abbildung und Charakterisierung von Elementen der einzelnen Hierarchieebenen technischer Systeme und ihrem Zusammenwirken in übergeordneten Systemen. In verschiedenen Disziplinen der Technikwissenschaften existieren Vereinbarungen über sinnbildliche Zeichen (Sinnbilder) für die Darstellung von Funktionssystemen (Maschinen, Apparaten), von Funktionsgruppen und Funktionselementen. In einer Reihe von Fällen (insbesondere in den Bereichen der Verfahrenstechnik, der Verarbeitungstechnik, der Fördertechnik, der Energietechnik und der Informationstechnik) sind sie in Standards verbindlich festgelegt und sind damit ein allgemeines Verständigungsmittel. Eine allgemeinere, für alle technischen Bereiche verbindliche Festlegung fehlt allerdings.

Für die Gestaltung der Symbole werden verbreitet folgende Kriterien und Arbeitspositionen angewandt:

- Beschränkung auf eine möglichst begrenzte Zahl von Grundsymbolen
- Für die einzelnen Sinnbilder sollen einfache geometrische Formen zugrunde gelegt werden, um sie leicht zeichnen zu können und die Möglichkeit zur Anwendung von Schablonen zu geben.
- Grundsymbole sollen technologische Grundverfahren darstellen und einen hohen Abstraktionsgrad besitzen, um daraus möglichst die Symbole für alle zu eine Klasse gehörigen Systeme ableiten zu können
- die Maschinen- und Apparatesinnbilder werden durch Zusatzsymbole aus den Grundsymbolen abgeleitet. Sie können mit Eingangs- und Ausgangspfeilen für den Fluss des Arbeitsgegenstandes versehen werden.

Auf der Hierarchieebene der Funktionssysteme besteht eine enge Korrespondenz mit den Symbolen für die technologischen Grundvorgänge. Den technologischen Grundvorgängen werden zunächst Grundsymbole zugeordnet (Verfahrenssinnbilder). Die zugehörigen Funktionssysteme werden aus diesen Grundsymbolen abgeleitet und durch Zusatzsymbole spezifiziert (Sinnbilder technischer Systeme).

Abb. 25.1. zeigt Beispiele für Sinnbilder von Funktionssystemen aus verschiedenen Technikbereichen.

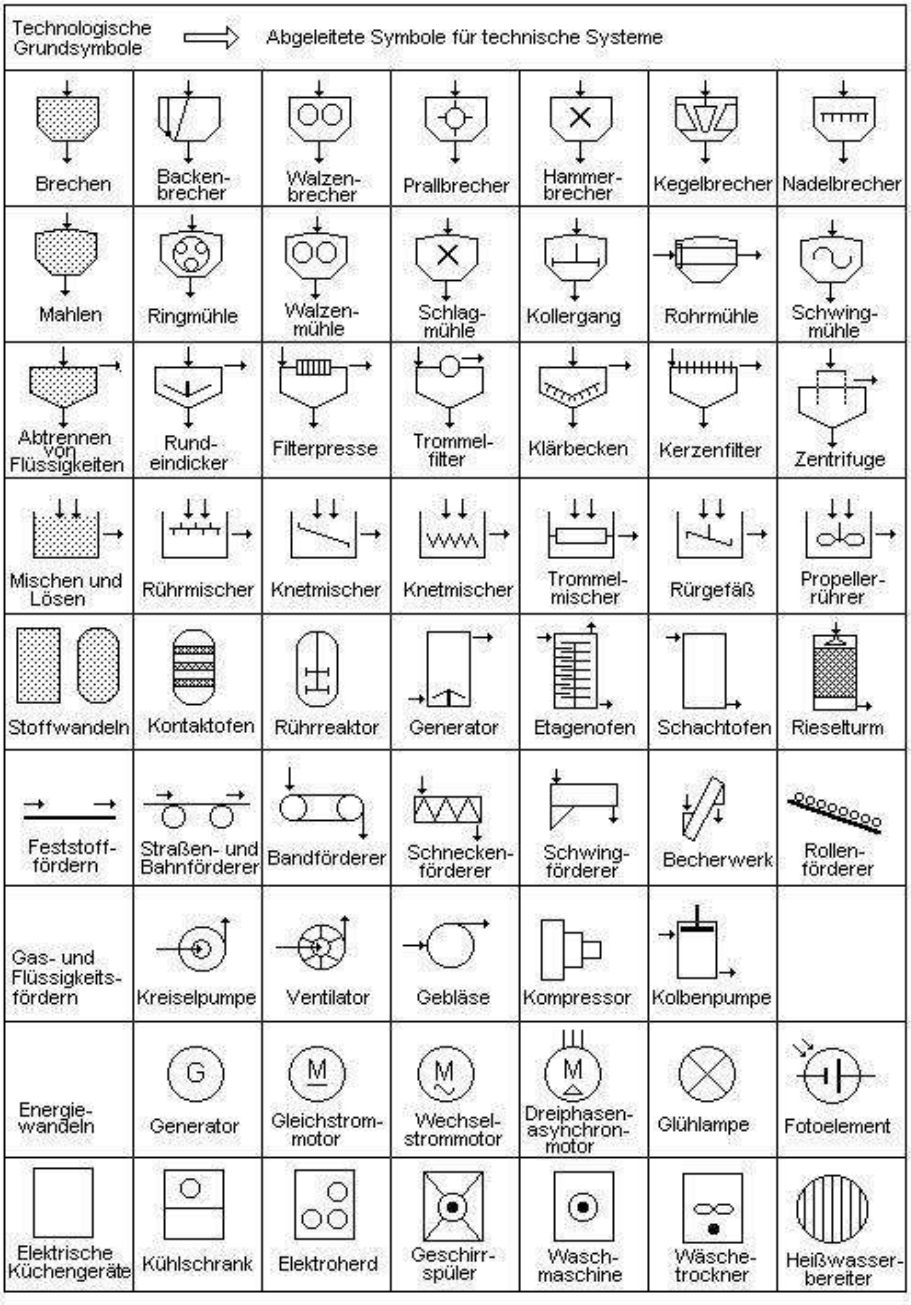


Abb. 25.1. Symbole für technische Funktionssysteme

25.3. Strukturdarstellung

Strukturdarstellungen technischer Systeme haben die Aufgabe, die Elemente eines Systems übersichtlich und die zwischen ihnen bestehenden Kopplungen zu veranschaulichen.

Funktionsprinzipien lassen sich in ihrer Struktur veranschaulichen, indem ihre 3 materiellen Elemente (die Funktionsfaktoren) in Form rechteckiger Flächen an den Eckpunkten eines gedachten Dreiecks angeordnet werden (ähnlich wie bei der Strukturdarstellung der technologischen Wirkprinzipien). Das ermöglicht es, die Relationen zwischen ihnen übersichtlich anzugeben. In den Rechtecken werden die jeweiligen Funktionsfaktoren und ihre Eigenschaften benannt. Als Resultierende aus der Wechselwirkung der Funktionsfaktoren ergibt sich das Funktionsprinzip. Es wird als Kreis zwischen den Rechteckfeldern symbolisiert und mit seinem konkreten Namen gekennzeichnet (Abb.25.2.).

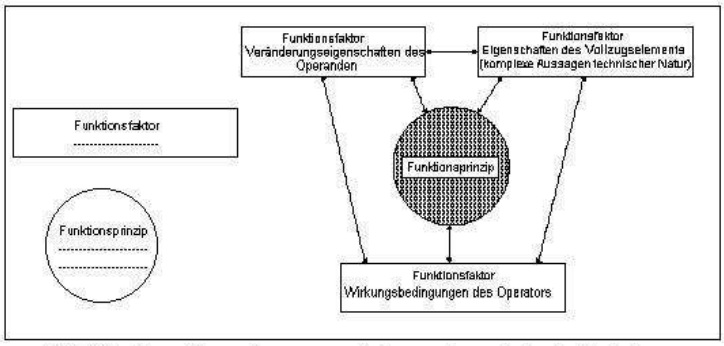


Abb. 25.2. Darstellungselemente und -formen für technische Funktionen und Funktionsprinzipien

Blockschemata sind die geeignete Form für die Strukturdarstellung der Funktionsbereiche und der Organstruktur technischer Systeme. Als Abbildungsgrundlage für die einzelnen Strukturelemente haben sich Quadrate bewährt, die zweckmäßigerweise pyramidenförmig angeordnet werden. Der Bearbeitungsteil nimmt die Spitze der Pyramide ein, der Energieteil und der Informationsteil sind nebeneinander darunter angeordnet. Das ganze ruht auf dem Stützteil. So lassen sich die Hauptfunktion und die ihr untergeordneten Funktionen innerhalb des technischen Systems gut veranschaulichen. Die Inputs und Outputs in Form von Operationsenergien und Steuerungsinformationen werden gegebenenfalls als kleine Rechtecke angegeben, wobei sie neben dem aufnehmenden bzw. abgebenden Funktionsteil des technischen Systems angeordnet werden. Der zu verändernde Arbeitsgegenstand kann ebenfalls in die Darstellung einbezogen und als Rechteck mit verbaler Eintragung gekennzeichnet werden (A).

Relationen zwischen den Funktionsorganen werden durch Pfeile angegeben.

Die Strukturmodelle lassen sich als Blockschema der Funktionsteile des technischen Systems mit verbalen Eintragungen der Funktionsorgane (B) oder in ausführlicher Darstellung als Organstrukturmodell mit symbolisierten Funktionsorganen und den zwischen ihnen bestehenden Relationen (C) wiedergeben (Abb.25.3.).

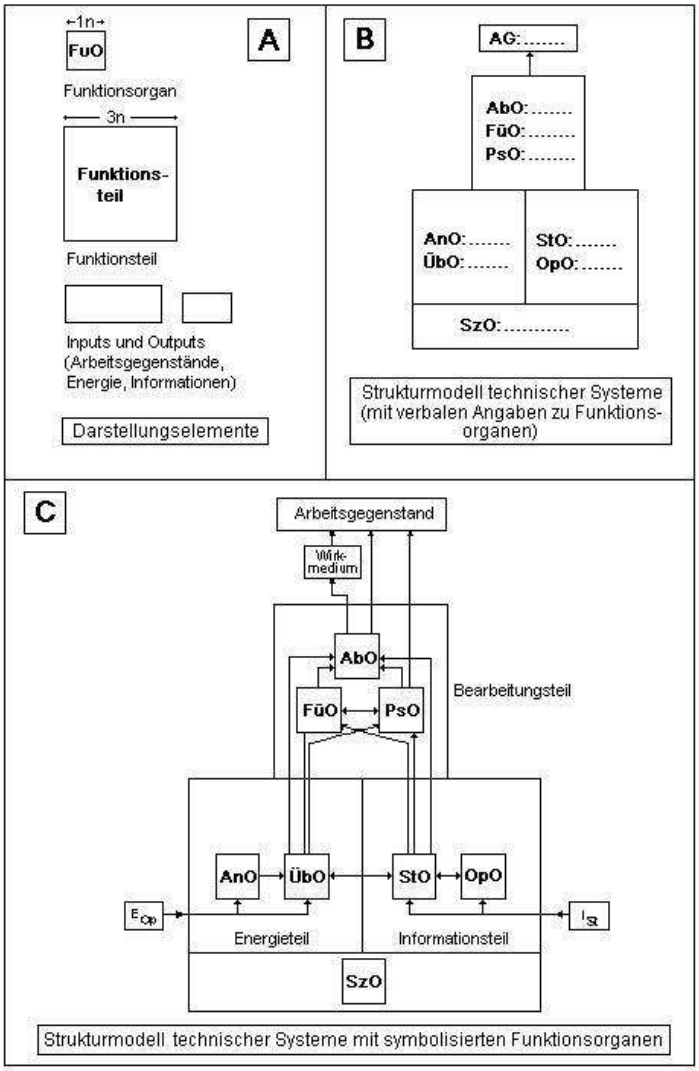


Abb. 25.3. Darstellungselemente für Strurkturbilder technischer Systeme

Literatur

25.1 Autorenkollektiv: Schaltzeichen und Schaltpläne im Unterricht; Berlin 1982
25.2 S. Liebscher: Fachzeichnen Informationselektrik; Berlin 1971
25.3 H. Baerfacker / W. Geilert: Zeichnung -Datenverarbeitung - Automatisierung; Berlin 1967
25.4 M. Vlk: Bilder in technischen Veröffentlichungen; Berlin 1963

II. Teil – ALLGEMEINE CHARAKTERISTIK DER HAUPTKLASSEN TECHNISCHER SYSTEME

26. Bearbeitungs- und Verarbeitungssysteme (Stoffformungssysteme)

26.1. Allgemeine Charakteristik der Stoffformungssysteme

Die Klasse der Stoffformungssysteme umfasst die Gesamtheit der technischen Systeme, die die Form stofflicher Arbeitsgegenstände zielgerichtet verändert, ohne ihre chemische Zusammensetzung wesentlich zu beeinflussen. Dabei kann als Ziel dieser Einwirkung auf die Arbeitsgegenstände einerseits die Gestaltänderung und anderseits die Eigenschaftsänderung (ohne wesentliche Eingriffe in die chemische Struktur) angestrebt werden. Die Gestaltänderung zielt auf eine konstruktiv gewollte geometrisch bestimmte Form des Produkts. Die Eigenschaftsänderung kann die Veränderung des Aggregatzustandes, der Fließfähigkeit eines Gutes (z.B. durch Pulverisieren), der Oberflächenhärte des Produktes (z.B. durch Einlagern von Kohlenstoffteilchen), des Korrosionsverhaltens (z.B. durch Oberflächenbeschichtung) u. ä. betreffen.

Die Stoffformungssysteme sind die umfangreichste Klasse technischer Systeme. Diese Vielfalt ergibt sich einerseits aus der großen Zahl der als Arbeitsgegenstände genutzten Materialien mit den unterschiedlichsten Eigenschaften und den daraus resultierenden Bearbeitungsmöglichkeiten, wie Eisenmetalle, Nichteisenmetalle, Leichtmetalle, Holz, Plaste, Elaste. textile Materialien, Leder, chemisch-technische und landwirtschaftliche Produkte. Die Arbeitsgegenstände können dabei in allen drei Aggregatzuständen vorkommen. Technische Systeme der Stoffformung umfassen deshalb nicht nur Maschinen und Anlagen der Metall- und Holzbearbeitung, sondern auch Maschinen der Plast- und Elastverarbeitung, Textilmaschinen, Lederverarbeitungsmaschinen, Maschinen der Nahrungsmittelindustrien, Bäckereimaschinen, Verpackungsmaschinen usw.

Zum anderen wird die Vielfalt dadurch bestimmt, dass praktisch alle Energieformen als Operationsenergie für die Stoffformung genutzt werden, und damit neben den klassischen mechanischen und thermischen Bearbeitungsmaschinen zunehmend solche treten, die mit elektrischer, elektronischer, chemischer und strahlungsinduzierter Operationsenergie den Arbeitsgegenstand verändern.

Aus technikwissenschaftlicher Sicht gehört die Gesamtheit der fertigungstechnischen, verfahrenstechnischen und verarbeitungstechnischen Systeme zu den Stoffformungssystemen.

Die *Einteilung der Stoffformungssysteme* nehmen wir auf der Grundlage der Systematik der Stoffformungsverfahren vor (s. Kap. 7.8.). Danach werden unterschieden:

- Technische Systeme zum Urformen
- Technische Systeme zum Fügen
- Technische Systeme zum Umformen
- Technische Systeme zum Trennen
- Technische Systeme zum Zerkleinern
- Technische Systeme zum Stoffeigenschaftsändern

26.2. Übersicht über die Hauptgruppen und ihre Merkmale

26.2.1. Technische Systeme zum Urformen

Durch Urformen werden Arbeitsgegenstände aus dem „formlosen“ Zustand in eine erste technisch verwertbare Form gebracht, wobei mittels Krafteinwirkung der Stoffzusammenhalt geschaffen wird und die Werkstoffeigenschaften bestimmbar in Erscheinung treten. Werkstoffe urformender Verfahren sind Metalle, Glas, Plaste und Elaste sowie keramische Massen. Als „formloser“ Stoff gelten im diesem Zusammenhang Metalle und Gläser in geschmolzenem Zustand, Plaste und Elaste in zähflüssiger Form, Metalle und Plaste in pulverisierte oder granulierter Form.

Zur Urformtechnik gehören Gießeinrichtungen, Pressen und Blasmaschinen. Die Arbeitsorgane (Maschinenwerkzeuge) dieser Systeme sind ebenso vielgestaltig wie die Zahl der verschiedenen technologischen Verfahren. In ihnen erhält die Formmasse unter Krafteinwirkung (Schwerkraft, Druckkraft, Fliehkraft) die gewünschte Form des zu fertigenden Einzelteils bzw. Produkts. Die Fixierung der Form geschieht durch

physikalische (Erstarrung der Schmelze) oder chemische Vorgänge (Aushärten durch chemische Vernetzung). Typisch für zahlreiche urformende Arbeitsorgane ist der hohe Grad der Formspeicherung, z.B. bei Gießformen und Presswerkzeugen (Kokillen) (Abb.26.1.).

Zur Durchführung der verschiedenen Gießverfahren muss der Werkstoff in flüssiger Form vorliegen. Dazu dienen **Schmelzöfen**. Für die Erschmelzung der Eisengusswerkstoffe (Gießereiroheisen, Stahlschrott, Gussbruch, Kreislaufmaterial der Gießereien) werden verschiedene Typen von Schmelzöfen eingesetzt.

Kupolöfen sind die verbreitetsten Schmelzeinrichtungen für Eisen-Gusswerkstoffe. Sie besitzen einen schachtförmigen, feuerfest ausgemauerten Ofenraum, in dem Koks verbrannt wird. Durch das Einblasen von Luft mittels einer Windleitung und Winddüsen wird eine genügend hohe Temperatur erreicht, um das über die Gichtbühne eingetragene Einsatzgut einzuschmelzen. Das geschmolzene Eisen tropft in den Ofenherd und von dort aus in den Vorherd. In ihm wird das flüssige Eisen gesammelt. Seine Ausgestaltung als Siphon ermöglicht die Trennung von Eisen und Schlacke.

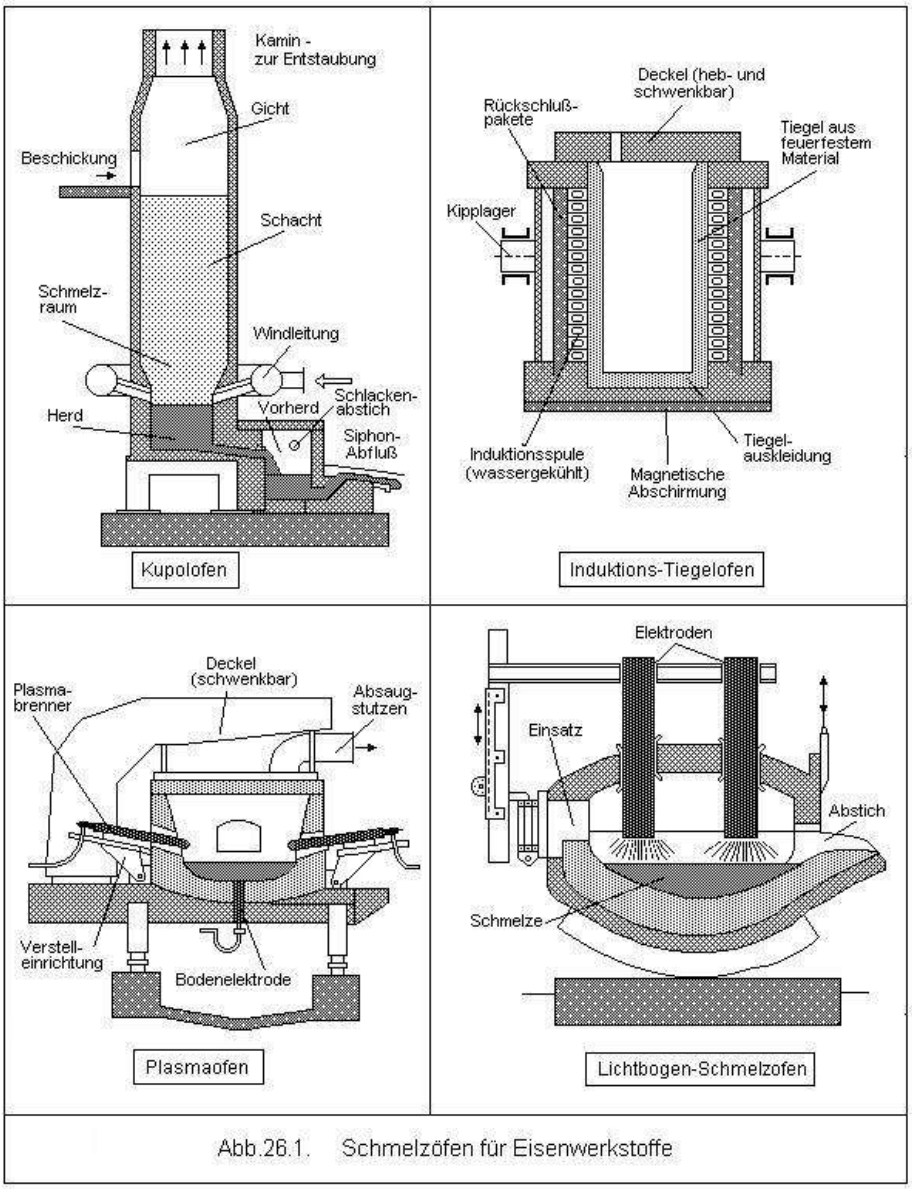


Abb.26.1. Schmelzöfen für Eisenwerkstoffe

Induktions-Tiegelöfen bestehen aus einem feuerfesten Tiegel, der von einer starken, wassergekühlten Kupferspule umgeben ist. Bei Stromfluss entsteht ein elektrisches Wechselfeld im Einsatzmaterial, wodurch es stark erhitzt und geschmolzen wird. Das Wechselfeld durchrührt die Schmelze gleichzeitig und verteilt zugegebene Legierungselemente. Nach außen ist die Spule elektromagnetisch durch Rückschlusspakete abgeschirmt, so saß kein Strom in der umgebenden Stahlkonstruktion induziert werden kann. Der Tiegel ist mit einer Kipphydraulik ausgerüstet.

Lichtbogenöfen besitzen eine flache, kippbar gelagerte Wanne mit kreisförmiger Herdfläche. Darüber im Deckel angeordnete Graphitelektroden erzeugen einen Lichtbogen, der das Material einschmilzt. In Lichtbogenöfen lassen sich Temperaturen von 3500 °C erreichen, so dass auch hochschmelzende Legierungszusätze (Wolfram, Molybdän, Ferromangan) eingeschmolzen werden können. Die Schmelzen besitzen hohe Reinheit.

Plasmaöfen sind ähnlich aufgebaut wie Lichtbogenöfen. Sie sind mit einem schwenkbaren Deckel ausgerüstet. Der Herd ist mit Magnesit ausgestampft, während Deckel und Wände mit Chrom-Magnesit-Steinen ausgekleidet sind, die Dauertemperaturen von 1850 °C zulassen. 3 bis 4 Plasmabrenner werden seitlich eingeführt. Sie sind höhen- und seitenverstellbar und werden mit Gleichstrom betrieben. Als Arbeitsgas dient Argon.

Für das Urformen der Metalle aus dem flüssigen Zustand gibt es eine Vielzahl ***gießtechnischer Systeme***. Die wichtigsten Typen von Gießmaschinen sind Kokillengussanlagen, Druckgussmaschinen, Schleudergussmaschinen und Stranggussanlagen.

Für das *Schwerkraftgießen* werden als Arbeitsorgane (Gießwerkzeuge) Gießformen genutzt. Es werden verlorene Formen (Sandformen, Formmasken) für die einmalige Nutzung und Dauerformen (Kokillen aus Stahl, Grauguss oder Nichteisenmetallen) für die vielfache Nutzung unterschieden. Kokillen können aus einem Teil (offene Kokillen) oder aus mehreren Teilen (geschlossene Kokillen) bestehen. Soll das Gussteil Hohlräume enthalten, müssen in die Kokille Kerne eingelegt sein. Durch geeignete Verschlüsse muss dem hydrostatischen Druck des Gießmetalls in der mehrteiligen Form entgegengewirkt werden, damit es nicht durch die Trennebenen nach außen treten kann und die Kokillenteile auseinander gedrückt werden (Klammer-, Klinken-, Hammer- Exenterverschlüsse und hydraulische Schließeinrichtungen).

Beim Gießen wird das flüssige Metall in den Formhohlraum der erwärmten Kokille eingebracht und erstarrt dort. Als *Grundtypen der Kokillen* werden unterschieden:

- Schiebekokillen. Sie bestehen aus zwei Werkzeughälften,
- Schwenkkokillen. Bei ihnen sind die beiden Teile durch ein Drehgelenk verbunden,
- Klappkokillen sind dreiteilig. Die oberen geteilten Kokillenviertel sind durch Klappgelenke mit dem festen Teil der Kokille verbunden,
- Abhebekokillen werden durch waagerecht übereinander liegenden Werkzeughälften charakterisiert, die durch senkrechte Führungssäulen fixiert sind,
- Wechselrahmenkokillen sind Kokillen, die aus einem standardisierten Aufnahmerahmen mit auswechselbaren Einsätzen aufgebaut sind. Die Einsätze können mit dem Aufnahmerahmen durch Verschraubung oder durch Nutenführung verbunden werden. (Abb. 26.2.).

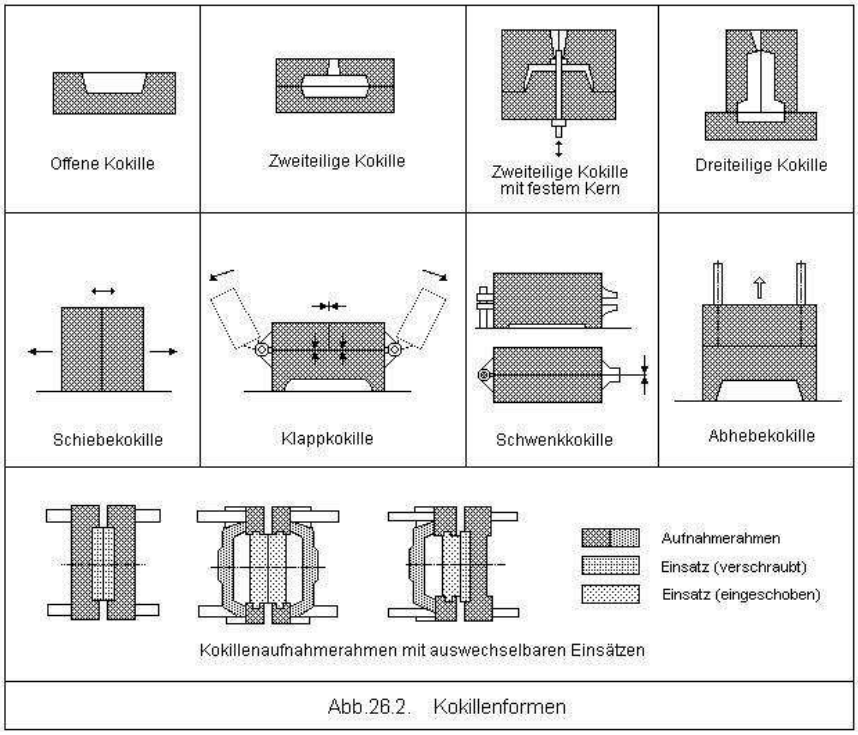


Abb.26.2. Kokillenformen

Druckgussmaschinen drücken Metallschmelzen mit großer Geschwindigkeit in beheizte mehrteilige Kokillen (stählerne Druckgießwerkzeuge). Die Kokillen für den Druckguss sind ähnlich aufgebaut wie die Gusswerkzeuge für das Schwerkraftgießen. Die feststehende Seite der Kokille wird auf den feststehenden Träger der Gießmaschine gespannt. Sie nimmt auch das Gießsystem (Einlauf, Zulauf, Anschnitt, Überlauf, Entlüftung) und die Führungssäulen auf. Der bewegliche Kokillenteil wird mittels eines Aufspannbocks mit dem feststehenden Teil verbunden. Er enthält auch die Auswerfereinrichtungen. Beim Warmkammerverfahren befindet sich die Druckkammer in der Schmelze, während sie beim Kaltkammerverfahren außerhalb der Schmelze angeordnet ist. Druckgussmaschinen ermöglichen die maßgenaue Herstellung dünnwandiger Werkstücke auch komplizierter Formen mit hoher Oberflächengüte.

Schleudergussmaschinen bestehen aus einer Gießpfanne, von der aus die Schmelze über eine Gießrinne in eine rotierende rohrförmige Kokille gegossen wird. Die Gießrinne wird kontinuierlich aus der Kokille herausgezogen und so die Schmelze in alle Bereiche der Form geführt. Ein Überlaufring an der offenen Seite der Form verhindert das Austreten des Gießmetalls. Das fertige Gussteil löst sich durch Schrumpfung von der Kokilleninnenwand und kann dann aus der Form herausgezogen werden. Schleudergussmaschinen werden vor allen für die Herstellung rotationssymmetrischer Gußteile eingesetzt (Rohre, Buchsen, Trommeln, Riemenscheiben, Zahnräder und kegelförmige Werkstücke). Es gibt Schleudergussmaschinen mit waagerechter und senkrechter Drehachse.

Stranggussanlagen dienen vor allem der Herstellung von Voll- und Hohlprofilen. Die Metallschmelze wird dabei stetig von einem Tiegel aus durch eine wassergekühlte Kokille geleitet, deren Innenwand entsprechend der gewünschten Form profiliert ist. Das erstarrende Material wird mittels einer Zugvorrichtung in einer vorher genau bestimmten Geschwindigkeit laufend abgezogen. Es gibt senkrecht und waagerecht arbeitende Stranggussanlagen. (Abb.26.3.)

Metalle können auch aus dem festen Zustand urgeformt werden. Dazu müssen sie in pulverförmigem Zustand vorliegen. Für Fertigteile, an die geringe Anforderungen an Festigkeit und Maßhaltigkeit gestellt werden, erfolgt die Formgebung ohne Druckanwendung. Das Metallpulver wird dazu in die Form geschüttet, durch Vibratoren etwas verdichtet und anschließend gesintert. Für höhere Anforderungen werden *Metallpulverpressen* eingesetzt. Sinterteile sollen in ihrer geometrischen Form einfach gestaltet und möglichst zylinder- oder prismenförmig sein. Das Arbeitsorgan für Metallpulverpressen besteht aus dem Unterstempel, dem (federnden oder nichtfedernden) Oberstempel, den Preßdornen (bei Teilen mit Bohrungen und Durchbrüchen) und dem mit der Unterplatte verbundenen Mantel.

Die **urformende Verarbeitung von nichtmetallischen Werkstoffen** (Glas, Thermoplaste, Duroplaste, Elaste) erfolgt durch Extrudieren, Druckguss, Spritzguss, Kalandrieren, Formpressen, Schichtpressen und Folienblasen. Die Werkstoffe können sowohl durch Gießen aus dem fließfähigen Zustand als auch durch Pressen aus dem festen Zustand urgeformt werden.

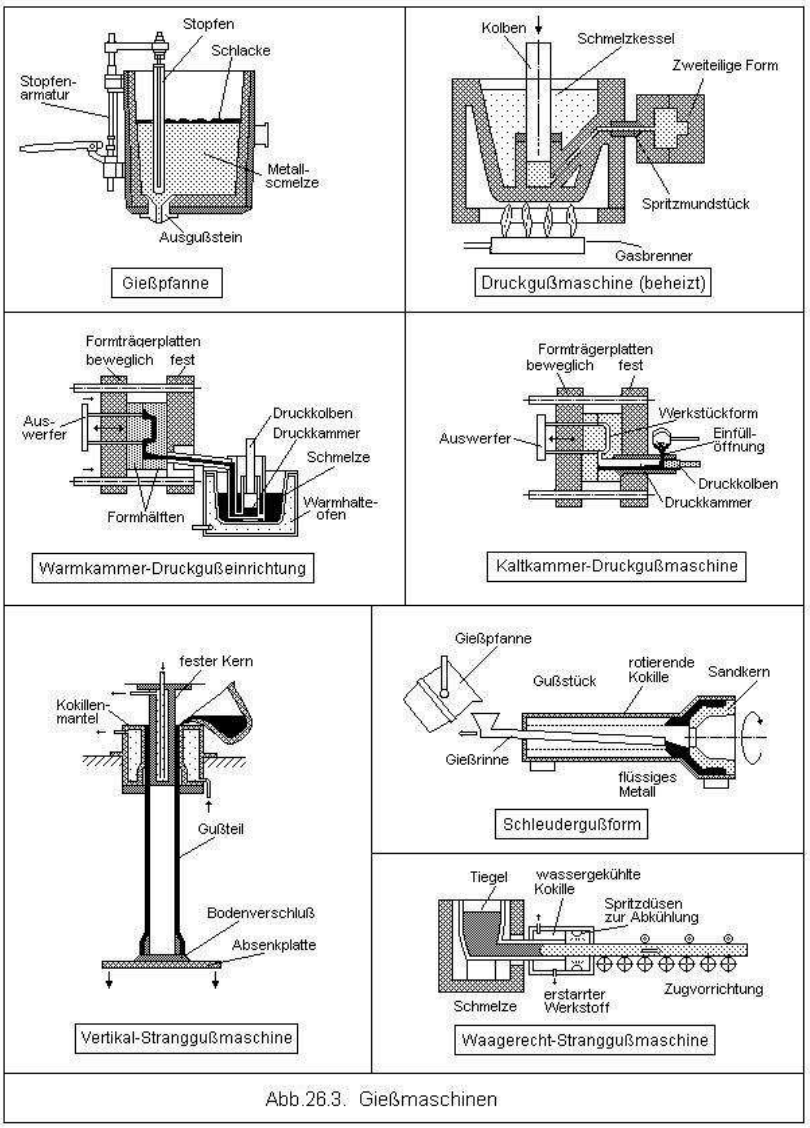


Abb.26.3. Gießmaschinen

Für das Erschmelzen gießfähiger Glasmasse werden *Hafenöfen* und *Wannenöfen* eingesetzt. Wegen des hohen Energieaufwandes sind sie im Allgemeinen mit Wärmerückgewinnungsanlagen (Regenerativ- und Rekuperativsysteme) verbunden. Anstelle der heute nur noch wenig eingesetzten Hafenöfen werden induktiv beheizte Platintiegel insbesondere für optische Gläser, an die hohe Reinheits- und Homogenitätsanforderungen gestellt werden, genutzt. Die Weiterverarbeitung der Glasmasse geschieht durch Gießen, Pressen, Walzen, Ziehen oder Blasen (Abb.26.4.).

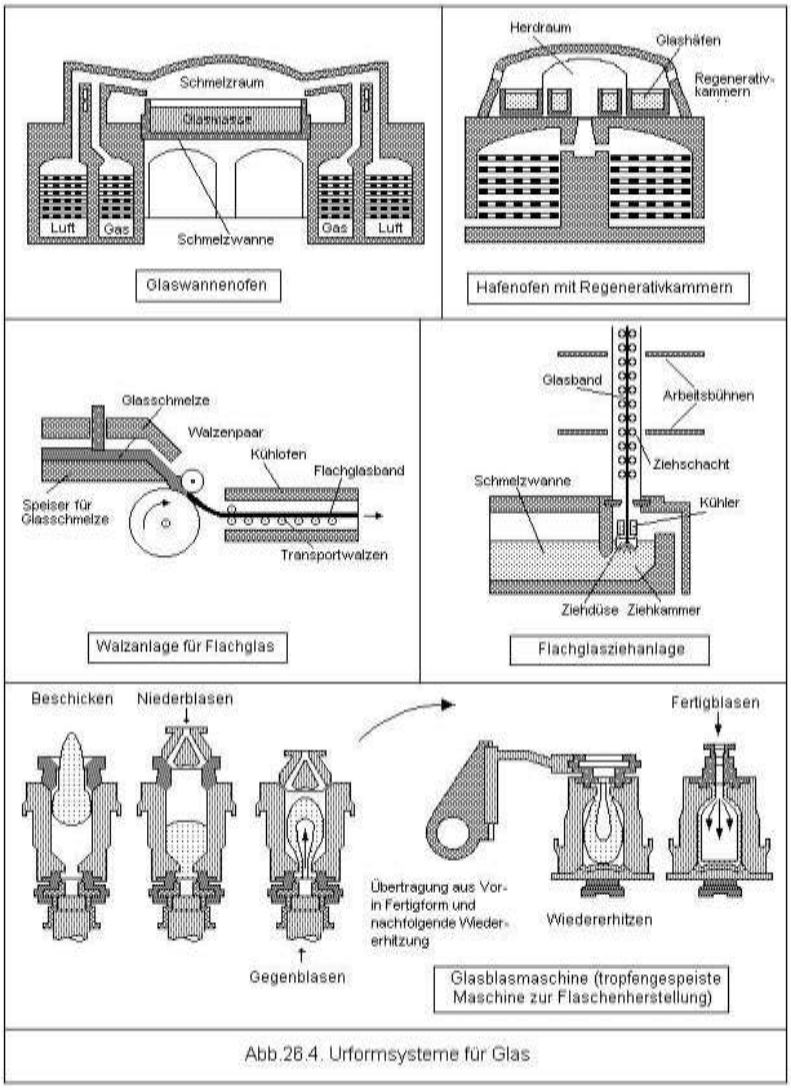


Abb.26.4. Urformsysteme für Glas

Plaste werden in vielfältiger Weise aus dem pulverförmigen (granulierten) Zustand urgeformt. Die Hauptverfahren sind Formpressen, Spritzpressen und Schichtpressen.

Die *Werkzeuge zum Formpressen* bestehen aus einem Unterteil mit einer gravurbildenden Formplatte und einem Unterstempel als Ausdrückbolzen. Das Werkzeugoberteil ist der ebenfalls gravurbildende Oberstempel. Die Formmasse wird vorgewärmt in die Gravur der Form eingegeben und dort durch das beheizte Werkzeug und unter dem Druck des Stempels erweicht. Sie füllt den Hohlraum aus und erhärtet durch chemische Vernetzung der Moleküle oder durch Abkühlung. Das fertige Pressteil wird nach dem Öffnen der Form durch den Auswerfer entformt.

Spritzgussanlagen haben zusätzlich Vorrichtungen zum Plastizieren der Formmasse und zum Einspritzen in den Formhohlraum. Beim Strangpressen wird die Formmasse aus der Druckkammer durch ein profiliertes Werkzeug ins Freie gepresst. Der prinzipielle Aufbau der technischen Systeme zum Spritzpressen, Strangpressen und Extrudieren besteht aus einer Aufgabevorrichtung für pulverförmiges oder granuliertes Material, einer Heizung, die das Material in den plastischen Zustand versetzt, einer Schnecke bzw. einem Kolben mit dem der Werkstoff mit Drücken von 5 bis 30 MPa in eine Gießform oder durch eine Matrize gepresst wird. Die Matrizen können Rohre, Platten, Bänder, Schläuche, ummantelte Drähte, Folien oder Hohl- und Vollprofile formen.

Der Unterschied zwischen dem Pressen von Duroplasten und Thermoplasten besteht darin, dass Duroplaste im erhitzten Werkzeug plastiziert werden, während das bei den Thermoplasten außerhalb des Werkzeugs in Extrudern oder Knetern geschieht. Die Werkzeugerwärmung kann elektrisch, durch Dampf, Heißwasser oder Gas erfolgen.

Zur kontinuierlichen Herstellung von Folien auf Thermoplastbasis werden *Kalander* eingesetzt. Das auf Schneckenpressen vorplastizierte Ausgangsmaterial wird über Einzugswalzen in den Kalanderwalzen auf die

gewünschte Stärke von 0,04 bis 1,0 mm ausgewalzt, auf Abzugswalzen gekühlt und abschließend aufgewickelt (Abb. 26.5.).

Die *Extrusionsblasmaschinen* bestehen aus der Blaseinheit, der Plastiziereinheit, der Schließeinheit, der Antriebseinheit sowie der Hydraulik-, Druckluft- und Kühlanlage. Die Blasköpfe sind an Aufspannplatten der Schließeinheit befestigt. Sie formen aus der Formmasse ein Schlauchprofil, das anschließend mit Druckluft aufgeblasen wird. Das Aufblasverhältnis liegt im Mittel bei 1:3. Die plastizierte Formmasse wird durch die in der Plastiziereinheit befindliche Schnecke kontinuierlich und mit gleichbleibender Geschwindigkeit in den Blaskopf gedrückt.

Die urformende Verarbeitung von Elastomeren erfolgt im plastischen Zustand durch Zumischen von Vulkanisationsmitteln (z.B. Schwefel) und Füllstoffen ebenfalls auf Extrudern, Kalandern und Spritzpressen sowie in Vulkanisierpressen und Vulkanisieröfen.

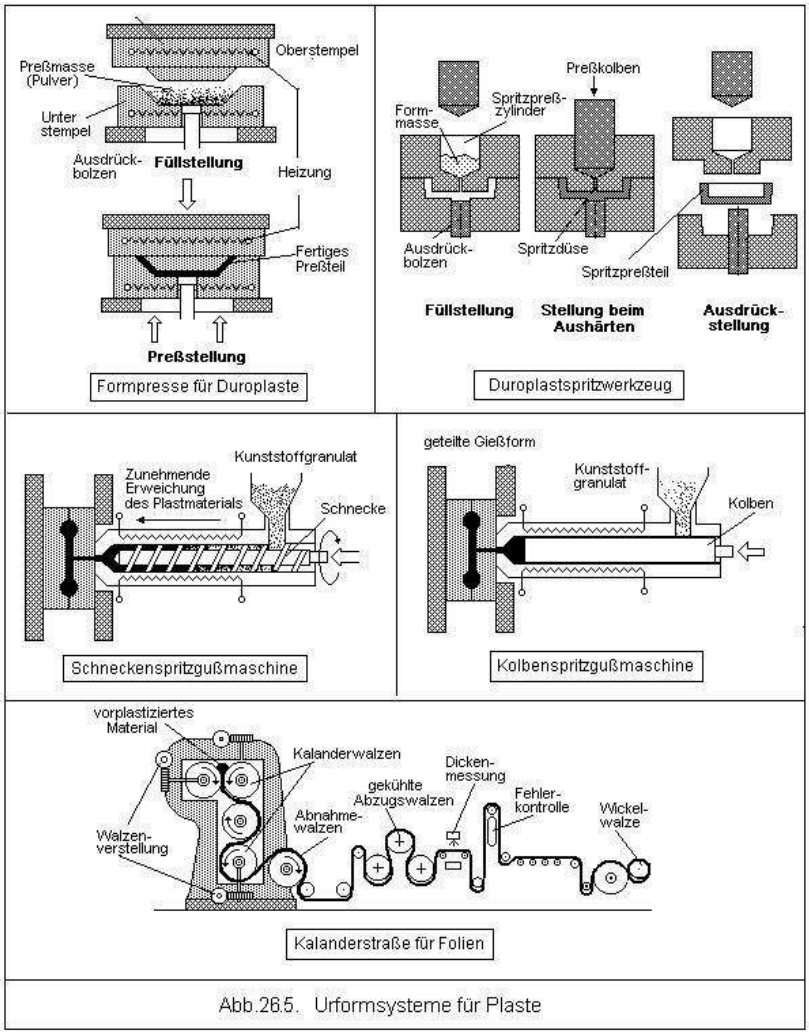


Abb.26.5. Urformsysteme für Plaste

26.2.2. Technische Systeme zum Fügen

Technische Systeme zum Fügen haben die Aufgabe, einzelne Bauelemente und Baugruppen zu einem funktionellen Ganzen unter Vergrößerung des Stoffzusammenhaltes zu verbinden (s. Kap. 7.9.2.). Die Verbindung kann lösbar oder unlösbar sein.

Die Fügetechnik wird im Allgemeinen aus der Sicht der metallverarbeitenden Industrie dargestellt. Sie ist dort charakteristisch für die Herstellung von Bauteilen und Baugruppen, sowie für alle Montageprozesse. Fügeverfahren sind aber auch verbreitet in der holzverarbeitenden, der leder- und kunststoffverarbeitenden sowie in der Textilindustrie anzutreffen. In der Textilindustrie werden beispielsweise durch Spinnen, Zwirnen, Stricken, Kulierwirken, Weben und Nähen textile Fäden, textile Flächengebilde, Textilverbundstoffe (Vliese, Nähgewirke) und Textilien hergestellt. Alle diese Verfahren gehören zu den Fügeverfahren. Auch die Herstellung von Schichtpressstoffen in der Holzverarbeitung erfolgt mittels fügetechnischer Verfahren.

Für eine Übersicht über die vielfältigen fügetechnischen Systeme folgen wir der technologischen Gliederung der Fügeverfahren nach dem Wirkprinzip (Tabelle 26.1.).

Technische Systeme zum Fügen	Beispiele für industriell bedeutsame Systeme mit hohem Mechanisierungsgrad
TS zum Zusammenlegen	Papierlegemaschinen, Verpackungsmaschinen, Zigarettenwickelmaschinen, Spulenwickelmaschinen
TS zum Füllen	Flaschenfüllmaschinen, Tubenfüllmaschinen, Luftpumpen
TS zum An- und Einpressen	Elektroschrauber, Nagelmaschinen (Tacker), Heftmaschinen, Bindemaschinen, Nähmaschinen
TS zum Fügen durch Urformen	Anlagen zum Vergießen
TS zum Fügen durch Umformen	Nietmaschinen, Falzmaschinen, Verseilmaschinen, Spinnmaschinen, Strickmaschinen, Webstühle
TS zum Stoffverbinden	Schweißgeräte und -maschinen, Lötmaschinen Klebemaschinen

Tabelle 26.1. Übersicht über technische Systeme zum Fügen

Fügesysteme weisen auf Grund der zahlreichen genutzten Wirkprinzipien sehr unterschiedliche Strukturen auf. Typisch ist weiterhin, dass für die Durchführung von Fügeverfahren oft noch einfache Werkzeuge und Geräte eingesetzt werden (Schraubenschlüssel, Schraubendreher, Zwingen, Hämmer, Nietwerkzeuge), deren nähere Beschreibung sich erübrigt. Im Folgenden soll eine Auswahl typischer und in der Produktionspraxis verbreiteter Maschinen im Überblick charakterisiert werden.

Beim Fügen durch An- und Einpressen hat die Herstellung von Schraubverbindungen große Bedeutung. Dafür stehen *Schraubwerkzeuge* (Schraubenschlüssel, Drehmomentenschlüssel), elektrische *Handschrauber* sowie *Schraubautomaten* zur Verfügung. In diese Gruppe gehören auch *Nagelmaschinen* (Tacker) sowie *Draht- und Faden-Heftmaschinen* in der Buchbinder- und Bürotechnik. In der Textiltechnik sind *Nähmaschinen* und *Nähwirkmaschinen* Hauptvertreter dieser Gruppe.

In der Verfahrensgruppe Fügen durch Umformen sind *technische System zum Falzen* (z.B. beim Herstellen und Verschließen von Konservendosen) und *Nietmaschinen* (Niethämmer, Nietpressen) (beim Brückenbau, Schiffsbau, Kessel- und Behälterbau) wichtige Vertreter. Stahlseile und Kabel werden auf *Verseilmaschinen* hergestellt. Im Bereich der Textiltechnik gehören *Spinnmaschinen, Webstühle* und *Wirk- und Strickmaschinen* zur Gruppe der fügetechnischen Systeme.

Typische technische Systeme zum Fügen durch Stoffverbinden sind Lötmaschinen, Schweißmaschinen und technische Anlagen zum Kleben. *Lötgeräte* sind Lötkolben, Lötbrenner und elektrisch beheizte Öfen. Gegenwärtig werden etwa 70 % aller Lötverbindungen mit mechanisierten Anlagen hergestellt. Hauptanwendungsfelder sind der Apparate- und Gerätebau, der Fahrzeugbau und die elektrotechnische und elektronische Industrie (Abb. 26.7.).

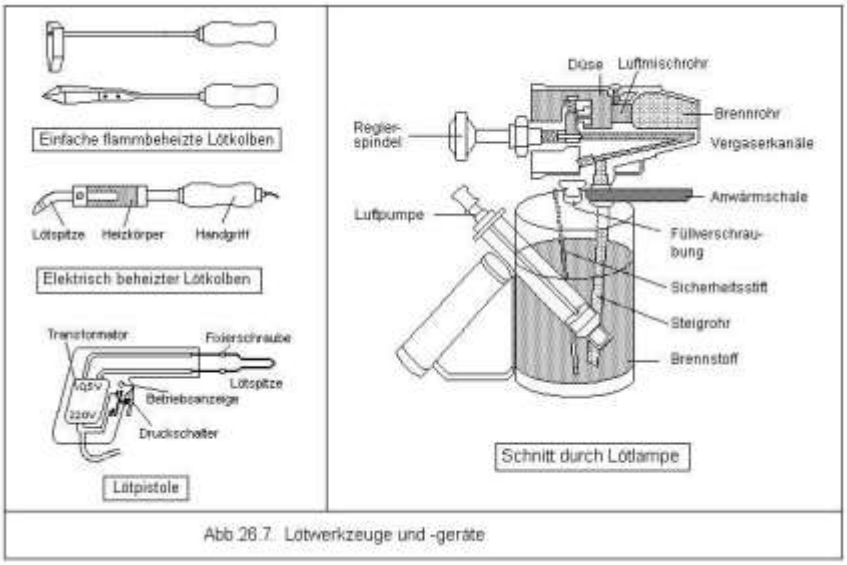


Abb.26.7. Lötwerkzeuge und -geräte

Die *Schweißtechnik* gehört zu den Bereichen der Technik, die in den letzten Jahrzehnten eine stürmische Entwicklung erfahren haben und damit ihr Anwendungsfeld sowohl hinsichtlich der zu schweißenden Materialien (Metalle, Thermoplaste und Gläser) wie auch der Einsatzgebiete wesentlich erweitert haben. Die wichtigsten Typen der Schweißmaschinen sind Gasschweißanlagen, Lichtbogenschweißanlagen, Elektronenstrahlschweißanlagen, Plasmaschweißanlagen und Preßschweißanlagen. *Gasschweißanlagen* haben als Arbeitsorgan ein Brennersystem, in dem das Brenngas und Sauerstoff zusammengeführt und in einem scharfen Strahl ausgestoßen wird. Die Gase werden aus Stahlbehältern getrennt zugeführt. Bei den *Plasmaschweißanlagen* ist der Brenner als wassergekühlte Ringanode gestaltet, in die eine Wolframelektrode hineinragt. Durch den dabei gebildeten Lichtbogen wird ein Gas (meist Argon) geleitet, das aus der Düse als hellleuchtender Plasmastrahl austritt. *Elektroschweißgeräte* bestehen aus der Schweißzange, in die die abschmelzende Schweißelektrode eingespannt wird, und dem Schweißumformer. Die *Punktschweißmaschine* (Abb. 26.6.) hat als Arbeitsorgan zwei senkrecht übereinander angeordnete Stiftelektroden. Auf die untere wird das zu verschweißende Werkstück aufgelegt. Mittels eines Fußhebels kann die obere Elektrode abgesenkt und das Werkstück zusammengepresst werden. Der Stromdurchgang erhitzt das Material zwischen den beiden Elektrodenkuppen und verschweißt sie.

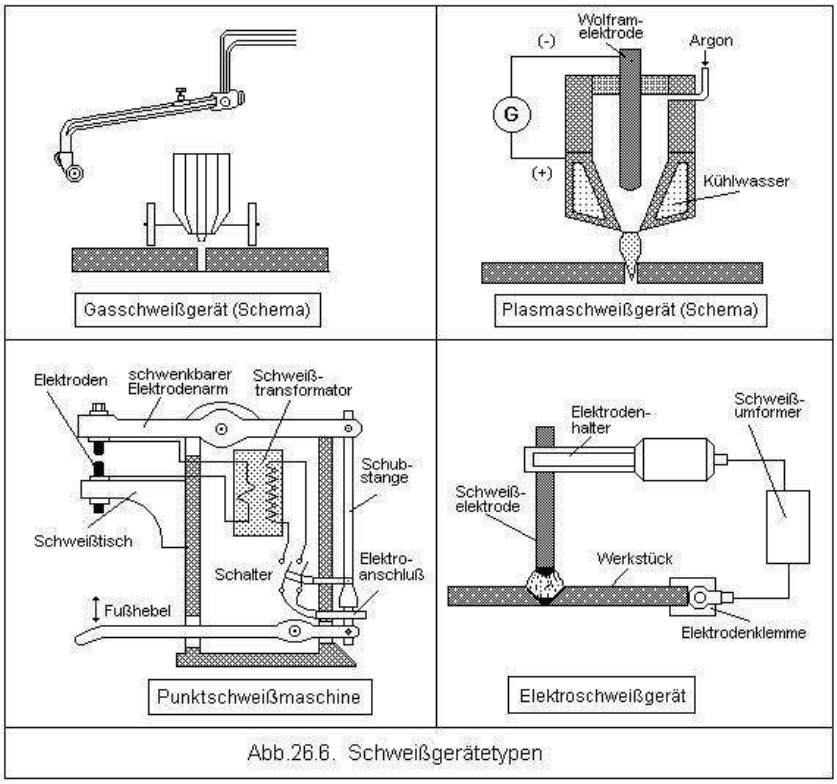


Abb.26.6. Schweißgerätetypen

Für die Herstellung von Klebeverbindungen werden technische Einrichtungen zum Einspannen und Fixieren der Klebeteile und Wärmeöfen zur Aushärtung eingesetzt. *Klebeanlagen* sind z.B. Furnierverleimmaschinen, Etagenpressen für die Herstellung von Verbundwerkstoffen und Faltschachtelklebemaschinen (Abb.26.8.).

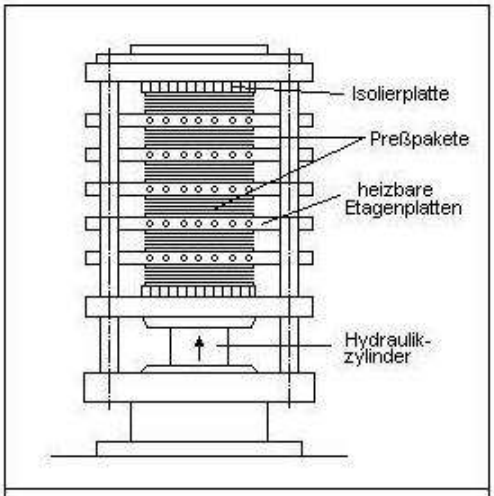


Abb.26.8.Etagenpresse für Schichtstoffe

26.2.3. Technische Systeme zum Umformen

Umformsysteme haben die Aufgabe, feste Arbeitsgegenstände durch äußere Krafteinwirkung unter Erhaltung des Stoffzusammenhaltes plastisch zu verformen. Die Masse und das Volumen bleiben dabei praktisch unverändert. Als Arbeitsgegenstände kommen dafür sowohl metallische Halbzeuge, Thermoplaste, Glas, aber auch Holz und Leder in Frage

Die Umformmaschinen müssen dazu auf das Werkstück Energie übertragen, um die Gleitwiderstände im Material zu überwinden. Dafür wird im Allgemeinen mechanische Energie genutzt, in zunehmendem Maße finden aber auch pneumatische, elektromagnetische und elektrohydraulische Energieformen Anwendung.

Operations-energie	Art der Werkzeugbewegung		
	geradlinig	feststehend	umlaufend
Mechanisch (periodisch wirkend)	Hämmer		
Mechanisch (kontinuierlich wirkend)	Pressen	Ziehmaschinen	Walzwerke
Pneumatisch		Vakuumumform-anlagen Explosions-Umformanlagen	
Hydroelektrisch		Hydroelektrische Umformanlage	
Elektro-magnetisch		Elektromagnet. Umformanlage	

Tabelle 26.2. Systeme der Umformtechnik

Die Einteilung der Umformsysteme nehmen wir nach den Kriterien der Werkzeugbewegung und der Art der Operationsenergie vor. Wir weichen damit von der Systematik der Umformverfahren (s. Kap. 7.9.3.) ab, um Überschneidungen zu vermeiden, die sich daraus ergeben, dass z.B. Druck- und Zugdruckverfahren - wie Schmieden und Tiefziehen - auf dem gleichen Maschinentyp (der Presse) durchgeführt werden können (Tabelle 26.2.).

Hämmer sind mechanisch wirkende Umformsysteme mit geradliniger Werkzeugbewegung und periodischer Druckeinwirkung auf das Werkstück, d.h. Hämmer verrichten Schlagarbeit. Sie werden für Freiformschmieden und Gesenkschmieden eingesetzt. Der prinzipielle Aufbau der mechanischen Hämmer ist aus Abb.

26.10. ersichtlich. Das Arbeitsorgan wird von dem Untersattel (d.i. der Ambos auf dem das Schmiedestück ruht) und dem Obersattel, der am Hammerbär befestigt ist, gebildet. Der Hammerbär mit dem Obersattel wird von einem Antrieb, der bei den verschiedenen Hammertypen unterschiedlich ist, angehoben. Er kann durch Zugmittel oder durch Dampfkraft angehoben werden. Das ganze System ruht auf dem meist federnd gelagerten Fundament mit der Schabotte. Die beim Herabfallen und Auftreffen auf den Arbeitsgegenstand freiwerdende Energie bewirkt die Umformung des Werkstücks. Dem Bär kann zusätzliche Bewegungsenergie durch Federkraft, Dampf oder Luftdruck vermittelt und so seine Leistung vergrößert werden. Nach der Art der Energieübertragung auf den Hammerbär unterscheidet man Fallhämmer, Oberdruckhämmer, Federhämmer und Gegenschlaghämmer. Die einzelnen Hammertypen haben eine unterschiedliche Bärmasse und Schlagzahl.

Pressen sind mechanisch wirkende Umformsysteme mit geradliniger Werkzeugbewegung und kontinuierlicher Einwirkung auf das Werkstück, d.h. sie verrichten Druckarbeit. Sie werden zum Druck- und Zugdruckumformen eingesetzt. Nach der Art des Antriebs werden verschiedene Pressentypen unterschieden: Exzenterpresse, Kurbelpresse, Kniehebelpresse. Reibspindelpresse, hydraulische Presse (Abb.26.9.).

Charakteristische Leistungsdaten für alle Pressen sind die Anzahl der Arbeitshübe je Minute und die Presskraft. Das Arbeitsprinzip der Pressen: Der Arbeitsgegenstand wird auf dem am Pressentisch befestigten Untersattel positioniert. Der Obersattel sitzt am Presslunger, der hydraulisch nach unten bewegt wird und mit gleichbleibender Kraft auf das Werkstück drückt. Eine ebenfalls hydraulisch arbeitende Rückzugsvorrichtung hebt den Presslunger danach wieder an.

Hämmer und Pressen können sowohl für das Freiformschmieden wie auch das Gesenkschmieden eingesetzt werden. Freiformschmiedeteile sind Rohlinge geringer Stückzahl oder großer Abmessungen, wie Schiffswellen und große Kurbelwellen.

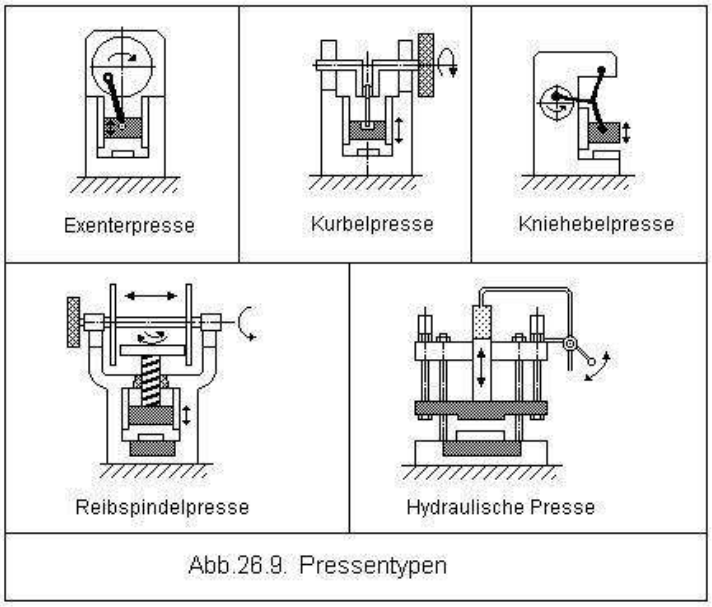


Abb.26.9. Pressentypen

Beim Gesenkschmieden werden Metallrohlinge im bildsamen Zustand (d.h. bei Schmiedetemperatur) unter Pressendruck in eine Hohlform gedrückt und erhalten so die gewünschte Form. Es findet wegen der hohen Kosten für das Gesenk nur in der Serien- und Massenfertigung Anwendung.

Gesenke sind im Prinzip Stahlblöcke, in die eine dem Gesenkschmiedestück entsprechende Hohlform (Gravur) eingearbeitet ist. Als Werkstoff für Gesenke werden hochverschleißfeste und warmfeste Stähle benötigt, die mit Nickel, Chrom, Vanadium und Molybdän legiert sind. Bei den Gesenkwerkzeugen unterscheidet man ähnlich wie bei den Gießformen offene und geschlossene Gesenke.

In Pressen werden weiterhin *Fließpresswerkzeuge* eingesetzt. Sie bestehen aus einer Matrize und einem Stempel, die aus legierten Stählen oder Hartmetall gefertigt sind. Ausgangsformen der Werkstücke sind Scheiben, Stangenabschnitte oder vorgepresste Teile. Sie werden zwischen Stempel und Matrize unter hohen Druck umgeformt (Abb. 26.10.)

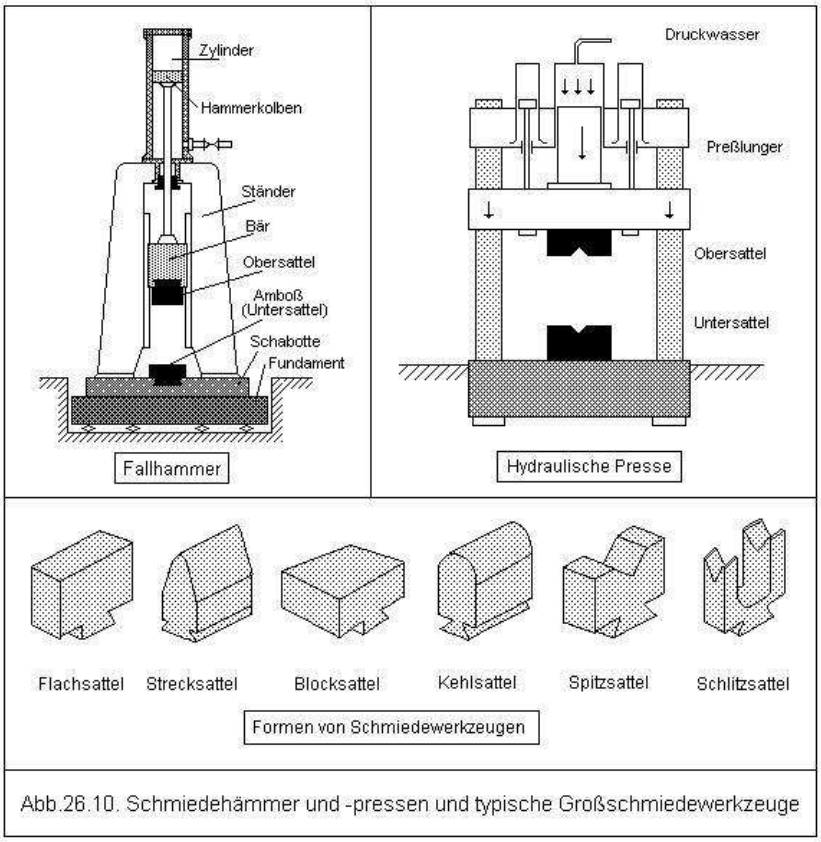


Abb.26.10. Schmiedehämmer und -pressen und typische Großschmiedewerkzeuge

Strangpresswerkzeuge bestehen ebenfalls aus Matrize und Stempel. Die Matrize ist der wichtigste Werkzeugteil, weil sie die Querschnittsform des Strangs bestimmt und den Werkstofffluss stark beeinflusst. Ihre Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Belastung und Verschleißbeanspruchung bei höheren Temperaturen muss besonders groß sein. Der umzuformende, meist vorgewärmte Materialblock wird aus dem Blockaufnehmer vom Pressstempel durch die Öffnung der Matrize zu Voll- oder Hohlprofilen gepresst.

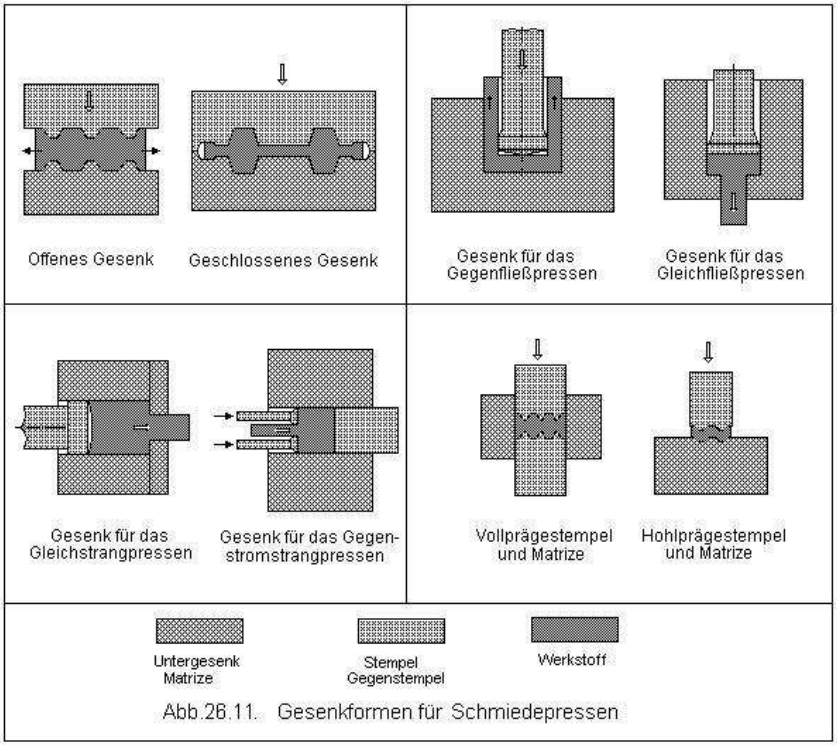


Abb.26.11. Gesenkformen für Schmiedepressen

Prägewerkzeuge dienen zu Herstellung von Prägeteilen (z.B. Münzen, Medaillen, Kennzeichnung oder Verschönerung von Werkstücken). Scheibenförmige Blechplatinen werden zwischen Matrize und Stempel des Werkzeugs umgeformt. Man unterscheidet zwischen Voll- und Hohlprägen (Abb. 26.11.).

Ziehmaschinen sind mechanisch wirkende Umformsysteme mit stillstehendem Werkzeug und kontinuierlicher Kraftwirkung. Die Operationsenergie (Zugkraft) wird über den bereits umgeformten Werkstoff übertragen. Ziehmaschinen weisen als Hauptfunktionsgruppen auf: das Ziehwerkzeug (Ziehdüse), die Zuführungs- und Positioniereinheit vor dem Werkzeug und die Abzugsvorrichtung, die als Ziehwagen mit Schleppzange, Ziehkette und Kettenrad (bei Rohr- und Formstangenziehmaschinen) oder als Ziehtrommel mit Antriebseinrichtung für das Durchziehen der Materials durch die Ziehdüse (bei Drahtziehmaschinen) gestaltet sein kann. Das Kettenrad wird von einem Elektromotor über ein Getriebe bewegt. Ziehmaschinen mit einer Nutzlänge von 8 m entwickeln Zugkräfte von 0,5 bis 60 Mp. Die Ziehgeschwindigkeit beträgt 3 bis 50 mm / min. Im Einzelnen unterscheiden wir Rohrziehmaschinen, Formstangenziehmaschinen und Drahtziehmaschinen (Abb. 26.12.).

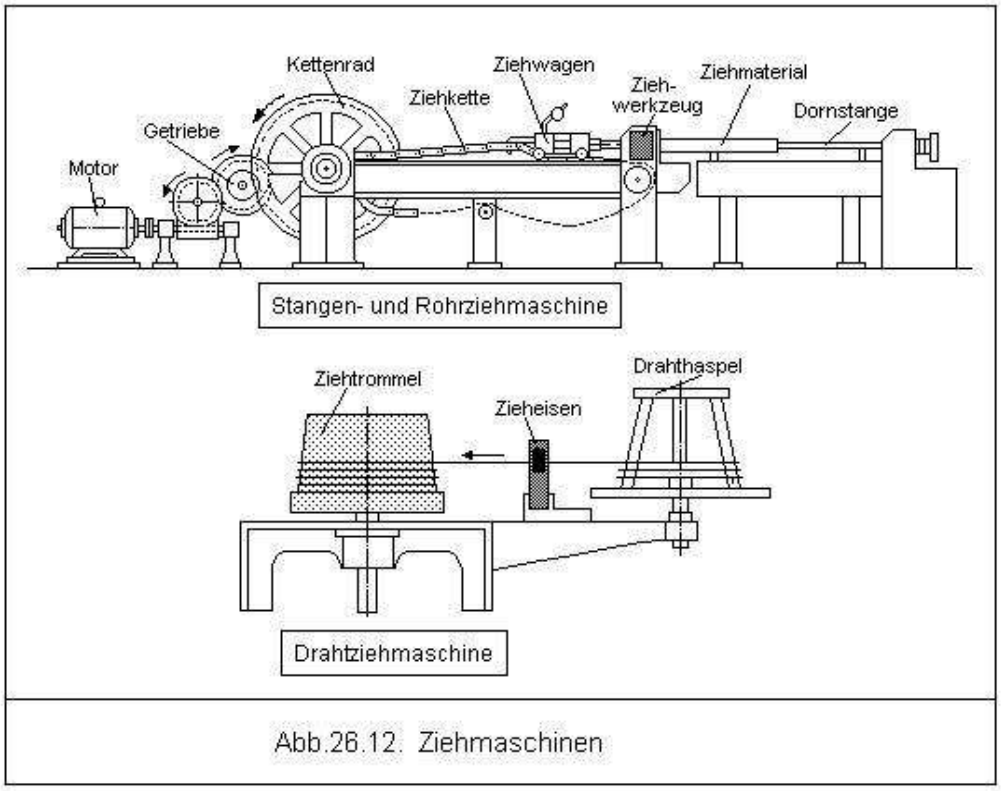


Abb.26.12. Ziehmaschinen

Walzwerke sind mechanisch wirkende Umformsysteme mit umlaufenden Werkzeug und kontinuierlicher Kraftwirkung, z.B. Halbzeugstraßen, Blechwalzwerke, Profilwalzanlagen, Rohrwalzwerke, Gewindewalzmaschinen, Bördelmaschinen. Sie dienen zur Herstellung von Halbzeugen (Brammen, Platinen, Knüppel, Bleche, Formstähle, Rohre, Draht), sowie zur Gewindeherstellung und zum Biegen und Bördeln. Der prinzipielle Aufbau von Walzwerken wird durch das in ein Gerüst eingespannte Walzenpaar (Arbeitsorgan) charakterisiert. Auf dem Rollgang (Positionierungsorgan) wird das Walzgut zugeführt. Der Drehsinn der Walzenpaare kann umgekehrt werden. Das Duowalzwerk ist die verbreitetste Form von Walzwerken (Abb. 26.13.). Es sind aber auch Walzwerke mit 3 bis 12 Walzen im Einsatz (Triowalzwerke, Quartowalzwerke, Quartotandemwalzwerke, Universalwalzwerke). Die Walzen können nach der zu leistenden Umformungsarbeit sehr unterschiedliche Form haben: glatte Walzen für die Bleche und Bandstahl, Kaliberwalzen für Halbzeug und Formstahl, Formwalzen für Rohre, Kegel- und Scheibenwalzen für Radscheiben und Bandagen.

Neben die mit mechanischer Operationsenergie arbeitenden Umformsysteme treten mit der wissenschaftlich-technischen Entwicklung zunehmend auch solche, die mit pneumatischer, hydraulischer und elektromagnetischer Energie operieren. Sie entsprechen dem Trend nach höheren Umformgeschwindigkeiten und nach der umformenden Herstellung auch komplizierterer Fertigteilformen.

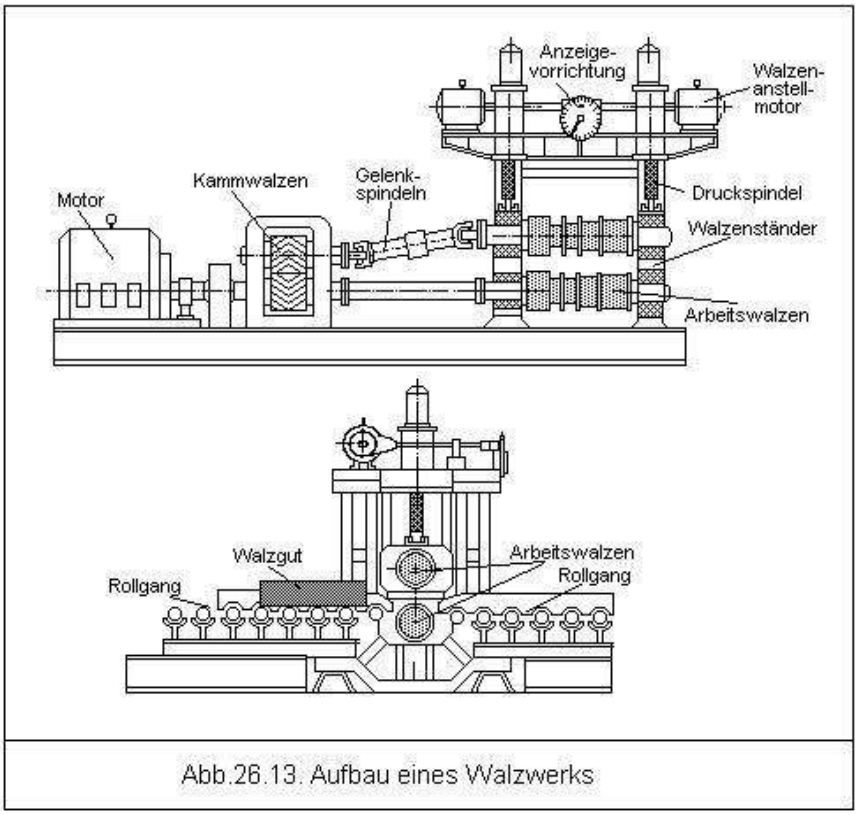


Abb.26.13. Aufbau eines Walzwerks

Druckluft- und Vakuumumformsysteme werden vor allem bei den Thermoplast- und Glasformgebung eingesetzt. Die durch thermische Aufheizung plastisch gemachten Halbzeuge werden mittels Druckluft bzw. Unterdruck in feststehende Formen gepresst oder gezogen (Abb. 26.14).

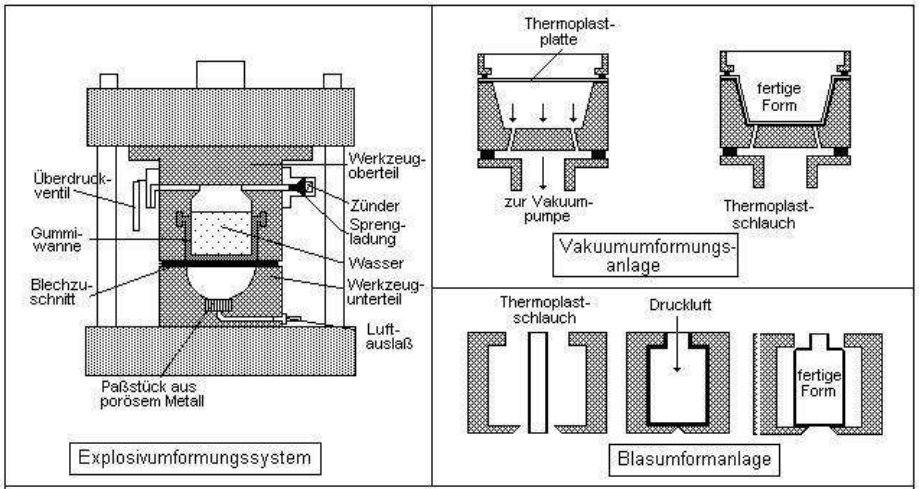


Abb.26.14. Pneumatische Umformungssysteme

Explosivumformungsanlagen sind pneumatisch wirkende Umformsysteme mit feststehendem Werkzeug, bei denen durch genau dosierte Sprengstoffdetonation eine Druckwelle ausgelöst und über ein Wirkmedium (z.B. Wasser) auf das Werkstück übertragen wird.. Der Rohling wird mit hoher Geschwindigkeit in eine Form gepresst (Abb. 22.14.).

In *Magnetumformungsanlagen* wird die Druckwelle durch die Entladung hoher Energien über eine Magnetspule hervorgerufen. *Elektrohydraulische Umformungsanlagen* nutzen Schockwellen, die bei der Entladung hoher elektrischer Energie in Unterwasserfunkenstrecken entstehen.

26.2.4.Technische Systeme zum Trennen

Die technischen Systeme zum Trennen haben die Aufgabe, die Form fester Arbeitsgegenstände durch örtliche Aufhebung des Stoffzusammenhalts zu verändern. Die Aufhebung des Stoffzusammenhalts kann sowohl durch mechanische Operationsenergie (Zerteilen und Spanen) oder durch chemische, thermische, elektrische und Strahlungsenergien (Abtragen) erfolgen.

Typisch für die Arbeitsorgane der Trennsysteme ist, dass sie im Allgemeinen (anders als bei der Mehrzahl der Urform- und Umformwerkzeuge) eine geringe Formspeicherung aufweisen. Das hat zur Folge, dass einerseits sehr vielfältige Werkstückformen mit dem gleichen Werkzeug hergestellt werden können, anderseits aber ein komplizierter Bewegungsablauf (mit entsprechendem Getriebeaufwand) realisiert werden muss.

Für die Einteilung der technischen Systeme zum Trennen legen wir die Art der Operationsenergie zugrunde. Weitere Kriterien sind die Grundform der Trennwerkzeuge und die Spanbildung (Tabelle 26.3.).

Art der Operationsenergie	Grundform des Arbeitsorgans			
	einschneidig mit geometrisch bestimmter Schneide		mehrschneidig mit geometrisch bestimmter Schneide	mehrschneidig mit geometrisch unbestimmter Schneide
Mechanisch	ohne Spanbildung	mit Spanbildung		
	Scheren Messer Locher	Hobelmaschine Bohrmaschine Drehmaschine	Fräsmaschine Sägemaschine	Schleifmaschine
Nichtmechanisch	Wirkenergie			
	elektrochemisch	funkenelektrisch	thermochemisch	strahlungsthermisch
	Elysiermaschine	Elektroerodiermaschine	Brennschneidmaschine	Plasmaschneidmaschine
	hydromechanisch			
	Wasserstrahlschneidanlage			

Tabelle 26.3. Übersicht über technische Systeme zum Trennen

In ihrem Grundaufbau weisen mechanische Trennsysteme (Maschinen zum Zerteilen und Spanen) wesentliche Unterschiede zu den nichtmechanischen (Anlagen zum Abtragen) auf.

Für die mechanischen Trennsysteme sind folgende Funktionsgruppen typisch:

- das Arbeitsorgan (Maschinenwerkzeug), mit dem der Arbeitsgegenstand verändert wird,
- die Werkzeugspann- und -führungseinrichtungen (FüO)
- die Spanneinrichtungen (Positionierungsorgan) für die richtige Bearbeitungsposition des Arbeitsgegenstandes,
- das Getriebe (Übertragungsorgan) für die Bereitstellung der jeweils benötigten Formen der Operationsenergie (translatorische und rotatorische Bewegung, Drehzahl, Drehrichtung) und der Bewegungen von Arbeits- und Positionierungsorgan. Es wird zwischen Hauptgetrieben und Nebengetrieben unterschieden,
- das Antriebsorgan, das die Operationsenergie liefert. Es ist im Allgemeinen ein Elektromotor. Es gibt Maschinen mit Einzelantrieb und Mehrmotorenantrieb.
- das Steuerungsorgan für das koordinierte Zusammenspiel und den technologisch notwendigen Ablauf der Bewegungen im Gesamtsystem,
- das Stützorgan (Maschinenbett, Gestell, Ständer), das die einzelnen Funktionsgruppen aufnimmt, sie trägt und stützt.

Bei den auf mechanischen Wirkprinzipien beruhenden Trennmaschinen ist die *Grundwirkform der Arbeitsorgane* der Keil. Als Grundformen können unterschieden werden:

- einschneidige Werkzeuge mit geometrisch bestimmter Schneide (Schermesser, Drehmeißel, Hobelmeißel)
- mehrschneidige Werkzeuge mit geometrisch bestimmter Schneide (Bohrer, Sägeblatt, Fräser)
- Werkzeuge mit geometrisch unbestimmter Schneide (Schleifkörper)

Die Werkzeuggrundform bei technischen Trennsystemen auf der Basis nichtmechanischen Wirkprinzipien ist nicht so einheitlich festzulegen, weil der Abtragevorgang immer über stoffliche oder energetische Wirkmedien erfolgt (Elektrolyt und Dielektrikum, elektrischer Funken, Plasmastrahl, Elektronenstrahl, Hochdruck-Wasserstrahl mit Schneidsand). Das Arbeitsorgan ist jeweils so gestaltet, dass das Wirkmedium in einem feinen Strahl die Abtragung des Werkstoffs bewirken kann.

Im Folgenden werden wichtige Trennmaschinentypen charakterisiert.

Schermaschinen zerteilen den Arbeitsgegenstand ohne Spanbildung zwischen den Schneiden des Schermessers. Die keilförmigen Schneiden können als Langmesser (bei Tafelscheren), als Kurzmesser (Knüppelscheren, Knabberscheren), als Kreismesser (Kurvenscheren) oder als formgebundene Schneidwerkzeuge (Lochscheren,) ausgebildet sein. Die auf das Obermesser auszuübende Druckkraft wird bei den Scheren technisch in gleicher Weise wie bei den Pressen realisiert.

Hobelmaschinen sind sowohl in der Metall- wie in der Holzverarbeitung verbreitet. In der Metallbearbeitung dienen sie zur Bearbeitung langer ebne Flächen und langgestreckter Profile (z.B. Führungsbahnen von Maschinenbetten, Aufspannflächen von Maschinentischen). Es gibt nach der Hauptbewegung des Arbeitsorgans Waagerecht- und Senkrechtstoßmaschinen. Charakteristische Funktionsgruppen von Waagerecht-Stoßmaschinen (Kurzhobelmaschinen) sind: der Hobelmeißel (AbO), der am Werkzeugträger des Stößelkopfes befestigt ist. Er führt die hin- und hergehende Hauptbewegung aus. Der Arbeitsgegenstand wird auf dem Maschinentisch festgespannt, der seitlich und in der Höhe beweglich ist. Die Zustellung erfolgt von Hand oder über einen selbsttätigen Vorschub. Senkrecht-Stoßmaschinen werden zur Herstellung unrunder Aussparungen und Durchbrüche (z.B. bei Passfedernuten, Durchbrüche für Schnitte) eingesetzt.

Dazu ist der Maschinentisch als drehbarer Rundtisch mit Teilkreiseinrichtung gestaltet. Er kann auf einem Kreuzschlitten längs und quer bewegt werden. Als Antrieb dienen Elektromotoren. Das Übertragungsorgan umfasst das Hauptgetriebe mit Schieberadgetriebe zur Veränderung der Motordrehzahl und der schwingenden Kurbelschleife (oder ein hydraulisches Getriebe) und das Vorschubgetriebe. Für die Bearbeitung großer Werkstücke (z.B. Maschinenständer, Maschinenbetten, Fundamentplatten) bedient man sich der Hobelmaschinen. Bei ihnen führt das Werkstück die Hauptbewegung aus. Die Zustell- und Querbewegung erfolgt über getrennt voneinander einstellbare Werkzeugsupporte an den Ständern und am Quersupport (Abb. 26.15.).

Holzhobelmaschinen (Abrichthobelmaschinen, Dickenhobelmaschinen) sind für die Bearbeitung von Brettern und Leisten ausgelegt. In Unterschied zu den Metallbearbeitungs-Hobelmaschinen sind sie mit umlaufenden Hobelmessern ausgestattet. Bei Abrichthobelmaschinen sind auf einem schweren gusseisernen Ständer höhenverstellbare Abrichttische für die Zu- und Abführung der Werkstücke angeordnet. Das Material wird gegen die Messerwelle gedrückt und so der Span abgetragen. Die Höhendifferenz zwischen Aufnahme- und Abgabetisch bestimmt die Spannstärke. Die Messerwelle wird über Riementrieb durch einen Elektromotor angetrieben. Ein verstellbares Anschlaglineal auf dem Werktisch dient der Werkstückführung. Bei den Dickenhobelmaschinen erfolgt der Einzug und Vorschub mechanisch durch geriffelte Einzugswalzen. Die in den Tisch eingebauten Gleitwalzen verhindern ein Festkleben nasser oder harzreicher Hölzer auf der Tischfläche. Die vor und nach der Messerwelle angeordneten Druckbalken halten das Werkstück fest auf dem Tisch.

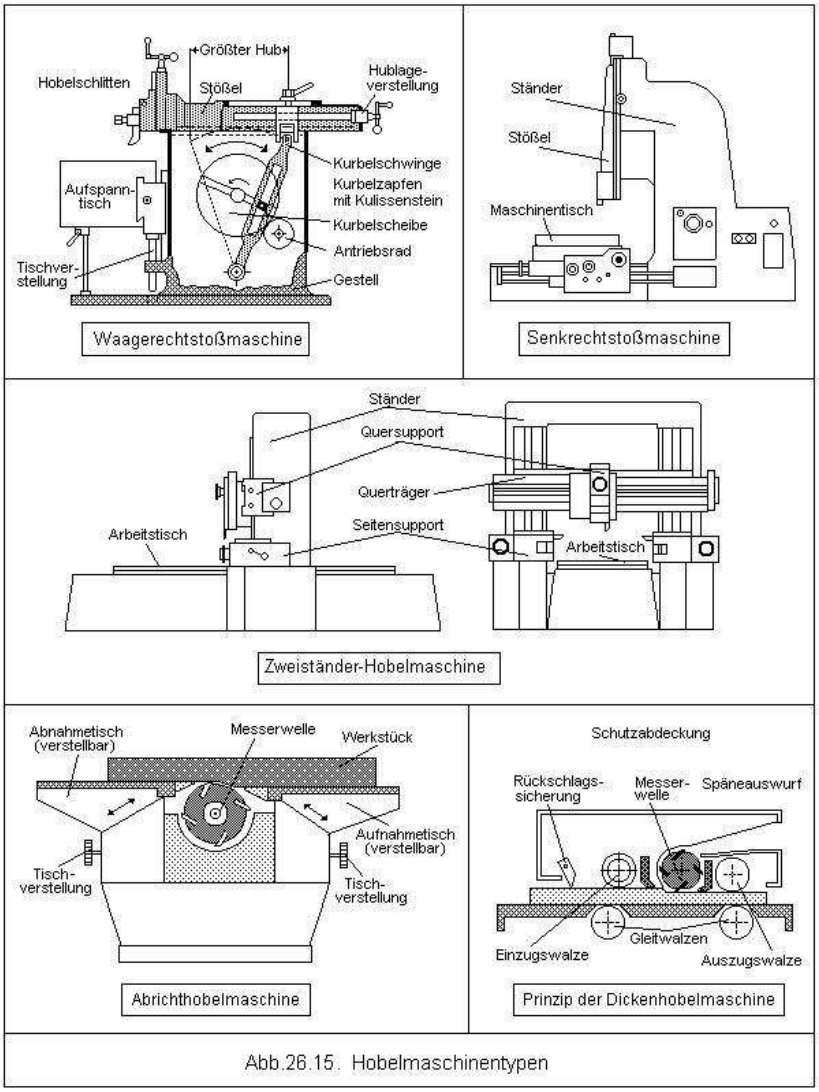


Abb.26.15. Hobelmaschinentypen

Bohrmaschinen sind Werkzeugmaschinen, mit denen zylindrische Löcher (Bohrungen) in Werkstücke eingebracht werden können. Diese Bohrungen sind vielfach Vorarbeiten für andere technologischen Verfahren, wie Nieten, Verschrauben und Gewindeschneiden. Der Grundaufbau einer Bohrmaschine umfasst im Bearbeitungsteil den Bohrer als Arbeitsorgan, das Bohrfutter mit Bohrspindel als Führungsorgan und die Werkstückaufspannplatte als Positionierungsorgan. Der Energieteil besteht aus dem (polumschaltbaren) Elektromotor als Antriebsorgan und dem Bohrspindelgetriebe mit schaltbaren Drehzahlstufen als Übertragungsorgan. Das Vorschubgetriebe ist als Element eines Steuerungsorgans aufzufassen. Beim Bohrvorgang führt die Bohrspindel mit dem Werkzeug die rotierende Hauptbewegung und die geradlinige Vorschubbewegung aus. Das Werkstück steht still. Die Spindeldrehzahl kann über ein Getriebe variiert werden. Nach Art ihrer Konstruktion und Funktion werden unterschieden: Säulenbohrmaschinen, Ständerbohrmaschinen, Radialbohrmaschinen, Waagerecht-Bohr- und Fräsmaschinen, Reihenbohrmaschinen und Mehrspindelbohrmaschinen. Weiterhin sind Handbohrgeräte, Bohrknarren und Handbohrmaschinen im Einsatz (Abb. 26.16.).

Drehmaschinen sind spanende Werkzeugmaschinen, die auf Grund ihrer vielfältigen Bearbeitungsmöglichkeiten universell einsetzbar sind. Die Hauptteile sind: das Drehmaschinenbett, der Werkzeugschlitten, der Spindelstock, das Spannzeug, der Elektromotorantrieb und der Reitstock. Der Bearbeitungsteil besteht aus dem Drehmeißel (AbO), der in den Werkzeughalter eingespannt und durch den Werkzeugschlitten (Support, FüO) bewegt wird. Der Arbeitsgegenstand wird durch das Spannzeug (Backenfutter, Planscheibe) und den Reitstock (PsO) gehalten und erhält über die Arbeitsspindel die drehende Hauptbewegung mitgeteilt. Als Antriebssystem (AnO) dient meist ein umpolbarer Elektromotor, um die Drehrichtung einfach umkehren zu können. Das Übertragungsorgan (ÜbO) besteht aus dem Hauptgetriebe, dem Vorgelege, dem Vorschubgetriebe, der Leitspindel und der Zugspindel. Von Hauptgetriebe können die verschiedenen Drehzahlen der Arbeitsspindel abgenommen werden. Das Vorgelege ermöglicht es, die im Hauptgetriebe schaltbaren Drehzahlen in einem bestimmten Verhältnis herabzusetzen und sie damit zu verdoppeln. Das Vorschubgetriebe

ist mit der Arbeitsspindel verbunden. Von ihm kann eine Antriebsbewegung auf die Leit- und Zugspindel übertragen und damit der Werkzeugschlitten bewegt werden. Als Steuerungsarten sind Anschlagsteuerungen, Nockensteuerungen, Kurvensteuerungen, Nachformsteuerungen und numerische Steuerungen im Einsatz. Drehmaschinen besitzen heute meist ein hochentwickeltes Steuerungsorgan (StO) in Form numerischer CNC-Steuerungen.

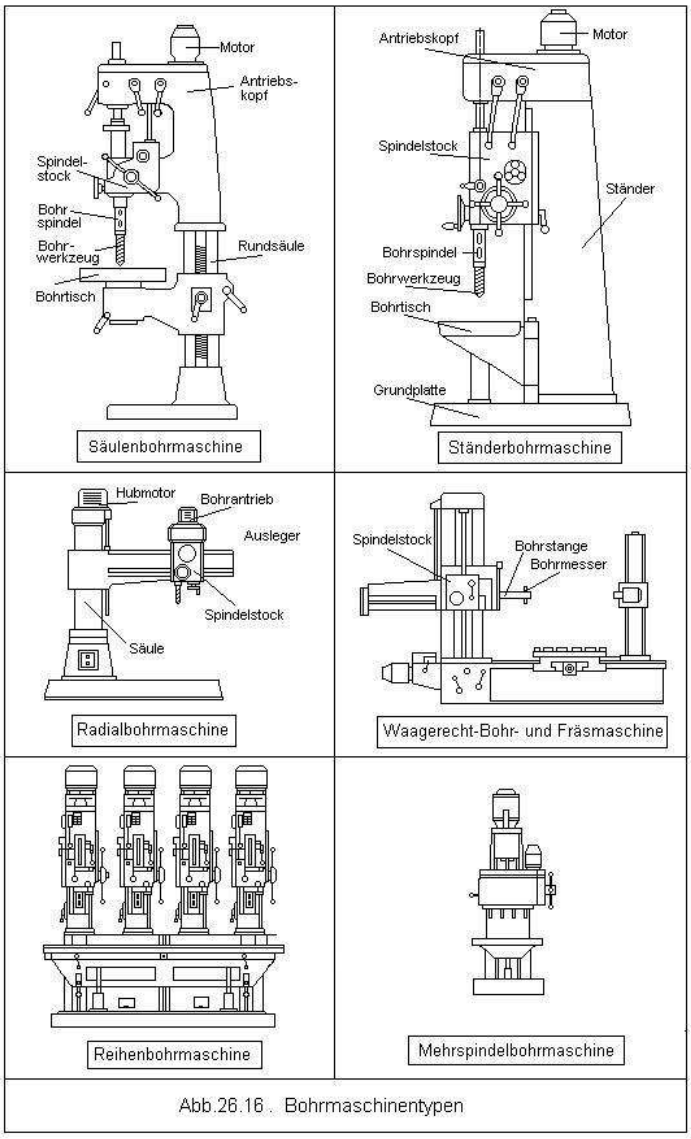


Abb.26.16 . Bohrmaschinentypen

Für die verschiedenen Einsatzgebiete dienen verschiedene Drehmaschinentypen (Abb. 26.17.):

- Universaldrehmaschinen (Leit- und Zugspindeldrehmaschinen)
- Revolverdrehmaschinen besitzen einen schwenkbaren Werkzeughalter (Revolverkopf), der mehrere Werkzeuge aufnehmen kann. Nach Beendigung eines Bearbeitungsschrittes bringt der Revolverkopf das nächste Werkzeug in Stellung. Die einzelnen Arbeitsbewegungen werden durch Anschläge begrenzt. Revolverdrehmaschinen ermöglichen mit der gleichen Maschineneinstellung die wirtschaftliche Herstellung einer größeren Zahl gleichartiger Werkstücke.
- Plandrehmaschinen besitzen eine vergrößerte Planscheibe, auf der flache Werkstücke mit größerem Durchmesser bearbeitet werden können (z.B. Schwungräder, Seilscheiben)
- Karusselldrehmaschinen werden für die Bearbeitung großer und schwerer Werkstücke eingesetzt. Sie sind an der waagerecht liegenden Planscheibe erkennbar. Sie können als Einständer- oder Zweiständermaschine ausgeführt sowie mit einem oder mehreren Werkzeugschlitten versehen sein

- Drehautomaten sind für die Herstellung von Massenprodukten ausgelegt. In ihrem Grundaufbau sind sie mit Revolverdrehmaschinen zu vergleichen. Sie können als Ein- oder Mehrspindelmaschinen konstruiert sein. Die Steuerung der Bearbeitungsabläufe erfolgt heute vorwiegend über CNC-Steuerungen.

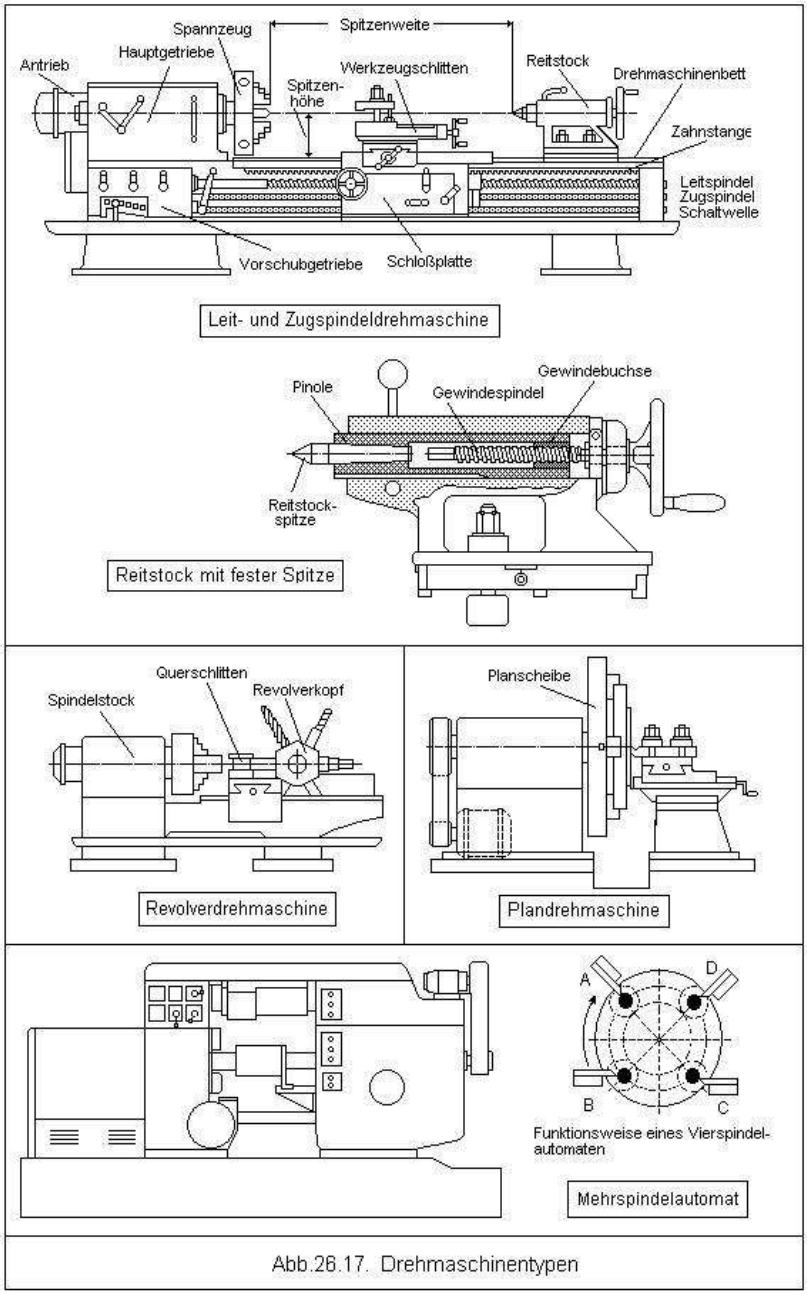


Abb.26.17. Drehmaschinentypen

Fräsmaschinen sind wegen ihrer Vielseitigkeit in allen metall- und holzverarbeitenden Betrieben zu finden. Durch Fräsen können ebene Flächen, Profile, Schwalbenschwanzführungen und Schlitze am Werkstück ebenso bearbeitet wie auch Gewinde und Zahnräder hergestellt werden.

Die charakteristischen Funktionsgruppen der Fräsmaschinen sind:

- Der Bearbeitungsteil besteht aus dem Fräser (AbO), der je nach der durchzuführenden Arbeitsaufgabe als Walzenfräser, Stirnfräser, Schaftfräser, Fingerfräser, Winkelstirnfräser oder Messerkopf gestaltet ist. Der Fräser ist mit dem Fräsdorn (FüO) lösbar verbunden. Er wird von zwei Gegenhaltern gegen Durchbiegen wegen der wirkenden Schnittkräfte gesichert. Fräser und Fräsdorn führen die drehende Hauptbewegung durch. Der Werkstücktisch mit der Konsole dient der Positionierung des Werkstücks. Er kann in drei Richtungen bewegt werden (längs, quer, auf und ab).
- Als Antriebsorgan dienen Elektromotoren (Fräsmotor und Vorschubmotor).

- Als Übertragungsorgan wirken das Frässpindel- und das Vorschubgetriebe. Das Frässpindelgetriebe stellt die jeweils erforderliche Drehzahl des Fräsers ein. Die Frässpindel nimmt in einer kegeligen Bohrung den Frädsdorn auf. Das Vorschubgetriebe wandelt die drehende Motorbewegung in die geradlinigen Vorschubbewegungen.
- Moderne Fräsmaschinen besitzen ein Steuerungsorgan, mit dem die Bearbeitungstechnologie selbsttätig ausgeführt werden kann.

Als Maschinentypen sind Senkrecht-Fräsmaschinen und Waagerecht-Fräsmaschinen zu unterscheiden. Sie besitzen ein gleichartigen Grundaufbau, unterscheiden sich aber in der Anordnung der Frässpindel (Abb. 26.18.).

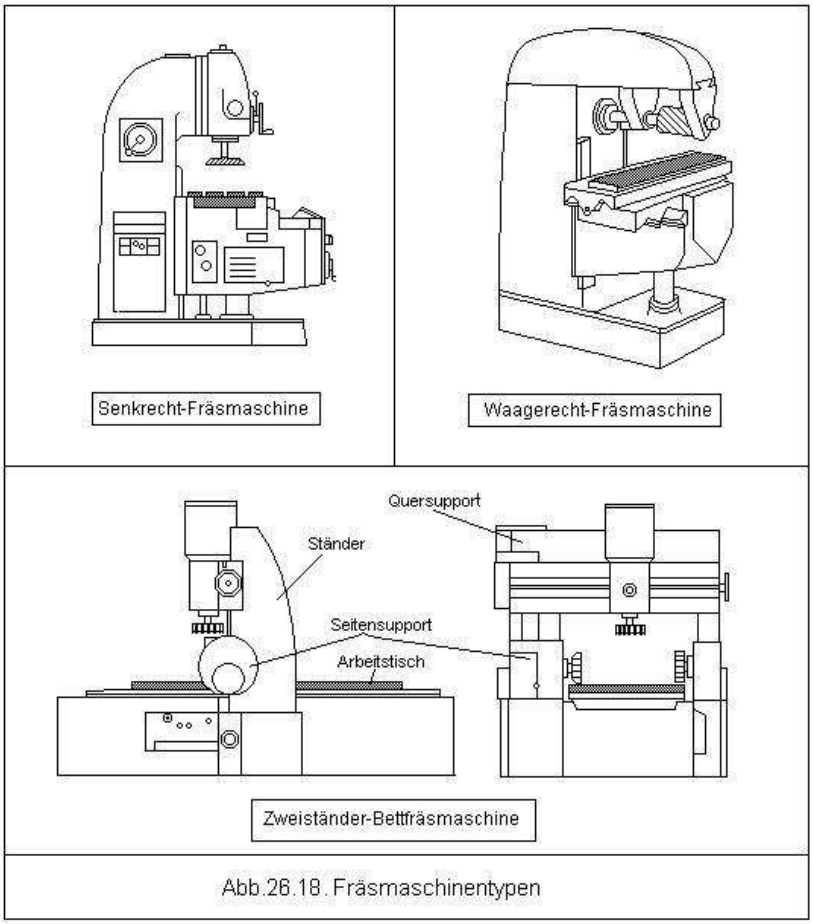


Abb.26.18. Fräsmaschinentypen

Schleifmaschinen werden zur Bearbeitung harter Werkstoffe und zur Feinbearbeitung eingesetzt, z.B. zur Bearbeitung von Wellen, Zapfen, Zylindern, Ventilen, und Wälzlagern, zum Scharfschleifen von Werkzeugen und zum Trennschleifen. Nach der Art der Einwirkung auf den Arbeitsgegenstand und der Länge der Schleifspindel unterscheidet man Waagerecht-Flachschleifmaschinen, Senkrecht-Flachschleif-Maschinen, Außen-Rundschleifmaschinen, Innen-Rundschleifmaschinen und spitzenlose Rundschleifmaschinen (Abb.26.19.).

Im Grundaufbau ähneln Schleifmaschinen den anderen spanenden Werkzeugmaschinen. Das Arbeitsorgan ist der Schleifkörper. Er ist lösbar mit der Schleifspindel verbunden und führt eine kreisende Hauptbewegung aus. Schleifkörper sind aus einem Schleifmittel und einem Bindemittel aufgebaut. Die Relativbewegungen zwischen Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand sind bei den einzelnen Schleifmaschinentypen unterschiedlich. Bei der Senkrecht-Flachschleifmaschine sitzt der Schleifkörper an einer senkrecht stehenden Schleifspindel und arbeitet mit der Stirnfläche. Sie führt die drehende Hauptbewegung und die senkrechte Vorschubbewegung aus. Das Werkstück ist auf dem Schleiftisch festgespannt, der sich in Längs- und Querrichtung bewegen läßt. Die Senkrecht-Flachschleifmaschine wird vorzugsweise für die Bearbeitung langer und breiter ebener Flächen eingesetzt. Bei der Waagerecht-Flachschleifmaschine ist die Schleifspindel waagerecht angeordnet. Außenrundschleifmaschinen, die hauptsächlich zur Bearbeitung zylindrischer Teile eingesetzt werden, haben eine feststehende, waagerecht gelagerte rotierende Schleifspindel.

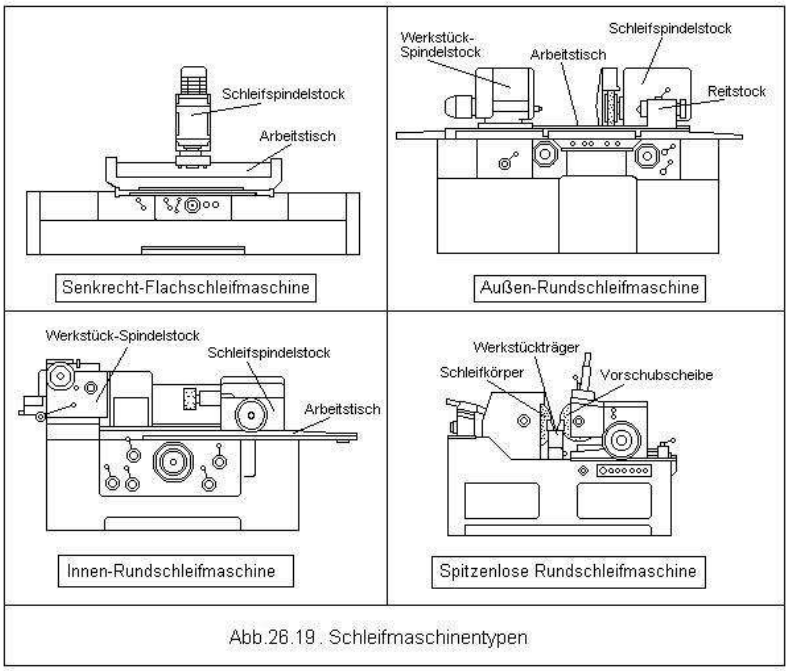


Abb.26.19 . Schleifmaschinentypen

Der Arbeitsgegenstand ist zwischen Spitzen drehend eingespannt. Der Arbeitstisch führt die Hin- und Herbewegung aus und führt so das Werkstück am Schleifkörper entlang. Bei Innen-Rundschleifmaschinen für die Bearbeitung von zylindrischen Innenflächen (z.B. bei Motoren- und Hydraulikzylindern) gleitet der Schleifspindelstock auf dem Maschinentisch hin und her, so dass der Schleifkörper die gesamte Innenfläche überstreichen kann. Der Schleifkörper rotiert ebenfalls. Das Werkstück ist im Spannzeug des Werkstückspindelblocks drehend eingespannt.

Das Übertragungsorgan ist an großen Schleifmaschinen meist eine Hydraulikanlage. Das garantiert eine weiche und stoßfreie Kraftübertragung, die Voraussetzung für einwandfrei geschliffene Flächen ist. Als Antriebsorgane fungieren Elektromotoren. Neben dem Schleifmotor für die Hauptbewegungen ist ein Pumpenmotor für den Ölumlauf der Hydraulikanlage vorhanden.

Sägemaschinen sind insbesondere in der in der holzverarbeitenden Industrie verbreitet. Sie dienen dort zum Trennen von Werkstoffen aus Holz, aber auch zum Trennen von Plastwerkstoffen. Nach der Gestaltung und Wirkungsweise des Arbeitsorgans werden Kreissägemaschinen und Bandsägemaschinen unterschieden. In der metallverarbeitenden Industrie werden hydraulische Kreissägemaschinen für das Ablängen von Stangenmaterial aus Stahl und Nichteisenmetallen verwandt (Abb. 26.20.).

Kreissägemaschinen dienen zur Durchführung geradliniger Längs-, Quer-, Schräg- und Gehrungsschnitte. Sie bestehen aus einem kastenförmigen Graugussgestell mit einem fest verbundenen Maschinentisch. Auf ihm ist meist ein Roll- bzw. Schiebetisch für die Materialzuführung angeordnet Das Kreissägeblatt wird direkt von einem Elektromotor angetrieben. Beide sind höhenverstellbar. Für schräge Schnitte kann die Sägewelle bis zu 45° geneigt werden.

Auf *Bandsägemaschinen* können neben geradlinigen Schnitten auch Schweifungen ausgearbeitet werden. An dem Maschinengestell sind zwei übereinander liegende Bandsägerollen und der Maschinentisch angeordnet. Die obere Rolle dient als Spannrolle. Rollenführungen oberhalb und unterhalb des Maschinentisches verhindern eine Auslenkung des Sägebandes (Abb.26.20.).

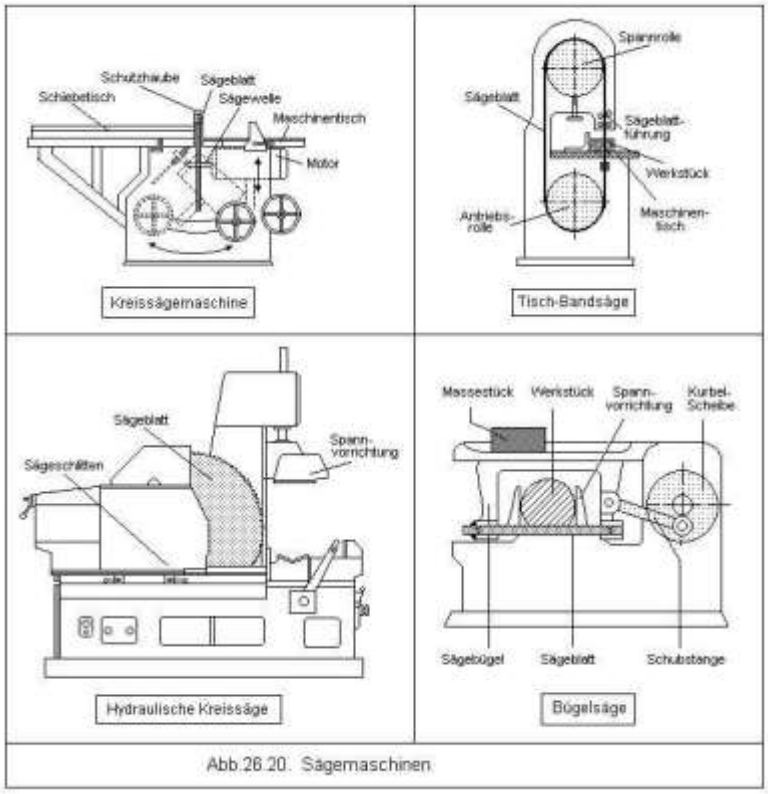


Abb.26.20. Sägemaschinen

Unter **technischen Systemen zum Abtragen** fassen wir alle Trennsysteme zusammen die mit nichtmechanischer Operationsenergie arbeiten und dabei keine Späne bilden. Dazu gehören Elektroerosionsmaschinen, Ultraschallerosionsanlagen, Elysieranlagen, Brennschneid-, Wasserstrahl- und Plasmaschneidanlagen.

Ultraschallbearbeitungsanlagen nutzen den Schallstrahlungsdruck und die Kavitation zur Abtragung von Werkstückoberflächen (Ultraschallerosion). Sie werden vor allem für die Herstellung von Einsenkungen und Durchbrüchen mit unregelmäßigen Profilen eingesetzt und können sowohl elektrisch leitende wie auch nichtleitende (Glas, Keramik, synthetische Edelsteine) Werkstoffe bearbeiten. Die Schallfrequenzen liegen zwischen 20 kHz und 10 Ghz. Das Arbeitsorgan ist der Schwingkopf mit dem hart aufgelöteten Werkzeug. Er wird mit Federkraft oder hydraulisch auf das Werkstück gedrückt und durch einen HF-Generator in Schwingungen versetzt. In die Wirkfuge zwischen Werkzeug und Werkstück fließt gleichzeitig eine Schleifpaste (Aufschlämmung von Borkarbid in Wasser oder Öl). Die Schwingungen saugen die Paste an und pressen sie wieder nach außen. Durch die Schleifwirkung wird das Material abgetragen und von der abströmenden Aufschlemmung abtransportiert.

Elektroerosionsanlagen werden zur Bearbeitung härtester metallischer Werkstoffe und für das Herausarbeiten kompliziertester Konturen, Einsenkungen und Durchbrüche eingesetzt. Sie bestehen aus einem wannenförmigen Behälter, der mit einem Dielektrikum gefüllt ist. In ihm sind das Werkstück und das Werkzeug als Elektrodenpaar geschaltet. Ein Funkenimpulsgenerator erzeugt nichtstationäre elektrische Entladungen im Spalt zwischen Werkstück und Werkzeug mit Spannungen über 20 V, die die Abtragung von Werkstoffteilchen bewirken.

Elysieranlagen beruhen auf elektrochemischen Wirkprinzipien. Sie sind ähnlich aufgebaut wie Elektroerosionsanlagen. Das Werkzeug (Kathode) und das Werkstück (Anode) werden in einem Elektrolytbad in einem Gleichstromkreis verbunden. Bei Spannungen bis zu 30 V und Stromstärken von mehreren hundert A wird von der Werkstückoberfläche Material abgetragen (Abb.26.21.).

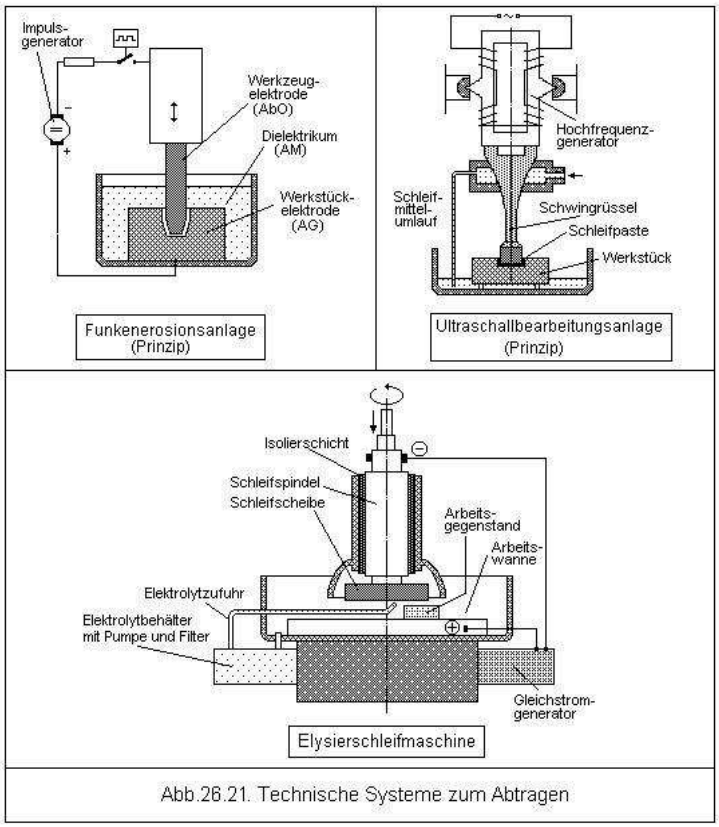


Abb.26.21. Technische Systeme zum Abtragen

Brennschneidgeräte und -anlagen bestehen aus einem Brenner, der mit Vorratsbehältern für Brenngas und Sauerstoff über Schlauchleitungen verbunden ist. Die Flamme am Brenner erhitzt das zu trennende Metall, Sauerstoff im Überschuss oxidiert den Werkstoff an der Trennstelle und bläst die Teilchen fort.

Plasmaschneidanlagen besitzen ein Brennersystem, das zwischen einer Wolframelektrode und einer Ringelektrode mit Düsenöffnung einen Lichtbogen ausbildet. In ihm wird ein Gas (Argon, Helium, Stickstoff) hocherhitzt und ionisiert. Es tritt unter Druck (bis 10 at) aus der Düse aus, schmilzt an einer schmalen Stelle das Material und bläst es fort. Plasmatrennanlagen werden vor allem für hochschmelzende und sehr harte Materialien eingesetzt.

Wasserstrahlschneidanlagen trennen das Material durch einen Hochdruckwasserstrahl, dem Schneidsand zugefügt wird. Sie werden insbesondere für Baugruppen aus Edelstahl, Legierungen aus Titan, Chrom, Nickel- und Kobalt, Verbundwerkstoffen, Baustoffen, Verbundgläsern und Hartgestein eingesetzt.

26.2.5. Technische Systeme zum Zerkleinern

Technische Systeme zum Zerkleinern haben die Aufgabe, Feststoffe unter weitgehender Aufhebung des Stoffzusammenhalts in eine stückige, körnige oder pulverige Form überzuführen. Das geschieht mittels Druck-, Schlag- und Prallenergie oder durch Scher-, Knick- und Reibekräfte. Diese Kräfte werden vorwiegend in Form festkörpermechanischer Energie realisiert, neuerdings werden auch hydromechanische und pneumato-mechanische Wirkprinzipien genutzt.

Zerkleinerungsmaschinen dienen vor allem für die Aufbereitung bergmännisch gewonnener Rohstoffe (Kohle, Erze, Salze), zur Aufarbeitung von Zwischenprodukten und zur Herstellung handelsüblicher Korngrößen von Produkten (z.B. Zement, Plastgranulate, Futtermittel, Mehl, Grieß). Technologisch sind sie oft mit Siebanlagen gekoppelt.

Charakteristisch für festkörpermechanische Zerkleinerungsmaschinen sind keil-, stempel-, walzen- oder flächenförmige Arbeitsorgane. Bei den hydro- und pneumatomechanischen Systemen bewirken hochbeschleunigte flüssige Medien (Flüssigkeitsstrahl) oder expandierende Gase die Aufhebung des Stoffzusammenhalts.

Die Einteilung der festkörpermechanischen Zerkleinerungssysteme erfolgt nach dem Wirkprinzip und dem Zerkleinerungsgrad der Produkte. Die Hauptgruppen sind Brecher, Mühlen, Zerfaserer und Schneidemaschinen.

Brecher sind technische Systeme für die Grob- und Mittelzerkleinerung von Feststoffen. Nach dem Wirkprinzip unterscheidet man Backenbrecher (Druck und Schlag), Kegelbrecher (Druck, Reiben und Scheren), Walzenbrecher (Druck und Reiben), Prall- und Hammerbrecher (Schlag und Stoß). *Backenbrecher* haben ein Arbeitsorgan, das aus einer feststehenden und einer beweglichen, mit auswechselbaren Stahlplatten bewehrten Backe besteht. Die bewegliche Backe schwingt um eine feststehende Achse. Der Antrieb erfolgt durch ein Schwungrad mit Exzenter. Die Spaltbreite am Austritt zwischen beiden Backen kann durch ein Stellteil verändert werden. *Kegelbrecher* zerkleinern durch Rotation eines Brechkegels in einem feststehenden kegelstumpfförmigen Brechmantel. Die Kegelflächen sind mit auswechselbaren verschleißfesten Platten bestückt. Die Spaltbreite lässt sich durch Heben oder Senken des Brechkegels verstellen. *Walzenbrecher* dienen der Mittel- und Feinzerkleinerung. Ihr Arbeitsorgan sind zwei gegenläufige, mit Stacheln, Nocken oder Zähnen bewehrte Walzen. Eine Walze ist federnd gelagert, um die Walzen vor dem Bruch zu bewahren, wenn zu hartes Material zwischen die Walzen gelangt. Die Spaltbreite zwischen den Walzen kann durch eine Stellmutter verändert werden. *Hammerbrecher* wirken mittels einer Vielzahl von Schlagarmen, die federnd auf einer Welle angeordnet sind, (AbO). Sie greifen bei der Rotation durch die Spalten eines Gitterrostes in den Aufgabetrichter und zerschlagen das darin befindliche Material. Das zerkleinerte Gut fällt durch die Öffnungen des Mittelrostes aus dem Brecher heraus (Abb. 26.22.).

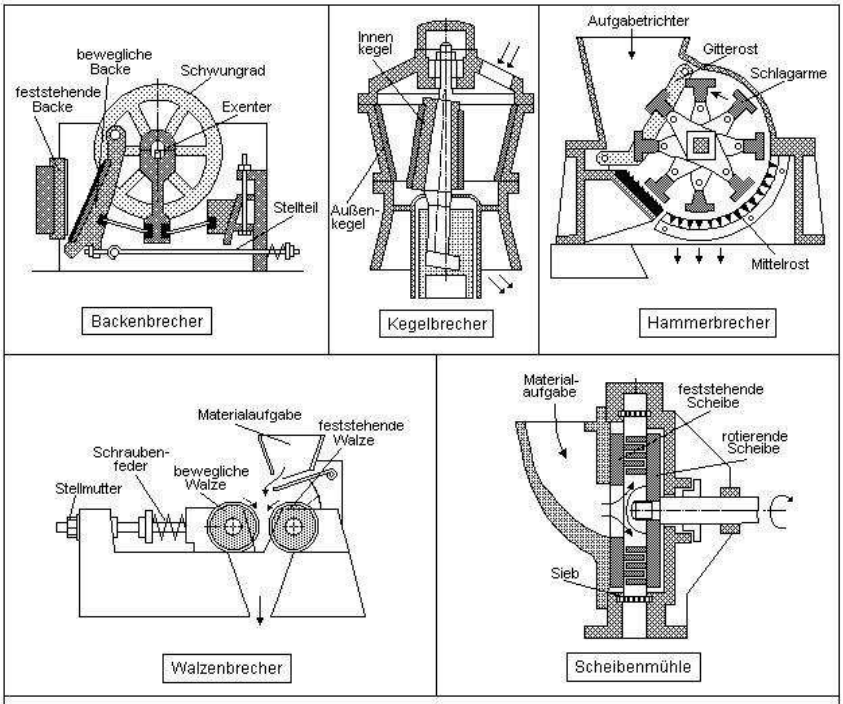


Abb.26.22. Brechertypen

Mühlen dienen der Mittel- und Feinzerkleinerung. Das Mahlen kann trocken oder nass erfolgen. Es gibt sehr viele Mühlentypen, die auf sehr unterschiedlichen Wirkprinzipien beruhen. Ihre Einteilung ist deshalb in der Fachliteratur noch nicht einheitlich. Wir führen als Hauptgruppen an Wälzmühlen, Kugelmühlen, Schlagmühlen, Ringmühlen und Strahlmühlen. *Wälzmühlen* arbeiten mit Wälzkörpern, die auf einer Mahlbahn abrollen. Kollergänge sind Beispiele für diese Mühlengruppe. *Kugelmühlen* haben rotierende rohr-, konus- oder trommelförmige gepanzerte Gehäuse, in denen als Stahlkugeln als Mahlkörper wirken. Weitere Mühlentypen sind Walzenmühlen, Scheibenmühlen, Stiftmühlen und Mahlwerksmühlen.

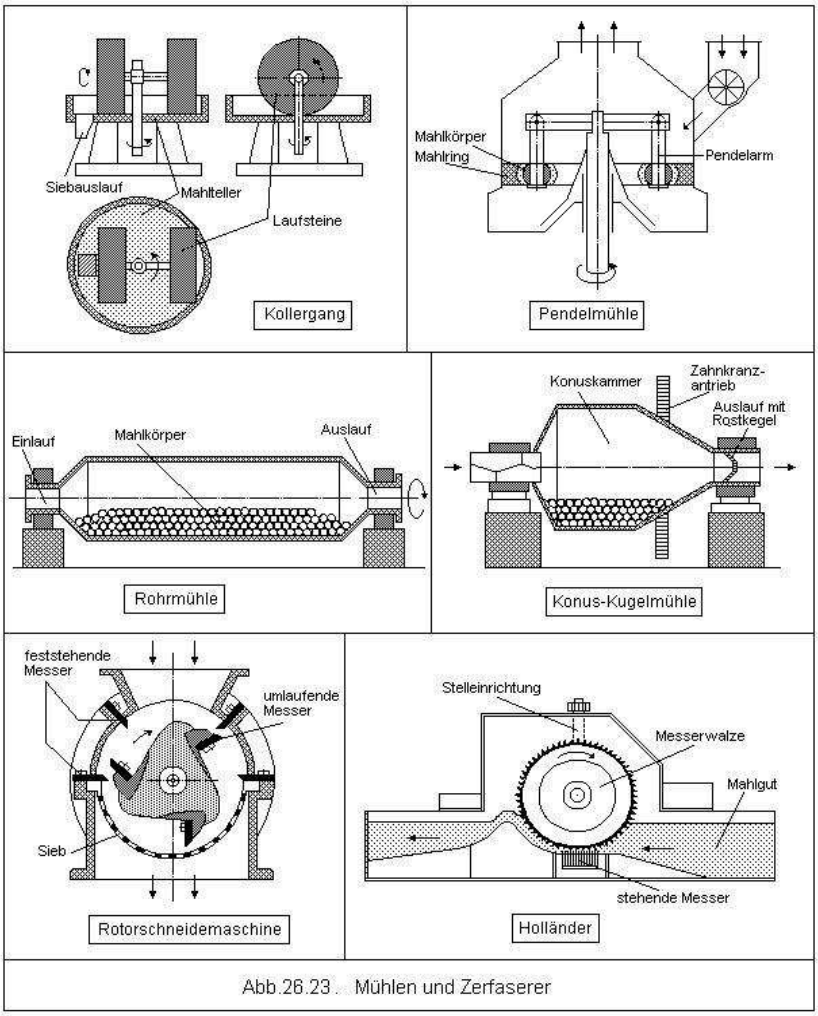


Abb.26.23. Mühlen und Zerfaserer

Zerfaserer werden für die Zerkleinerung von zähem und faserbildendem Material eingesetzt (Holz, Papier, Zellstoff, Futtermittel, Leder). *Scheiben-Reißmaschinen* haben ein Arbeitsorgan aus einem Zahnscheibenpaar mit einer rotierenden und einer stilstehenden Scheibe. Die Zähne sind in konzentrischen Ringen angeordnet und greifen ineinander. Die Zahngröße wird auf der Scheibe von innen nach außen kleiner. Das in der Mitte der Zahnscheibe aufgegebene Gut wir so auf dem Wege nach außen fein zerkleinert. In der Papierindustrie werden *Holländer* als Zerfaserer genutzt. Ihr Arbeitsorgan, eine mit Messern besetzte und gegen eine ebenfalls messerbestückte Stufe rotierende Trommel, ist in einem Ringkanal angeordnet. Das zu zerkleinernde Gut wird von den Messern erfasst, zerfasert und durchläuft den Ringkanal mehrmals, bis der gewünschte Zerkleinerungsgrad erreicht ist. Die Messerwalze kann durch eine Stelleinrichtung gehoben und gesenkt werden.

Schneidemaschinen zerkleinern zähe und feste Stoffe und haben insbesondere für die Verarbeitung und Regenerierung von Thermoplasten Bedeutung. Sie haben ein auf einer waagerecht angeordneten Welle ein zylinderförmiges, mit mehreren Messern bestücktes Schneidwerkzeug als Arbeitsorgan. Im Gehäuse der Maschine sind feststehende Gegenmesser angeordnet (Abb. 26.23.).

26.2.6. Technische Systeme zum Stoffeigenschaftsändern

Streng genommen gehören zu den stoffeigenschaftsändernden Systemen 5 selbständige Klassen (entsprechende den 5 eigenschaftsändernden Klassen von Stoffformungsverfahren):

- Technische Systeme der urformenden Stoffeigenschaftsänderung
- Technische Systeme zum Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen
- Technische Systeme zum eigenschaftsändernden Umlagern von Stoffteilchen
- Technische Systeme zum eigenschaftsändernden Aussondern von Stoffteilchen

- Technische Systeme zum zerkleinernden Eigenschaftsändern

In vielen Fällen arbeiten sie nach gleichen Wirkprinzipien wie die analogen gestaltändernden Systeme. Sie sollen deshalb hier im Wesentlichen im Überblick benannt und nur in exemplarischen Beispielen vorgestellt werden. Die Darstellung bezieht sich vor allen auf solche Systeme, die eine eigenständige Funktionsweise aufweisen.

Technische Systeme der urformenden Stoffeigenschaftsänderung sind bisher relativ wenig verbreitet. Sie haben insbesondere mit der Entwicklung der Halbleitertechnik und der damit verbundenen Notwendigkeit zur Herstellung hochreiner Werkstoffe Bedeutung erlangt. Die Herstellung von hochreinem einkristallinem Silizium geschieht in einem technischen System, das aus einem in einem Quarzrohr angeordneten hochfrequenzbeheizten Schmelztiegel (AbO) und einem Ziehgestänge besteht (s. Kap. 18.3., Abb. 18.8.). In den Tiegel wird polykristallines Silizium gegeben, aus dessen Schmelze mittels eines am Ziehgestänge befestigten Impfkristalls unter ständigem Drehen der einkristalline Siliziumstab mit den gewünschten halbleitenden Eigenschaften gezogen wird. Antriebsorgan ist die Hochfrequenzheizung. Das Ziehgestänge hat die Funktion des Positionierungsorgans.

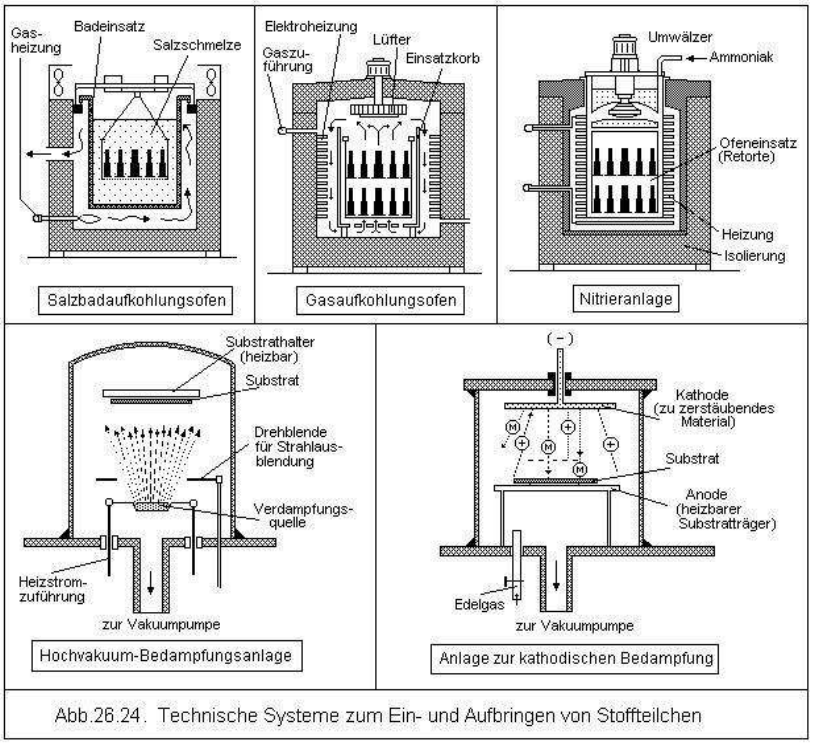


Abb.26.24. Technische Systeme zum Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen

Technische Systeme zum Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen. Diese Klasse technischer Systeme umfasst 2 von der technologischen Funktion her sehr unterschiedliche Typen. Zum einen handelt es sich um Systeme, von Stoffteilchen in feste Oberflächenschichten von Werkstücken eingebracht oder Materialschichten auf Werkstoffe aufgebracht werden. Zum anderen geht es um Maschinen und Apparate mit denen Stoffe miteinander vermischt werden, um gewünschte Verarbeitungs- oder Gebrauchseigenschaften zu erreichen. Sie sind vor allem im Bereich der Verfahrens- und Verarbeitungstechnik zu finden.

Das Einlagern von Stoffteilchen in Werkstückoberflächenzonen erfolgt durch Einbringen der Werkstücke in *Glühöfen* verschiedener Konstruktion, in denen die Werkstoffoberflächen der Einwirkung kohlenstoff- oder stickstoffabgebender Einsatzmittel (in Form von Gasen, Schmelzen oder Pulvern) ausgesetzt werden. Beim Einsatzhärten erfolgt das Aufkohlen der kohlenstoffarmen Randschichten des Stahls im Salzbad, durch Gasaufkohlen oder durch Pulveraufkohlen bei 850 bis 930°C (Abb. 26.24.).

Das Aufbringen von Stoffteilchen zur Änderung der Stoffeigenschaften dient vor allem der Oberflächenveredlung und dem Korrosionsschutz der Werkstücke. Es umfaßt eine Vielzahl von Verfahren mit sehr unterschiedlichen Wirkprinzipien wie

- das Aufbringen von Farbstoffen und Lacken durch Tauchlackieren, pneumatisches Aufspritzen und elektrostatisches Farbspritzen,
- das Aufdampfen von Metallschichten im Vakuum

- das elektrolytische Abscheiden von Metallschichten auf Werkstoffoberflächen
- das Emaillieren von Werkstoffoberflächen.

Für die Oberflächenveredlung durch Aufbringen von Lacken und Farben werden u. a. *Tauchlackieranlagen* eingesetzt. Sie bestehen aus einem wannenförmigen Behälter (AbO), in dem sich der Anstrichstoff befindet. Die Werkstücke werden über ein Fließband (PsO) in die Wanne geführt und überziehen sich beim Tauchen allseitig mit dem Lack. Der überschüssige Anstrichstoff tropft über einer Rinne ab. Die Schichtdicke des Überzuges wird von der Viskosität des Anstrichstoffes und der Benetzbarkeit des Werkstoffes bestimmt. Kleinteile (Knöpfe, Ösen, Kugeln) werden in *Trommelapparaten* beschichtet. Die rotierende Trommel enthält zu einem Drittel Anstrichstoffe. Die zu lackierenden Teile werden hinein gegeben und einige Minuten gedreht. Danach gelangen sie zum Abtropfen und Trocknen auf ein Sieb (Abb. 26.25.).

Spritzpistolen sind pneumatisch arbeitende Beschichtungssysteme. Der Lack wird über eine verstellbare Düse (AbO) mittels Druckluft zerstäubt. Besondere Düsenöffnungen für die Steuerluft (FüO) gestatten die Bildung eines Rund- oder Flachstrahls. Die Zuführungskanäle für die Druckluft bilden das Übertragungsorgan. Die Operationsenergie ist pneumatische Energie und wird über einen separaten Kompressor oder aber über eine elektrisch betriebene Pumpe bereitgestellt. Als Steuerungselemente sind die Stellschrauben für das Luftsperrventil und die Luftmenge anzusehen (Abb. 26.25.). Spritzapparate und Sprühmanipulatoren ähnlicher Konstruktion werden auch in der keramischen Industrie zum Sprüh- und Spritzglasieren der Erzeugnisse eingesetzt. Einen wesentlich geringen Verbrauch an Beschichtungsstoffen verbrauchen kontinuierlich arbeitende *elektrostatische Spritzanlagen*. Im Arbeitsraum (AbO) wird ein starkes Gleichspannungsfeld (bis zu 120 kV) erzeugt, das Positionierungsfunktion hat. Der zu spritzende Gegenstand wird als Anode geschaltet. Die eingesprühten Flüssigkeitströpfchen laden sich in dem elektrischen Feld negativ auf und werden vom Beschichtungsträger angezogen.

Für das Aufbringen dünner Metallschichten zur Oberflächenveredlung (z.B. Bedampfung von Metalloberflächen mit Aluminium zum Korrosionsschutz oder mit Titannitrid zur Oberflächenhärtung und als Schmuck) sowie bei der Herstellung integrierter Schaltkreise werden *Hochvakuum-Bedampfungsanlagen* und *Vakuum-Elektronenstrahl-Bedampfungsanlagen* eingesetzt. In einem Reaktionsraum wird das aufzudampfende Material im Hochvakuum elektrothermisch oder mittels Elektronenstrahl verdampft und gelangt so auf das zu beschichtende Substrat (Abb. 26.24.).

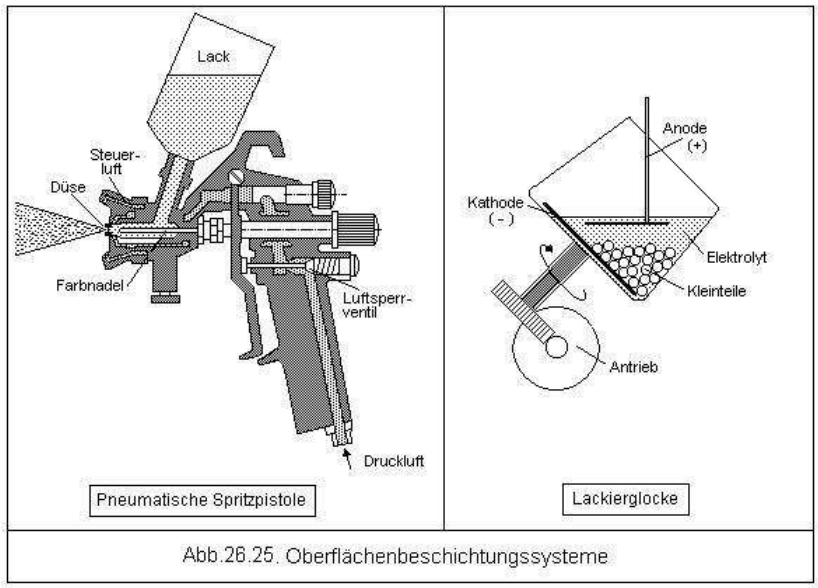


Abb.26.25. Oberflächenbeschichtungssysteme

In *Galvanisierungsanlagen* wird die Oberflächenbeschichtung elektrolytisch vorgenommen. Sie sind im Prinzip wie Elektrolysezellen der Stoffwandlungsprozesse aufgebaut. Als Beschichtungsmetalle kommen vor allem Zink, Kadmium, Kupfer, Nickel, Chrom, Zinn, Silber und Gold zum Einsatz. Die zu beschichtenden Werkstücke werden in ein galvanisches Bad eingebracht und als Kathode geschaltet. Die Anode wird von dem Überzugsmetall gebildet. Bei Stromdurchgang geht das Anodenmetall in Lösung und wird an der Kathode abgeschieden. Die Struktur der Beschichtung hängt stark von der Stromdichte, der Badtemperatur und der Badbewegung ab. Massenteile werden in drehbaren *Galvanisiertrommeln* beschichtet.

Ein weiterer Typ technischer Systeme zum Einbringen von Stoffteilchen sind *Maschinen und Apparate, die das (physikalische) Vereinigen von verschiedenartigen Stoffen* zu einem Stoffgemisch zum Ziel haben. Sie sind insbesondere in der Vor- und Schlussphase stoffwandelnder Produktionsprozesse und in der Lebensmittelindustrie sehr verbreitet, in denen häufig Stoffe verschiedener Aggregatzustände gemischt werden müssen, um den optimalen Ablauf chemischer Prozesse sicherzustellen oder gut durchmischte Endprodukte zu erhalten. Ihre Einteilung erfolgt zweckmäßigerweise nach dem Aggregatzustand der zusammenzubringenden Stoffe:

- technische Systeme zum Einbringen von Stoffteilchen in Feststoffe - Mischer, Rührwerke, Kneter.
- technische Systeme zum Einbringen von Stoffteilchen in Flüssigkeiten: Löseapparate, Emulgierer.
- technische Systeme zum Einbringen von Stoffteilchen in Gase: Zerstäuber, Nebelapparate, Sprühgeräte.

In ihrem prinzipiellen Aufbau handelt es sich um Behälter, die mit Positionierungseinheiten versehen sind, um die zu vermischenden Stoffe innig zu vermengen. Es handelt sich dabei um mechanische, hydraulische oder pneumatische Rührwerke zum Bewegen des Stoffgemisches und sowie um Vorrichtungen zur feinen Zerteilung einzelner Komponenten (Abb.26.26.).

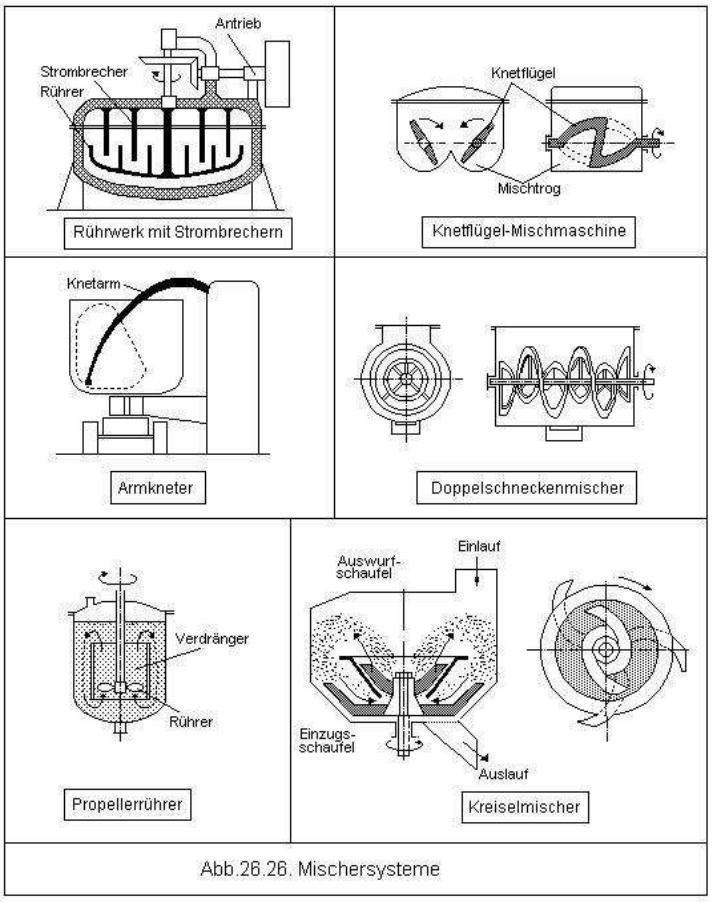


Abb.26.26. Mischersysteme

Technische Systeme zum eigenschaftsändernden Umlagern von Stoffteilchen

Das *Umlagern von Stoffteilchen* im Werkstück geschieht im Allgemeinen mit dem Ziel die mechanischen Materialeigenschaften (z.B. Härte, Festigkeit und Zähigkeit) zu verbessern. Das kann durch Gefügeänderungen erreicht werden, die unter Wärmeeinwirkung und nachfolgende Abkühlung in einem jeweils bestimmten technologischen Regime erfolgen. Nach der Art der Wärmebehandlung werden Glühen, Härten, Anlassen, Vergüten u. a. unterschieden. Als technische Systeme finden für diese Prozesse *Industrieöfen* unterschiedlicher Bauart Verwendung. Die Erwärmung kann durch Gasbefeuerung oder elektrische Beheizung erfolgen. Solcher Wärmebehandlung werden z.B. Bleche nach dem Walzen unterzogen, um das für Feinbleche geforderte Werkstoffgefüge herzustellen. Je nach den angewandten Verfahren und den geforderten Eigenschaften spricht man vom Glühen, Rekristallisationsglühen, Normalglühen und Entspannungsglühen. Als technische Systeme werden dafür Tunnelöfen und Haubenglühöfen eingesetzt. Haubenglühöfen haben einen rechteckigen oder runden Querschnitt. Ein Untersatz dient zur Aufnahme der Blechstapel, der von einer Schutzhaube

und einer darüber liegenden Heizhaube luftdicht abgedeckt wird. Die Glühdauer beträgt bis zu 15 Stunden (Abb. 26.27.).

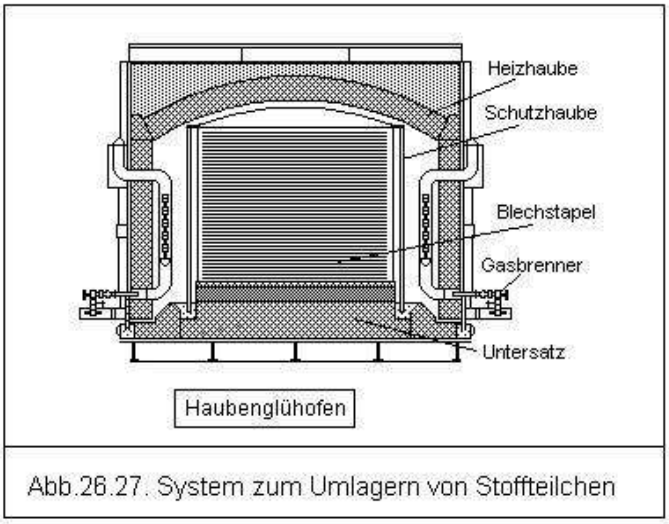


Abb.26.27. System zum Umlagern von Stoffteilchen

Technische Systeme zum eigenschaftsändernden Aussondern von Stoffteilchen. Gemeinsam ist allen diesen Verfahren, dass die mit der Stoffaussonderung verbundene Verminderung des Stoffzusammenhalts nicht der Gestaltänderung, sondern ausschließlich der gezielten Eigenschaftsveränderung dient. Die Verfahren stehen einerseits im Zusammenhang mit der Entfernung von Verunreinigungen der Oberflächen von Werkstoffen (Rost, Zunder) als Vorarbeiten für nachfolgende Vergütung. Andererseits sollen sie Werkstoffbestandteile Aussondern zur Optimierung ihrer Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften oder aber Stoffgemische in ihre Bestandteile zerlegen.

Mechanisch können Rost- und Zunderschichten von Stahloberflächen durch rotierende Stahlbürsten, Schleuderräder oder Sandstrahlanlagen entfernt werden. *Sandstrahlanlagen* haben als Arbeitsorgan eine Sprühdüse, der aus einem Druckbehälter mittels Pressluft (OpE) feinkörniger Quarzsand von 0,4 bis 1,2 mm Korngröße (Wirkmedium) zugeführt wird. *Schleuderstrahlanlagen* ermöglichen die weitgehende Automatisierung des Prozesses. Das zu bearbeitende Werkstück wird in einem Arbeitsraum positioniert und allseitig durch Schleuderräder mit Strahlmittel besprüht. Das Strahlmittel wird wieder gesammelt und über Fördereinrichtungen in den Prozess zurückgeführt. In einem Separator wird der Strahlstaub vom Strahlmittel abgetrennt. Der Wirkungsgrad dieser Anlagen ist höher als bei den Druckluftgeräten. Sie sind aber nur bei Teilen geringerer Abmessungen einsetzbar (Abb. 26.28).

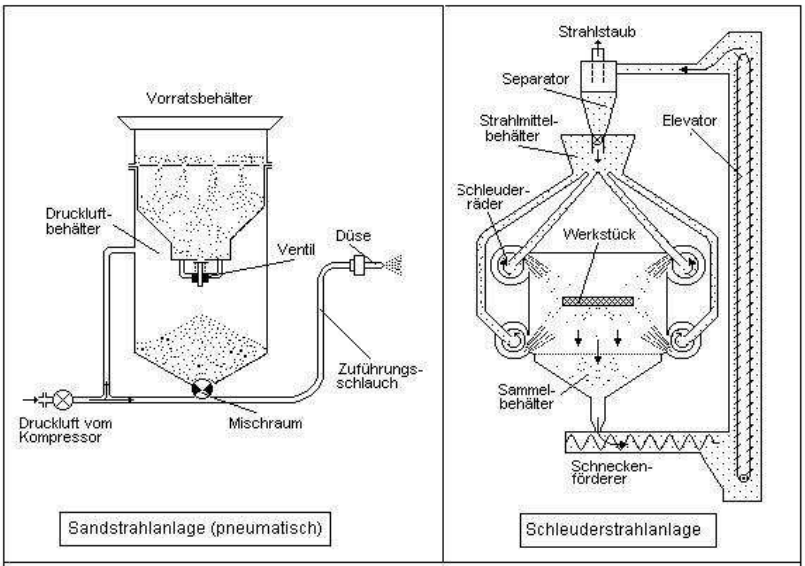


Abb.26.28. Sandstrahlanlagen

Chemisches Abbeizen von Oberflächenverunreinigungen erfolgt in *Beizwannen* aus korrosionsbeständigem Material (säurebeständige Ausmauerungen, Polyvinylchlorid, Polyäthen, Hartgummi, Blei, Emaille). Sie sind beheizbar, um die optimale Badtemperatur der Beizlösung einstellen zu können. Für Stahl werden Salzsäure und Schwefelsäure, für Aluminium Natronlauge und Salpetersäure, für Zink Schwefelsäure verwendet. Dem Beizprozess sind Prozessstufen vor- (Entfetten) und nachgeschaltet (Spülen).

Das eigenschaftsändernde *Aussondern von Stoffteilchen* findet beim Temperguss Anwendung. Ihm liegt ein thermochemisches Wirkprinzip zugrunde. Dabei werden Gusswerkstücke im *Temperofen* einer Glühbehandlung von 800 bis 1000 °C mit einer Glühdauer von 3 bis 5 Tagen unterworfen mit dem Ziel, den Kohlenstoffgehalt des Werkstücks herabzusetzen und so schmiedbare Eigenschaften einzustellen. Die zu glühenden Teile werden beim sog. weißen Temperguss zusammen mir Roteisenstein in Tempertöpfe gepackt. Das Eisenoxid gibt Sauerstoff ab, der den im Gusseisen bei Glühtemperatur aus dem Eisenkarbid freigesetzten Kohlenstoff oxidiert und als Kohlendioxid ausgeschieden wird. Bei dem schwarzen Temperguss erfolgt das Glühen in neutralem Material (Sand, Asche). Der freigesetzte Kohlenstoff verbleibt im Gusseisengefüge und gibt ihm das charakteristische schwarze Aussehen (Abb. 26.29.).

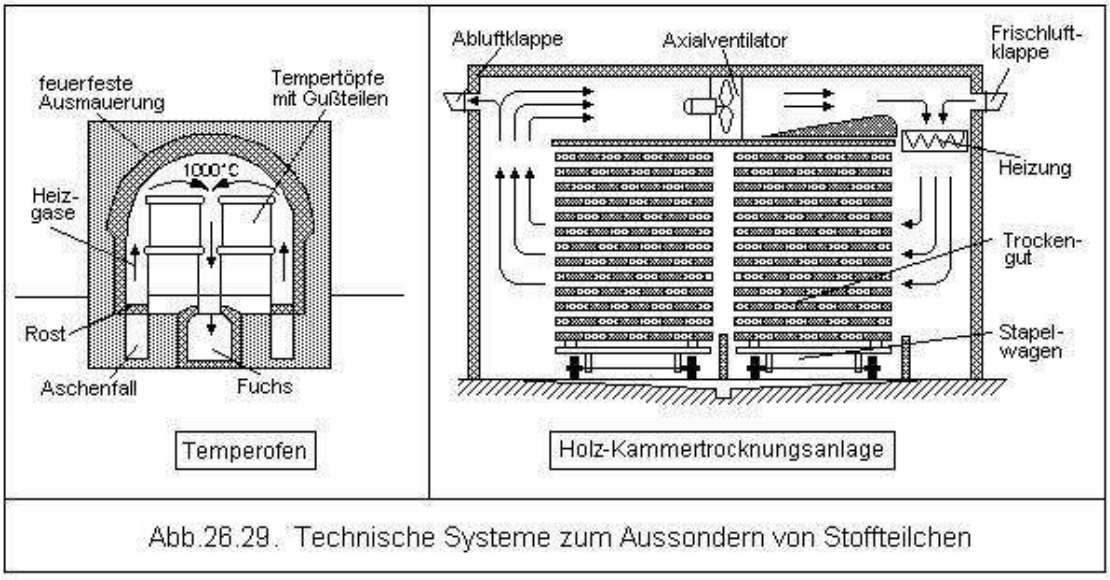


Abb.26.29. Technische Systeme zum Aussondern von Stoffteilchen

In gleicher Weise geht es bei der Holztrocknung darum, die für die Verarbeitungseigenschaften des Holzes optimalen Feuchtigkeitswerte einzustellen. Das geschieht in *Kammertrocknungsanlagen.* Das Arbeitsorgan ist die beheizte Kammer des Ofens. Als Wirkmedium dient erwärmte Luft, die durch einen Axialventilator umgewälzt wird. Sie nimmt die überschüssige Feuchtigkeit auf und führt sie aus dem Trocknungsraum ab. Die Heizanlage liefert die notwendige Operationsenergie. Stapelwagen dienen der Zuführung und Positionierung der Holzstapel (Abb. 26.29).

Im Bereich der Halbleitertechnik haben Anlagen zur Herstellung hochreiner Substanzen eine wesentliche Bedeutung erlangt. Ein typisches System für die Aussondern von Restverunreinigungen von Halbleitermaterialien ist die *Zonenschmelzanlage* (s. Kap. 18.3.).

Ein sehr vielfältiger Typ technischer Systeme zum eigenschaftsändernden Aussondern von Stoffteilchen sind die *Trennanlagen für stoffliche Systeme*. Die Vielfalt ergibt sich einerseits daraus, dass die Stoffgemische in allen drei Phasenzuständen und ihren Kombinationen vorliegen können, und andererseits die einzelnen Komponenten eine sehr unterschiedliche Konzentration aufweisen. Die angewandten Wirkprinzipe nutzen die unterschiedlichen Eigenschaften der Stoffe (Dichte, Löslichkeit, Netzbarkeit, thermisches, elektrisches und magnetisches Verhalten).

Die Trennsysteme haben die Aufgabe, Stoffgemische (Gemenge, Suspensionen, Lösungen, Emulsionen, Dispersionen, Stäube) in ihre Komponenten zu zerlegen, unerwünschte Begleitstoffe aus einem Produkt abzutrennen, gewünschte Bestandteile anzureichern oder Feststoffgemenge nach Korngrößen zu sortieren. Tabelle 26.4. gibt eine gewisse Orientierung in der Vielfalt der Trennanlagen. Als Einteilungskriterien legen wir die Art der zu trennenden Systeme und die dabei aufzuwendende Operationsenergie zugrunde.

Zu trennende Systeme	Operationsenergie		
	Mechanisch	Thermisch	Elektrisch / Magnetisch
Feststoffgemenge	Siebanlagen Flotationsanlagen Windsichter		Magnetscheider
Suspensionen Schlämme	Filtrieranlagen Dekantierapparate	Trockner	
Emulsionen	Zentrifugen		
Lösungen		Kristallisatoren Destillationsan-lagen Verdampfer	
Stäube / Rauch Nebel Gasgemische	Filter Zyklone Diffusionsanlagen	Waschtürme Absorber Adsorber	Elektrofilter

Tabelle 26.4. Übersicht über Stofftrennanlagen

Der Trennung von Feststoffgemengen in unterschiedliche Korngrößen (z.B. Kies für Bauzwecke) dienen *Siebanlagen* (Schwingsiebe, Siebtrommeln). *Windsichter* trennen das Korngemisch durch einen Luftstrom, während *Rechenklassieren* das Feingut durch einen Flüssigkeitsstrom wegtragen und das grobe Gut vom Boden des Apparates mit einem Rechen kontinuierlich austragen. *Flotationsapparate* nutzen die unterschiedliche Netzbarkeit der Gemengekomponenten zu ihrer Trennung. Das in den Apparat eingetragene feingemahlene Material wird durch Wasser, dem Netzmittel und Schaumbildner beigemengt sind, aufgeschwemmt und das anzureichernde (schlecht benetzbare) Gut von einem Luftstrom nach oben getragen, wo es von einem Abstreicher ausgetragen wird. Die auf den Boden gesunkene (benetzte) Komponente wird durch ein Kratzband kontinuierlich entfernt.

Suspensionen (in Flüssigkeiten verteilte Feststoffe) werden mittels Filteranlagen, Dekantierapparaten oder Zentrifugen in ihre Komponenten zerlegt.

Filteranlagen sind in vielfältigen Ausführungen im Einsatz. Gemeinsam ist allen, dass in einem Behälter eine Filterschicht angeordnet ist, durch die die flüssige Komponente der Suspension hindurchtreten kann, die feste Phase wird auf der Filterschicht zurückgehalten. Die Filterschichten können aus körnigem Material (Kies, Ton, Aktivkohle, Quarz), Geweben (Baumwolle, Seide, Synthesefasern, Asbest, Glasfasern) oder auch starren Schichten (Drahtgeflecht, Porzellan, Steingut) bestehen. Durch Druck oder Vakuum kann der Trennvorgang beschleunigt werden. *Sandfilter* dienen zur Klärfiltration für Flüssigkeiten mit geringen Mengen an Feststoffen. Im Filtergefäß sind mehrere Schichten Sand und Kies verschiedener Korngröße übereinander geschichtet. Die zu reinigende Flüssigkeit wird mittels Pumpen durch das Filter gedrückt. Von Zeit zu Zeit muss die Filterschicht gereinigt werden. Das geschieht durch Spülwasser in entgegengesetzter Fließrichtung. Verbreitet sind *Filterpressen*. Sie bestehen aus einer Reihe von Filterrahmen, die mit Filtertuch überspannt sind. Das Filtrationsgut wird in den Raum zwischen zwei Rahmen eingegeben. Das Filtrat tritt durch die Filterschicht hindurch und läuft durch Öffnungen im Boden des Rahmens ab. Der zurückbleibende Filterkuchen muss durch Öffnen der Filterpresse entfernt werden. Sie arbeiten deshalb diskontinuierlich. *Trommeldrehfilter* gestatten kontinuierliches Arbeiten. Sie bestehen aus einer rotierenden Siebtrommel, die mit Filtertuch bespannt ist. Die Trommel ist im Inneren in mehrere Zellen unterteilt. Über einen feststehenden Steuerkopf wird in der Trommel ein Vakuum erzeugt. Die Trommel taucht in einen Trog mit der Suspension ein. Durch das Vakuum tritt das Filtrat in die Trommel ein, der Filterkuchen bleibt auf der Trommeloberfläche haften. Ein Abstreicher entfernt die feste Komponente, nachdem die Schicht durch leichten Überdruck von Innen gelockert wurde. *Kerzenfilter* haben als aktive Teilsysteme Filterkerzen aus porösem keramischen Material. Die Suspension wird in den Filterapparat gedrückt. Das Filtrat passiert die Filterflächen und wird nach oben aus dem Gehäuse abgeleitet. Der Rückstand haftet zunächst auf der Filteroberfläche. Periodisch wird er durch Einleiten von Druckluft abgetrennt und verlässt über einen Ablaufstutzen das Gefäß.

Dekantierapparate sind trichterförmige Gefäße mit einem Überlauf. Durch ein sich erweiterndes Rohr tritt die Suspension ein, wodurch sich die Strömungsgeschwindigkeit verringert und die festen Teilchen im Unterteil des Trichters abgelagert werden. Sie können dort entnommen werden, während die klare Flüssigkeit durch den Überlauf abströmen kann.

Ist die flüssige Komponente des Stoffgemisches sehr klein (z.B. bei Schlämmen) werden *Trockner* zur Abtrennung eingesetzt.

Zentrifugen enthalten als aktives Teilsystem eine schnell rotierende Trommel, die eine Zentrifugalkraft erzeugt. Man unterscheidet Siebzentrifugen und Vollwandzentrifugen. Siebzentrifugen halten das Filtergut durch ein Filtertuch in der Trommelwandung fest, während die Flüssigkeit nach außen durchtritt. Bei Vollwandzentrifugen setzt sich die Feststoffkomponente an der Trommelwandung ab. Die Flüssigkeit steigt an der Trommelwandung empor und läuft über die Überlaufkante in das Zentralgehäuse ab. Es gibt Zentrifugen mit horizontaler und vertikaler Trommelachse, sowie periodisch und kontinuierlich arbeitende Systeme.

Gemische von Gasen und Feststoffen (Stäube, Rauch) werden durch Zyklone und Elektrofilter getrennt. Der *Zyklon* arbeitet nach einen ähnlichen Prinzip wie die Zentrifuge. Das mit Staub angereicherte Gas wird mit hoher Geschwindigkeit im Kreis herumgewirbelt. Die Feststoffteilchen werden an die Außenwand geschleudert und fallen von dort in den Bodentrichter des Zyklons. Das gereinigte Gas strömt durch einen vertikalen Stutzen aus. *Elektrofilter* nutzen die elektrische Aufladbarkeit von Staubteilchen in einem Hochspannungsfeld. Sie bestehen aus einer trichterförmig auslaufenden Niederschlagskammer, in der rohr- oder plattenförmige Abscheideelektroden angeordnet sind. Zwischen ihnen besteht eine elektrische Gleichspannung von 30 bis 80 kV. Die Staubteilchen werden beim Durchströmen des Spannungsfeldes negativ aufgeladen und schlagen sich auf der Anode nieder. Elektrofilter haben einen hohen Wirkungsgrad und erfordern einen relativ geringen Energieaufwand (Abb. 26.30. und 26.31.).

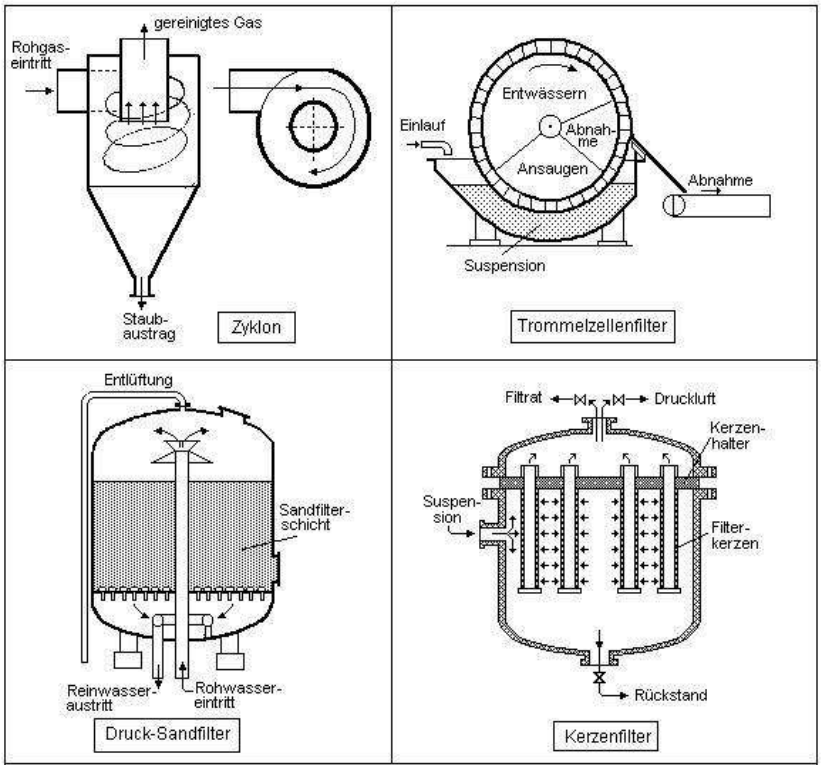


Abb.26.31. Stofftrennsysteme II

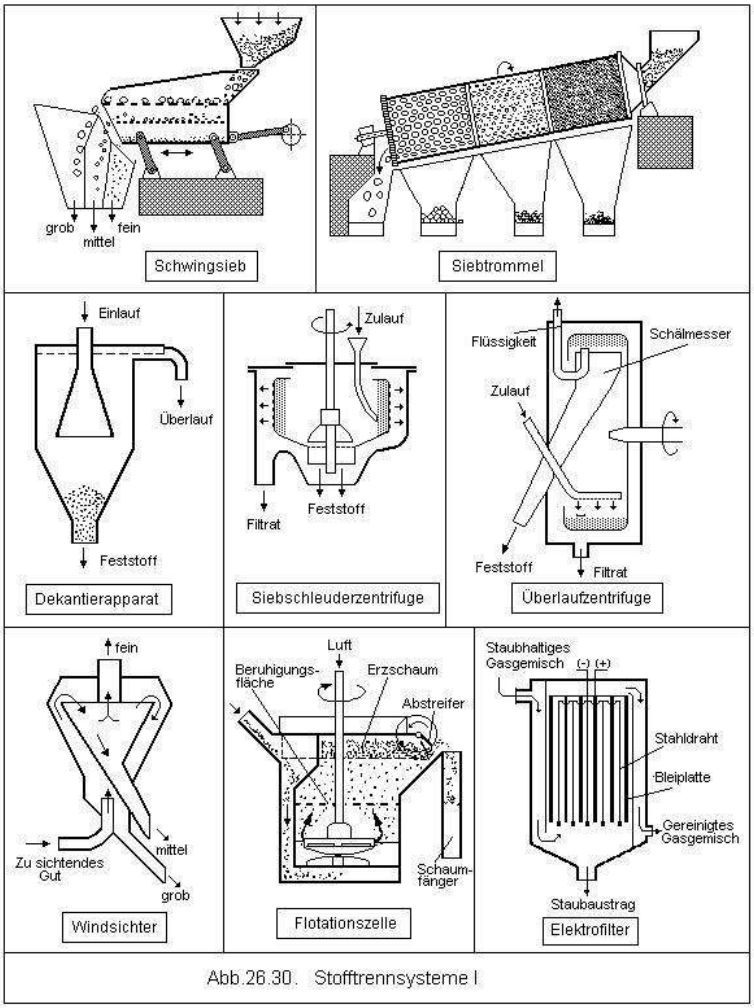


Abb.26.30. Stofftrennsysteme I

Eine große Zahl von Trennsystemen beruht auf thermischen Wirkprinzipien. Durch sie lassen sich insbesondere Flüssigkeitsgemische und Lösungen in ihre Komponenten zerlegen. Die wichtigsten Typen sind Verdampfer, Destillationsanlagen und Kristallisationsanlagen.

Verdampfer sind direkt oder indirekt beheizte Gefäße. Die flüssige Komponente der Lösung wird so lange verdampft, bis die gewünschte Endkonzentration erreicht ist. Es gibt Einkörperverdampfer und Mehrkörperverdampfer. Letztere haben einen wesentlich höheren energetischen Wirkungsgrad.

Destillationsanlagen verdampfen die leichter flüchtigen Bestandteile des Flüssigkeitsgemisches und fangen sie nach Abkühlung getrennt auf. Sie bestehen aus einer Destillationsblase, dem ein Kühler nachgeschaltet ist. Die einfache Destillation wird allerdings nur für Lösungen aus flüchtigen und nichtflüchtigen Stoffen angewandt. Für die Trennung von Mehrstoffsystemen werden Destillationskolonnen und Rektifikationsanlagen genutzt. Destillationskolonnen sind im Prinzip zu Säulen zusammengesetzte Behälter. Sie bestehen im Unterteil aus einer Abtriebssäule, in dem sich eine dampfbeheizte Rohrschlange befindet. Der obere Teil der Kolonne ist die Rektifiziersäule. Sie ist durch waagerechte Böden in zahlreiche Abschnitte getrennt. Den oberen Abschluss der Kolonne bildet der Kopf. Am Übergang von der Unter- zur Obersäule wird das Gemisch eingeben. Es fließt nach unten. Dabei strömen ihm die heißen Dämpfe entgegen. Der Dampf durchfließt die einzelnen Böden, in denen sich die einzelnen Fraktionen in der Folge ihrer Siedepunkte niederschlagen. Der nichtkondensierende Anteil wird als Kopfprodukt abgeführt. Die schwersiedende Komponente sammelt sich im untersten Teil der Kolonne als Sumpfprodukt.

Kristallisationsanlagen bestehen aus Gefäßen mit Einrichtungen zur Abführung der Kristallisationswärme. Sie sind deshalb meist als Doppelmantelbehälter ausgelegt oder enthalten Kühlschlangen (Abb. 26.32.).

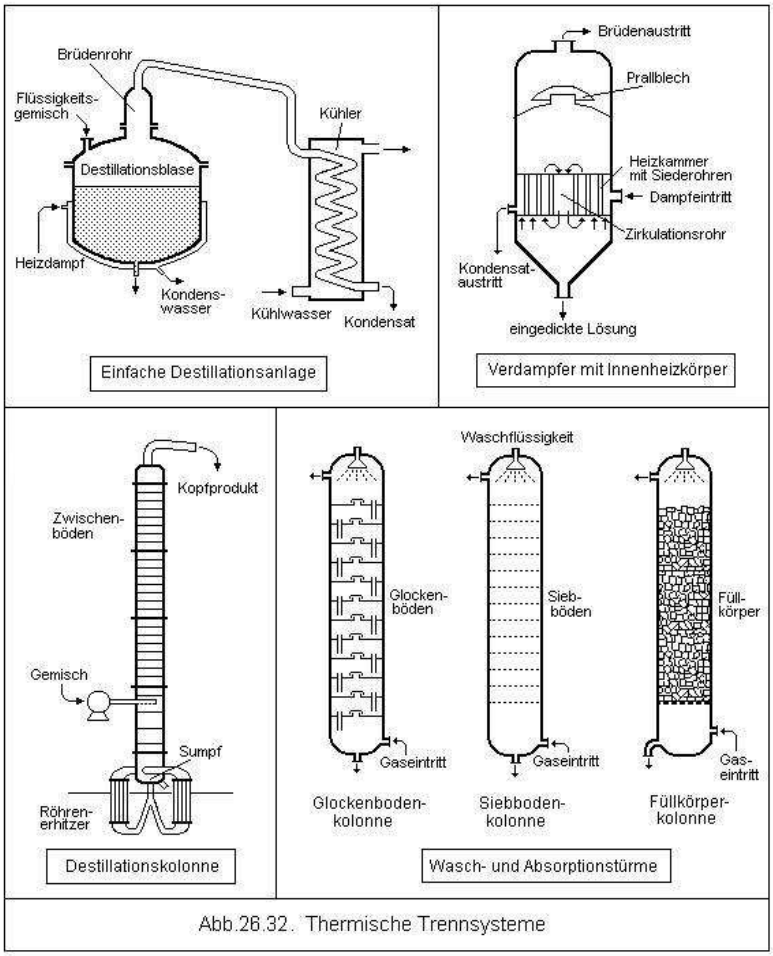


Abb.26.32. Thermische Trennsysteme

Technische Systeme zur eigenschaftsändernden Aufhebung des Stoffzusammenhalts sind noch wenig verbreitet, haben aber im Zusammenhang mit der Entwicklung mechanochemischer Verfahren eine gewisse Bedeutung erlangt. Die intensive Zerkleinerung des Materials verfolgt das Ziel, seine chemische Aktivität durch mechanische Einwirkung zu erhöhen und damit zu einer Beschleunigung der Prozessabläufe zu kommen. Typische technische Systeme dieser Gruppe *sind Schwingmühlen, Strahlmühlen, Intensivrührer und Ultraschallgeneratoren* (s. auch Kap. 8.10.5.).

26.3. Organstruktur von Stoffformungssystemen

Die Organstruktur der Stoffformungssysteme kennt 3 Typen: Werkzeugmaschinen mit mechanischer Operationsenergie, Wirkraumsysteme mit thermischer Operationsenergie und Bearbeitungssysteme mit nichtmechanischer und nichtthermischer Operationsenergie.

Den klassischen Strukturtyp der Stoffformungssysteme bilden die *Werkzeugmaschinen* mit mechanischer Operationsenergie. Das wesensbestimmende Teilsystem (das Arbeitsorgan, AbO) ist das Maschinenwerkzeug mit mechanisch bestimmtem Bewegungsablauf. Es wirkt unmittelbar auf den Arbeitsgegenstand ein. Typische Arbeitsorgane als Maschinenwerkzeuge sind Hobeleisen, Messerwellen, Schermesser, Drehstähle, Fräser, Bohrer, Sägeblätter, Schleifscheiben, Schmiedehämmer, Pressenstempel mit Gesenk bzw. Presswerkzeugen, Walzen, Näh- und Stricknadelsysteme, Spinndüsen, Brecherbacken und -walzen. Der Bearbeitungsteil dieses Typs umfasst neben dem AbO meist ausgeprägte Führungs- und Positionierungsorgane. Das Führungsorgan ist der Werkzeugträger (mit Schlitten, Support und Spindel). Es muß den technologisch vorgesehenen Bewegungsablauf des AbO realisieren (Vorschub- und Zustellbewegungen). Das Positionierungsorgan wird vom Werkstückträger (Spannzeug, Tisch, Reitstock) gebildet. Es dient vor allem der Fixierung des Arbeitsgegenstandes (z.B. bei der Bohrmaschine, der hydraulischen Presse). In zahlreichen Fällen muss es aber auch Funktionen für die Zuführung und Positionierung des AG sichern (z.B. bei der Fräsmaschine, der Kreissägemaschine, der Nähmaschine, dem Walzwerk). Für den Energieteil sind elektromotorische Antriebe typisch (Einzel- oder Mehrmotorenantriebe). Die von ihnen über die Rotorwelle abgegebene mechanische

Operationsenergie wird durch mechanische und hydraulische Getriebe (ÜbO) umgeformt und auf das Arbeitsorgan bzw. auf den Arbeitsgegenstand (z.B. bei der Drehmaschine) übertragen. Moderne Werkzeugmaschinen sind mit einem entwickelten Informationsteil ausgestattet. Als Steuerungsorgan sind zahlreiche unterschiedliche, den jeweiligen Anforderungen angepasste Steuerungen (sowohl nichtnumerische wie auch numerische) anzutreffen: Kurvensteuerungen, Nocken- und Anschlagsteuerungen, Nachformsteuerungen, CNC-Steuerungen. In Bearbeitungszentren werden darüber hinaus optimierende Computersteuerungen eingesetzt. Typische Erscheinungsformen des Stützorgans (Maschinenkörper) sind Maschinenbett, Gestell und Ständer.

Ein zweiter Typ sind die mit thermischer oder mechanischer Operationsenergie arbeitenden *Wirkraumsysteme*. Zu diesem Typ gehören z.B. Schmelzapparate, Glühöfen, Gießformen, Trockenöfen, Destillationskolonnen, Verdampfer, Waschmaschinen, Mischanlagen, Filterapparate, Zyklone. Ihr Charakteristikum ist das räumliche Arbeitsorgan (Wirkraum, Bearbeitungsraum).Für sie ist charakteristisch, dass der Arbeitsgegenstand in einem Wirkraum positioniert wird und durch Energieeinwirkung in gewünschter Weise in seiner Gestalt oder seinen Eigenschaften verändert wird oder Stoffe miteinander gemischt bzw. Stoffgemische voneinander getrennt werden. Nach der Art der Einwirkung können unterschieden werden:

- Wirkräume, in denen auf den Arbeitsgegenstand thermische Energie übertragen wird oder sie ihm entzogen wird (Schmelzräume, Verdampfungsräume, Trockenräume, Kondensationsräume, Kühlräume, Kristallisationsräume)
- Hohlräume von Formen zur Formgebung und Formfixierung (Gießformen)
- Wirkräume mit aktiven Teilsystemen (Filterflächen, Siebflächen, Zentrifugenrotoren, Rührwerke, Sprühdüsen)

Da der Wirkraum meist stationär angeordnet ist, entfällt das Führungsorgan weitgehend. Dafür sind im Allgemeinen ausgeprägte Positionierungsorgane vorhanden (Eingussvorrichtungen für Schmelzen, Leitvorrichtungen für den Fluss des Arbeitsgegenstandes oder des Energieüberträgers im Wirkraum). Die thermische Operationsenergie wird durch Elektroheizungen, Gasheizungen oder Dampfheizungen hervorgebracht. Als Übertragungssysteme kommen Wärmeaustauscher in betracht. (Abb. 26.33.).

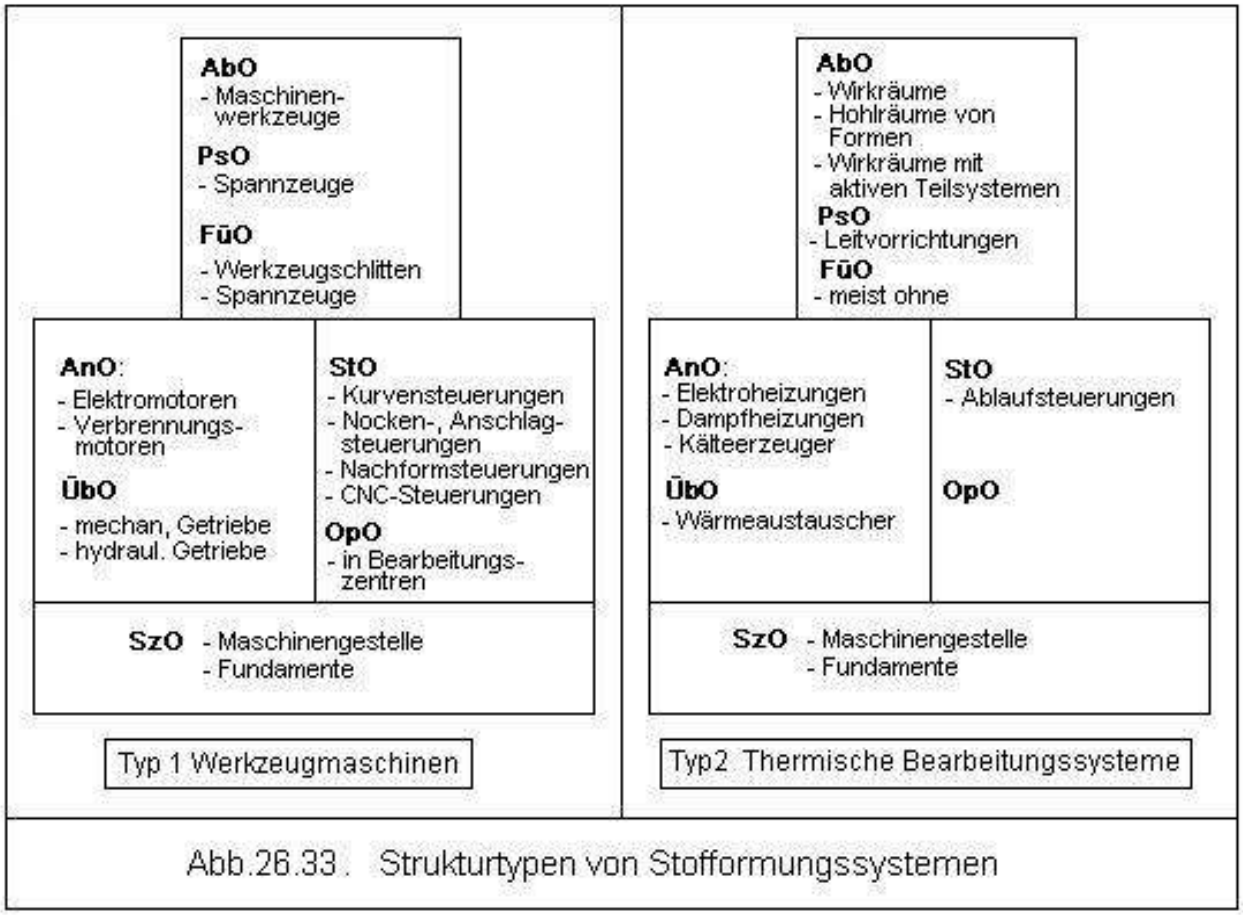


Abb.26.33. Strukturtypen von Stofformungssystemen

Den dritten Typ bilden *Bearbeitungssysteme mit nichtmechanischer und nichtthermischer Operationsenergie* dieser Gruppe werden z.B. Galvanisierungsanlagen, Schweißapparate, Spritzanlagen zur Oberflächenbeschichtung, Magnetumformungsanlagen, Explosivumformanlagen, Ultraschallbearbeitungsanlagen, Vakuumbedampfungssysteme und Sandstrahlanlagen erfasst.

Die Arbeitsorgane dieses Strukturtyps sind durch die indirekte Einwirkung und das damit notwendig verbundene Auftreten eines stofflichen oder energetischen Wirkmediums gekennzeichnet (Elektroden und Elektrolytbad, Schweißdüse und Schweißflamme, Schwingrüssel und Schleifpaste, Beizwanne und Beizlösung, Sandstrahldüse und Strahlmittel). Die weiteren Strukturelemente (Funktionsorgane) entsprechen dem 1. oder 2. Strukturtyp.

26.4. Ausgewählte Beispiele

26.4.1. Bohrmaschine

Die Bohrmaschine hat die Aufgabe, kreisrunde Bohrungen, Durchbrüche und Vertiefungen herzustellen, die insbesondere zum Verbinden von Werkstücken durch Verschrauben, Vernieten und Verstiften gebraucht werden. Bohrmaschinen gehören zum Grundbestand jeder mechanischen Werkstatt. Das Bohren ist ein Spanen mit ein- oder mehrschneidigem Werkzeug, dessen Schneiden ständig im Eingriff stehen. Beim Bohren führt das Werkzeug eine kreisende Hauptbewegung und die axiale Nebenbewegung (Zustellbewegung) aus. Die vielfältigen Einsatzbedingungen und Wirtschaftlichkeitserfordernisse haben zahlreiche Typen von Bohrmaschinen hervorgebracht: Handbohrgeräte (Drillbohrer, Brustleier, Bohrknarre) (Abb.26.34), ortsveränderliche Handbohrmaschinen und ortsfeste Bohrmaschinen (Ständerbohrmaschinen, Säulenbohrmaschinen, Bohreinheiten mit Revolverköpfen, Reihenbohrmaschinen, Mehrspindelbohrmaschinen u. a. (siehe auch Abb. 8.14.). Es gibt Bohrmaschinen mit waagerecht und senkrecht angeordneten Arbeitsspindeln. Bei Senkrecht-Bohrmaschinen führt immer das Werkzeug die Arbeitsbewegung aus, bei Waagerecht-Bohrmaschinen können sowohl das Bohrwerkzeug, das Werkstück oder beide umlaufen.

Grundaufbau der Bohrmaschinen (Abb. 26.34.):

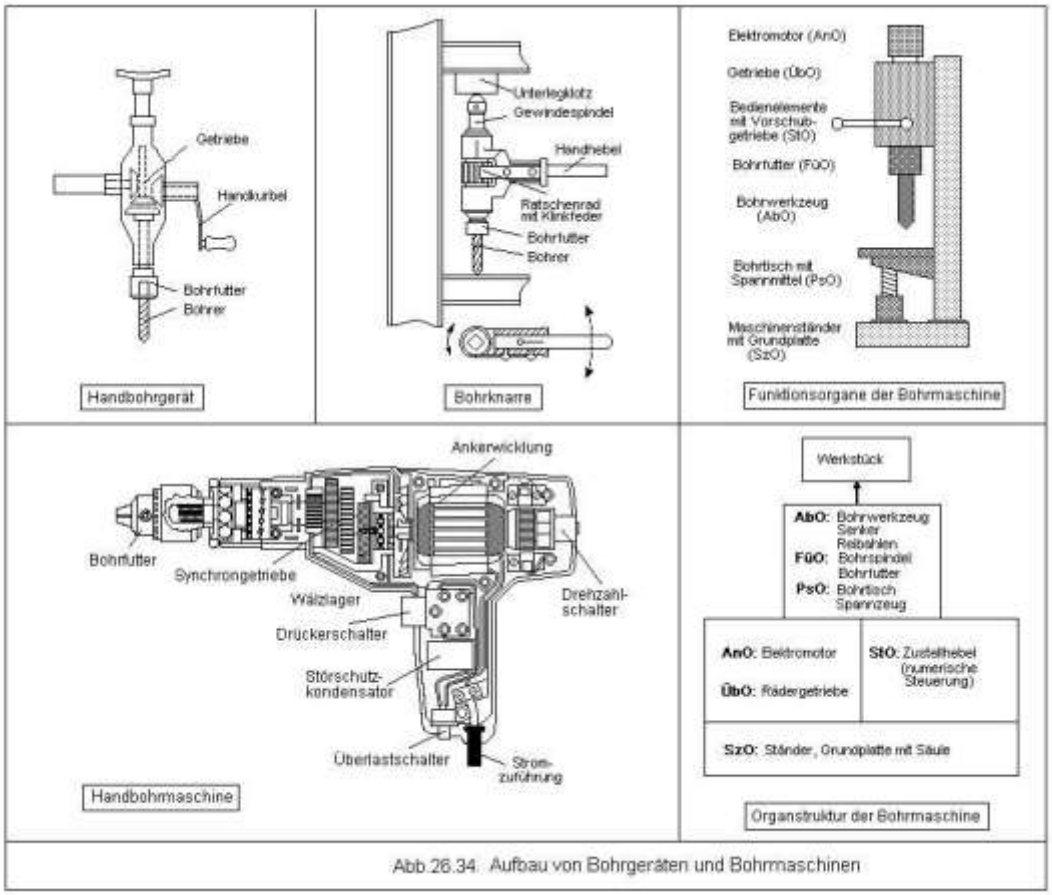


Abb 26.34. Aufbau von Bohrgeräten und Bohrmaschinen

Bearbeitungsteil: Das Bohrwerkzeug ist das Arbeitsorgan. Die wichtigste Form ist der Spiralbohrer. Er besitzt zwei Haupt-, zwei Neben- und eine Querschneide. Die optimalen Winkelgrößen am Spiralbohrer hängen wesentlich vom Werkstoff des Arbeitsgegenstandes ab. Der Spiralbohrer wird für Grund- und Durchgangsbohrungen eingesetzt. Weitere Bohrwerkzeugformen sind Bohrköpfe, Bohrmesser in Bohrstangen (für größere Durchmesser), Kanonenbohrer (für tiefe Bohrungen), Forstnerbohrer (für genaue Holzbohrungen). Für die Nachbearbeitung von Bohrungen werden Senker (Flachsenker, Spitzsenker, Drallsenker) verwendet. Die Feinbearbeitung von Bohrungen erfolgt durch Reibahlen. Das Bohrwerkzeug wird vom Spannzeug aufgenommen. Es bildet mit der Bohrspindel das Führungsorgan. Das Positionierungsorgan (PsO) ist der Bohrtisch mit Spanneinrichtung. Er ist gegen die Bohrspindel verstellbar, um einen günstigen Abstand zwischen Werkstück und Werkzeug einstellen zu können. Bei festestehendem Maschinentisch kann der Bohrschlitten gegen das Werkstück bewegt werden.

Energieteil: Das Antriebsorgan ist ein Elektromotor. Das Hauptgetriebe, auch als Bohrspindelgetriebe bezeichnet, (ÜbO) besteht aus einem gestuft oder stufenlos schaltbaren Getriebe. Die Vorschubbewegung wird von der Arbeitsspindel abgeleitet. Sie erfolgt über das Verschieben der Bohrspindel in einer Hülse oder durch die Bewegung des die Spindel tragenden Bohrschlittens.

Informationsteil: Der Handvorschub mit Handkreuz (bzw. Handhebel) kann als Element eines Steuerungsorgans angesehen werden, ebenso der Wahlschalter für die Spindeldrehzahlen. Bei Bohrwerken in Fertigungszentren sind numerische Steuerungsorgane integriert.

Das *Stützorgan* ist der Ständer bzw. die Grundplatte mit Säule. Es nimmt alle Funktionsgruppen auf und fixiert sie.

26.4.2. Rohrmühle

Unter den vielfältigen technischen Systemen für die Zerkleinerung von Feststoffen sind die Kugelmühlen ein wichtiger Maschinentyp für die Feinzerkleinerung. Nach der Form des Arbeitsorgans unterscheidet man Trommel-, Kegel- und Rohrmühlen. Das Mahlgut kann in trockenem und in nassem Zustand bearbeitet werden.

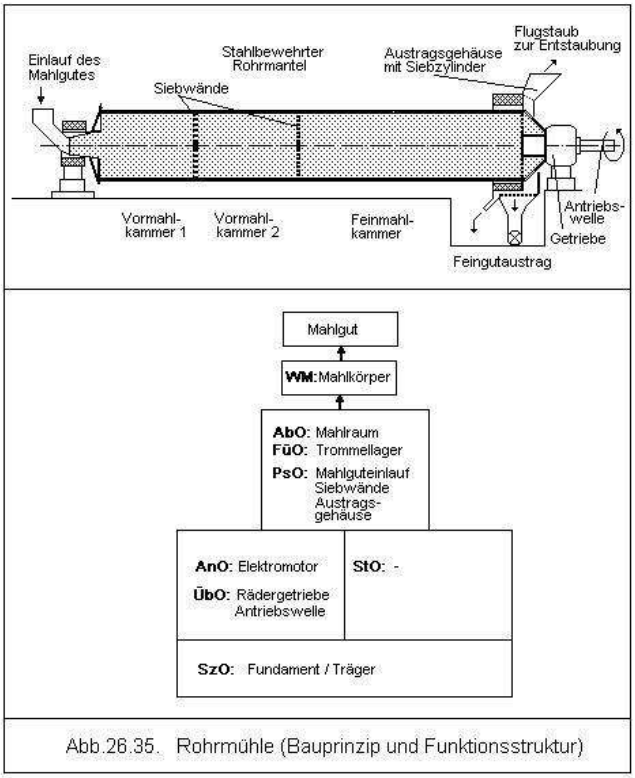


Abb.26.35. Rohrmühle (Bauprinzip und Funktionsstruktur)

Rohrmühlen (Abb.26.35.) bestehen aus einer rotierenden Trommel von 100 bis 300 cm Durchmesser. Sie können bis zu 10 m lang sein. Sie sind teilweise mit Mahlkörpern (Kugeln aus Stahl, Stein oder Hartporzellan von 30 bis 200 mm Durchmesser) gefüllt, die als Wirkmedien (WM) für die Zerkleinerung des eingesetzten Materials dienen. Bei der Rotation der Trommel werden Mahlgut und Mahlkörper mitgenommen, bis sie

zurückfallen und dabei Zerkleinerungsarbeit durch Stoß und Reibung leisten. Der Mahleffekt wird von der Drehzahl des Rohres wesentlich mitbestimmt.

Das Mahlgut wird durch eine Aufgabevorrichtung (PsO) eingetragen. Es durchläuft mehrere Kammern (Vor- und Feinmahlkammern), die durch Siebplatten voneinander getrennt sind. Die Mahlkörper sind in ihrer Größe dem von Kammer zu Kammer kleiner werdenden Mahlgut angepasst. Trotz horizontaler Trommellage bewegt sich das zerkleinerte Gut stets vom Einlauf zum Austrag, weil es nach der Seite des geringsten Widerstandes (d.h. in Richtung des feineren Mahlgutes) wegspritzt. Das zerkleinerte Material verlässt die Mühle durch eine mit Siebeinbauten versehene Austragsvorrichtung (PsO). Der Flugstaub wird gesondert niedergeschlagen.

Das Antriebssystem ähnelt dem in Walzwerken. Ein Elektromotor (AnO) treibt die Antriebswelle über ein Getriebe (ÜbO) an, die über eine spezielle Kupplung mit dem Rohrkörper verbunden ist.

26.4.3. Extruder (Schneckenpresse)

Extruder dienen zur Formgebung von thermoplastischen Werkstoffen. Sie gehören zu den wichtigsten Verarbeitungsmaschinen der plast- und elastverarbeitenden Industrie. Bei vielen Technologien zur Erzeugung von Profilen, Rohren, Bändern, Platten, Folien, Schläuchen, Kabelummantelungen und Halbfabrikaten (Vorformlinge) für Pressartikel aus Thermoplasten und Elasten steht am Beginn des Prozesses ein Extruder. Zu den besonderen Vorzügen der Extruder gehört ihre kontinuierliche Arbeitsweise. Neben dem unmittelbaren Einsatz zur Erzeugung von Plastformprodukten finden sie auch als Knetmaschinen in der Plastaufbereitung und als Plastizieraggregat bei Spritzgießmaschinen und in Kalanderanlagen Anwendung.

Extrudieren ist ein Urformverfahren, bei dem aus thermoplastischer und duroplastischer Formmasse (Pulver, Granulat, Agglomerat) strangförmige Erzeugnisse hergestellt werden. Das durch Wärme plastizierte Ausgangsmaterial wird dabei unter Druck durch eine düsenartige Matrize ins Freie gepresst.

Nach der Bauart des Arbeitsorgans werden Kolbenextruder (insbesondere für die Duroplastverarbeitung), Walzenextruder, Scheibenextruder und Schneckenextruder unterschieden. Im Folgenden wird der Schneckenextruder besprochen (Abb.26.36.).

Das Arbeitsorgan des Extruders ist wegen der Vielzahl der beim technologischen Vorgang wirkenden Teilprozesse komplex aufgebaut. Im Einzelnen sind folgende technologischen Funktionen zu realisieren: Einziehen Fördern, Scheren, Aufheizen, Plastizieren, Mischen und Temperieren des Materials. Die wichtigste Funktionseinheit ist das Plastizieraggregat mit Schnecke und Zylinder. Die Konstruktion der Schnecke sorgt durch den Einbau von Scher- und Mischteilen für einen gleichmäßigen Materialfluss und den Ausgleich von Temperaturschwankungen. Der Zylinder, in dem die Schnecke läuft, ermöglicht den Fördervorgang (Positionierungsfunktion) und dient zugleich als Wärmeüberträger zwischen Heizelementen und der Formmasse. Er ist in drei Zonen eingeteilt (Einzugszone, Umwandlungszone, Ausstoßzone). Sie sind jeweils mit Heizelementen und Kühlkanälen ausgestattet. Am Ende der Ausstoßzone befindet sich das Formwerkzeug. Es gibt dem austretenden Materialstrang das geforderte Profil, so dass er in den mit dem Extruder gekoppelten Anlagen zu Rohren, Schläuchen, Profilen und Folien weiterverarbeitet werden kann.

Der Füllschacht ist Teil des Positionierungsorgans. Er befindet sich über dem Schneckenanfang und hat den kontinuierlichen Materialeintrag in die Schnecke zu gewährleisten.

Das Antriebsorgan wird von einem starken Elektromotor gebildet, wobei sowohl Drehstrom-Kurzschlussläufermotore mit Stellgetriebe wie auch thyristorgesteuerte Gleichstrommotore zum Einsatz kommen. Das robuste Getriebe (ÜbO, ausgelegt als Stellgetriebe oder Reduktionsgetriebe) ermöglicht eine stufenlose Regelung der Schneckendrehzahl. Zum Antriebsorgan gehören auch die Heiz- und Kühlelemente, zur Erweichung der Formmasse. Die Heizelemente sind elektrische Widerstandsheizungen, die in Form von Bändern alle Zonen des Zylinders umschließen. Die Kühleinrichtungen (Gebläsekühlung mit Kühlrippen) sollen die Formmasse und die Maschinenteile vor Überhitzung bewahren. Sie sind in der Einzugszone und in der Ausstoßzone angeordnet

Das aufeinander abgestimmte technologische Regime von Materialeintrag, Schneckenvorschub, Heiz-, Kühl- und Entlüftungsprozessen wird durch ein entsprechendes Steuerungssystem (StO) erreicht

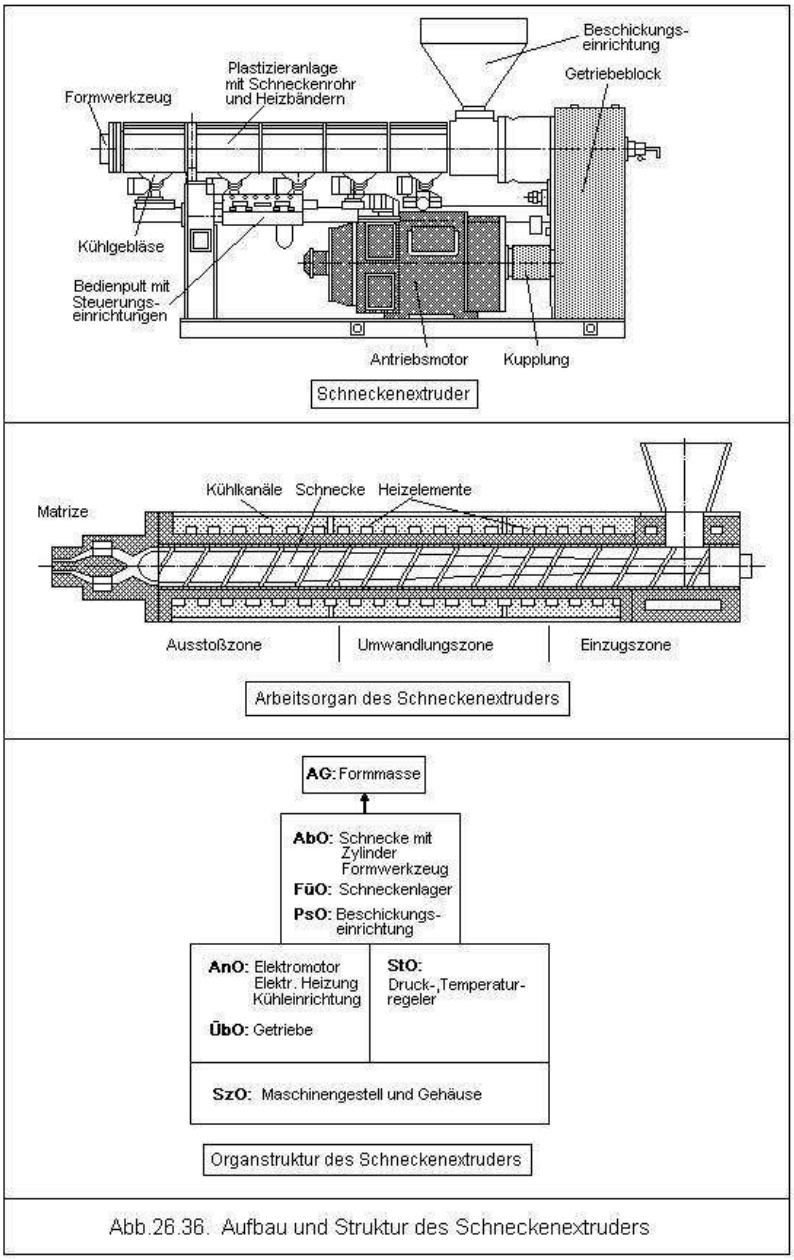


Abb.26.36. Aufbau und Struktur des Schneckenextruders

.

Literatur

26.1 C. Günter / G. Lothmann: Ur- und Umformwerkzeuge; Berlin 1989
26.2 F. Blume: Einführung in die Fertigungstechnik; Berlin 1977
26.3 W. Früngel: Fertigungstechnik, Grundausbildung Metall Teil I; Berlin 1962
26.4 Autorenkollektiv: Fertigungstechnik, Grundausbildung Metall Teil II; Berlin 1965
26.5 F. Rothhaupt / E. Meissner / H. Schenkel: Einführung in die Produktionstechnik; Bd.1,Technologie des Maschinenbaus; Berlin 1963
26.6 G. Damerow / W. Leudert: Technologie der metallurgischen Industrie; Berlin 1959
26.7 Autorenkollektiv: Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen; Leipzig 1983
26.8 Autorenkollektiv: Erzeugung von NE-Metallen; Leipzig 1979
26.9 Autorenkollektiv: Fachkunde Maschinenschlosser, Teil II; Berlin 1958
26.10 Maschinenlehre (Lehrmaterial für das Fernstudium für Lehrer des polytechnischen Unterrichts); Leipzig 1970
26.11 Grundlehrgang Maschinenkunde II, Berlin 1962
26.12 E. Kaulisch u. a.: Drehen; Berlin 1977
26.13 Autorenkollektiv: Wissensspeicher Holztechnik - Grundlagen; Leipzig 1988
26.14 Holztechnik - Fachkunde für Schreiner; Haan-Gruiten 1990
26.15 Autorenkollektiv: Fachkunde der Plastverarbeitung - Technologische Verfahren I; Leipzig1983
26.16 Autorenkollektiv: Fachkunde der Plastverarbeitung - Technologische Verfahren II; Leipzig1983
26.17 Autorenkollektiv: Technologische Verfahren der Elastverarbeitung; Leipzig 1983
26.18 Autorenkollektiv: Kunstledertechnik; Leipzig 1981
26.19 Autorenkollektiv: Fertigungstechnik in der lederverarbeitenden Industrie; Leipzig 1980
26.20 K. Pauligk / R. Hagen: Lederherstellung; Leipzig 1983
26.21 P. Böttcher (Herausg.): Textiltechnik - Wissensspeicher für Technologen; Leipzig 1977
26.22 Autorenkollektiv: Grundlagen textiler Herstellungsverfahren; Leipzig 1991
26.23 W. Senf: Textile Werkstoffkunde; Berlin / Leipzig 1951
26.24 Autorenkollektiv: Lehrbuch der industriellen Buchbinderei; Leipzig 1987
26.25 Hirsekorn / W. Nehrkorn: Grundprozesse der Backwarenherstellung; Leipzig 1976
26.26 Autorenkollektiv: Technologie Zuckerwaren; Leipzig 1977
26.27 K. Kramer: Technologie Kakaoerzeugnisse; Leipzig 1973
26.28 W.R. Vauck / H.A. Müller: Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik; Dresden und Leipzig 1962
26.29 Kaltofen / Eckert / Opitz: Allgemeine chemische Technik (Stoffsammlung); Leipzig 1972
26.30 Autorenkollektiv: Maschinen und Apparate der chemischen Industrie; Berlin 1960
26.31 L. Kannegießer / K.P. Thiessen (Herausg.): Korrosionsschutz - Geschichte, Technik, Ökonomie; Berlin 1989

27. Reaktoren - profilbestimmende technische Systeme von Stoffwandlungsprozessen

27.1. Reaktoren als Klasse technischer Systeme

Unter Reaktoren verstehen wir technische Systeme zur Durchführung von Stoffwandlungsprozessen. Die in der Fachliteratur ebenfalls anzutreffenden Bezeichnungen Reaktionsapparate, Stoffumsetzer, Stoffwandlungsapparate u. ä. werden zunehmend durch den Reaktorbegriff ersetzt. Wir orientieren uns deshalb auf ihn.

Die Reaktoren nehmen die Reaktionsmasse auf. Sie schaffen die für die chemische Umsetzung notwendigen optimalen Bedingungen - insbesondere hinsichtlich des Temperaturregimes, der Druckverhältnisse, der Durchmischung der Reaktanden sowie ihrer Verweilzeit im Reaktor -, halten diese Bedingungen während des Prozesses aufrecht und passen sie dem Prozessverlauf an.

Die Reaktoren sind im Prinzip Behälter. Im Unterschied zu den Lager- und Transportgefäßen, wie sie in allen Bereichen der Volkswirtschaft genutzt werden, spielen sie aber bei den Stoffwandlungsprozessen eine *aktive* Rolle. In ihnen erfolgt der eigentliche Bearbeitungsvorgang. Sie sind deshalb die profilbestimmenden Produktionsanlagen in den stoffwandelnden Industrien.

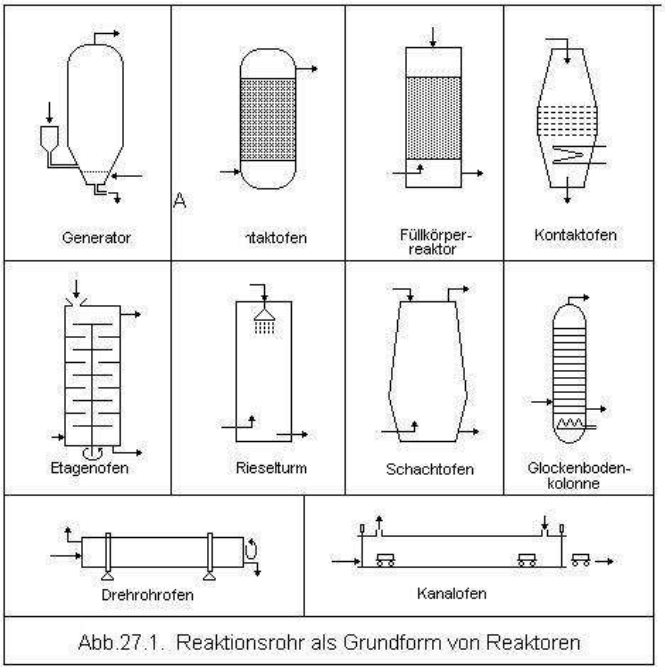


Abb.27.1. Reaktionsrohr als Grundform von Reaktoren

Die Vielfalt der Reaktoren lässt sich im Prinzip auf zwei Grundformen zurückführen: auf das Reaktionsrohr und den Reaktionskessel. Zwischen beiden existieren allerdings vielfältige Übergangsformen.

Die *Reaktionsrohre* weisen eine zylindrische, meist langgestreckte Form auf. Die Ausgangsstoffe werden auf der einen Seite des Rohres ständig oder periodisch zugeführt. Beim Durchgang durch den Reaktor erfolgt die chemische Umsetzung. Die Reaktionsprodukte werden ebenso kontinuierlich oder periodisch entnommen. Diese Reaktorgrundform entspricht der kontinuierlichen Arbeitsweise (Abb.27.1.).

Der *Reaktionskessel* hat Schalen-, Tiegel- oder Wannenform. Für ihn war ursprünglich die periodische (satzweise) Arbeitsweise charakteristisch. Die Ausgangsstoffe werden in den Kessel eingegeben. Dann läuft der Prozess ab, und danach wird das Reaktionsprodukt entleert (Abb.27.2.). Entsprechend dem allgemeinen Trend zu kontinuierlichen Verfahren arbeiten heute auch viele Reaktoren dieses Typs im Fließbetrieb.

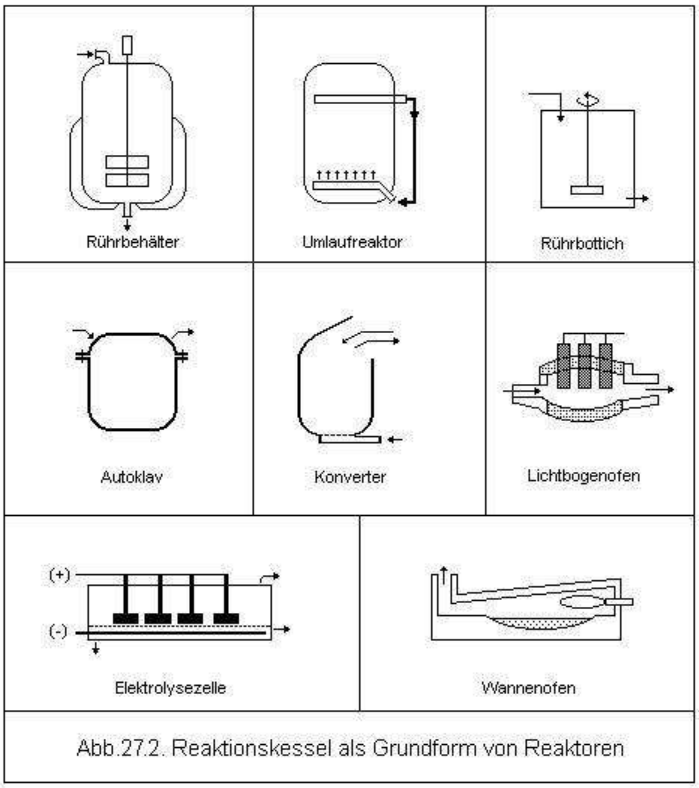


Abb.27.2. Reaktionskessel als Grundform von Reaktoren

Der *konstruktive Aufbau der Reaktoren* wird von den im Einzelnen zu realisierenden technologischen Funktionen (d.h. den Anforderungen der Reaktionskinetik und der Prozessführung) bestimmt. Bei aller Vielfalt im Konkreten lassen sich auch hier wenige *grundlegende Funktionen* zusammenfassen:

- *Aufnahme der Reaktionsmasse und Abgrenzung des Reaktionsraumes*. Die Größe des Reaktors, seine Grundform, offene oder geschlossene Ausführung werden wesentlich durch die Maßstäbe des Prozesses, den Phasenzustand der Reaktionsmasse, Druckanwendung, energetisches Regime und den zu erreichenden Durchsatz bestimmt.
- *Förderung der Reaktionsmasse durch den Reaktionsraum*. Bei aufrecht stehenden, rohrförmigen Reaktoren nutzt man die Schwerkraft als Transportenergie. Schräg gelagerte Reaktionsrohre unterstützen die Förderung de Reaktionsmasse durch Rotation um die Längsachse. Bei Feststoffreaktoren mit Zwischenböden werden spezielle Fördereinrichtungen eingesetzt (z.B. Rührarme). Reaktionskessel sind mit entsprechenden Zuführungs- und Entnahmeeinrichtungen ausgestattet.
- *Sicherung einer ausreichenden Durchmischung der Reaktanden*. Während bei Prozessen in homogener Phase im Allgemeinen keine besonderen Einrichtungen zur Durchmischung der Reaktanden benötigt werden, müssen für Reaktionen mit heterogenen Phasen meist besondere konstruktive Vorrichtungen vorgesehen werden, um möglichst große Austauschflächen zwischen den Reaktanden zu schaffen. Das kann durch stationäre Leiteinrichtungen für den Stoffstrom (z.B. Leitbleche, Strombrecher), durch Rührwerke, durch Sprüheinrichtungen oder durch entsprechende Formen der Prozessorganisation (z.B.Gegenstromprinzip, Wirbelschichtprinzip) erreicht werden.
- *Sicherung der erforderlichen energetischen Bedingungen für den optimalen Prozessablauf.* Der meist hohe Energieumsatz bei Stoffwandlungsprozessen hat wesentlichen Einfluss auf die Reaktorgestaltung. Die energetischen Prozessbedingungen werden durch Einrichtungen für die Zuführung der Aktivierungsenergie und der Operationsenergie, durch Wärmeaustauschsysteme für die Sicherung einer optimalen Prozesstemperatur sowie durch eine entsprechende Auslegung der Reaktorwandungen für die Aufnahme der Temperatur- und Druckbelastungen sichergestellt.

- *Überwindung energetischer Reaktionshemmungen und ungünstiger Gleichgewichtsverhältnisse*. Chemisches Gleichgewicht, Reaktionsgeschwindigkeit und Reaktionsrichtung des Prozesses können durch Druckanwendung, Temperatur, Katalysatoreinsatz und Verweilzeit stark beeinflusst werden, was wiederum konstruktive
  Konsequenzen für die Reaktorgestaltung hat.
- *Sicherung der inneren Reaktorwandung gegen Korrosion*. Viele Reaktanden weisen ein außerordentlich aggressives Verhalten gegenüber den Konstruktionswerkstoffen der Reaktoren auf. Dem muss durch geeignete Werkstoffe und Schutzschichten sowie durch konstruktive Maßnahmen (z.B. Vermeidung von Toträumen) begegnet werden.

27.2. Systematik der Reaktoren

27.2.1. Einteilungskriterien und Reaktortypen

Die Vielfalt der Prozessbedingungen chemisch-technischer Verfahren hat zu einer bedeutenden Zahl unterschiedlicher Reaktortypen und -varianten geführt. Dem entsprechen zahlreiche Vorschläge von Ordnungssystemen, wie sie unter anderem von KEPPELER (Lit. 27.5., Seite 648), HENGLEIN (Lit. 27.1., Seite 161), VAN KREVELEN (Lit. 27.2., Seite 124 ff.), WICKE (Lit. 27.3., Seite 460 ff.), BRÖTZ (Lit. 27.4., Seite 21 ff.) und MATTHES (Lit. 27.5., Seite 650 ff.) angegeben wurden. Die einzelnen Ordnungsvorschläge verwenden z. T. sehr unterschiedliche Einteilungskriterien, die für den jeweils gedachten Zweck zu brauchbaren Lösungen führen.

So benutzt KEPPELER die Phasenkombinationen der Reaktionsmassen, die Art der Fördermittel und die Homogenität bzw. Heterogenität der Reaktionsmasse sowie die Art der Reaktorbeheizung als Ordnungskriterien. HENGLEIN kombiniert die Kriterien Reaktorgrundform und die Reaktionsbedingungen Temperatur und Druck. BRÖTZ legt die Aktivierungsenergie und den Phasenzustand der Reaktionsmasse zugrunde. Er unterscheidet Reaktortypen zur Umsetzung in der Gasphase, Reaktortypen für Umsetzungen in der flüssigen Phase, Reaktortypen für Umsetzungen zwischen Gasen und Flüssigkeiten usw. WICKE geht von physikalisch-chemischen Aspekten aus, wie Verweilzeit, Zerteilungszustände, Mischung und Förderung der Reaktionsmasse und der Temperaturhaltung aus. MATTHES strebt eine Lösung an, bei der sowohl technologische Verfahren wie auch technische Apparate nach gleichen Kriterien geordnet werden können. Dabei bestimmt er als leitende Systematisierungsgesichtspunkte die Energieverhältnisse der Reaktionen, die Art der zugeführten Energie, die Art des Reaktionsablaufes, die Beeinflussung von Gleichgewichten, der Reaktionsgeschwindigkeit und von Reaktionswegen. Diese Art des Vorgehens kommt unseren Intentionen sehr nahe.

Für allgemeintechnologische Betrachtungen hat sich ein funktional-technologisches Vorgehen bewährt, das sich eng an der Systematik der technologischen Vorgänge orientiert und durch ein hierarchisches Vorgehen die Anwendung spezifischer Kriterien für die einzelnen Ordnungsebenen ermöglicht.

In Anlehnung an die Hierarchie der technologischen Vorgänge unterscheiden wir folgende Ebenen:

1. Hierarchieebene: Reaktortypen
2. Hierarchieebene: Reaktorgruppen
3. Hierarchieebene: Grundreaktoren

Dem folgend lässt sich die Gesamtheit der Reaktoren im ersten Schritt in fünf *Reaktortypen* untergliedern, wobei die Art der Aktivierungsenergie für den Stoffwandlungsprozess das Einteilungskriterium liefert:

- *Thermochemische Reaktoren.* Sie dienen zur Durchführung thermochemischer Prozesse. In ihnen wird die Reaktion durch Wärmezufuhr ausgelöst und (bei endothermen Prozessen) in Gang gehalten.
- *Elektrolysezellen.* Sie dienen zur Realisierung elektrochemischer Prozesse.
- *Fermenter.* Sie sind für biochemische Prozesse ausgelegt.
- *Strahlungsreaktoren.* Strahlungsquellen sorgen in ihnen für die Prozessdurchführung.
- *Mechanochemische Reaktoren.* Sie sind die charakteristischen Reaktoren für mechanochemische Prozesse.

Die weitere Untergliederung der Reaktortypen in Reaktorgruppen und Grundreaktoren erfolgt auf der Basis der für die zu realisierenden Prozesse typischen Forderungen und Reaktionsbedingungen. Sie müssen für jede Gruppe gesondert bestimmt und daraus die Einteilungskriterien abgeleitet werden.

Als wesentliche Gesichtspunkte für die Systematik der weiteren Hierarchieebenen können herangezogen werden:

- die Reaktionsenthalpie,
- die Beeinflussung von Reaktionsgleichgewichten,
- die Art des Reaktionsablaufes,
- die Phasenverhältnisse der Reaktionsmasse (homogen und ohne innere Phasengrenzfläche, heterogen und damit zwei oder mehr Phasen umfassend),
- die Beeinflussung von Reaktionsgeschwindigkeit und Reaktionsweg,
- die Strömungsverhältnisse in der Reaktionsmasse (Gleichstrom, Gegenstrom- oder Kreuzstromführung der einzelnen Phasen),
- die Art der Temperaturführung,
- die Art der stofflichen Wechselwirkung mit der Umgebung (offene und geschlossene Systeme),
- das Zeitverhalten der Reaktoren (stationärer Betrieb mit gleichen Zuständen der Reaktionsmasse an beliebiger Stelle und zu beliebiger Zeit des Reaktionsraumes, nichtstationärer Betrieb mit sich in Zeit und Ort ändernden Zuständen der Reaktionsmasse an bestimmten Orten des Reaktionsraumes.)

Nach Möglichkeit sollte jeweils eine zweistellige Verknüpfungsmatrix angestrebt werden.

27.2.2. Multifunktionalität von Reaktoren

Aus der Tatsache, dass die Reaktortypen in ihrer konstruktiven Gestaltung weniger durch den Chemismus der Stoffwandlungsprozesses als vielmehr durch die zu realisierenden Prozessbedingungen charakterisiert werden, ergibt sich eine wesentliche Besonderheit der Reaktoren gegenüber den Werkzeugmaschinen: ihre Multifunktionalität.

Einerseits können sehr unterschiedliche Prozesse und Reaktionsabläufe in einem bestimmten Reaktortyp durchgeführt werden. Schachtöfen eignen sich beispielsweise für die Reduktion oxidischer Eisen-, Kupfer-, Blei- oder Zinnerze zu Metallen und für das Brennen des Kalksteins zu Branntkalk. Drehrohröfen werden für die Zementherstellung, für den Rennprozess bei der Ferronickelerzeugung, für den Wälzprozess bei der Zinkgewinnung und auch bei der Kalzinierung von Aluminiumhydroxid zu Tonerde eingesetzt.

Andererseits ist die Durchführung bestimmter reaktionstechnischer Aufgaben in gleichartigen Verfahren zur Verarbeitung von Rohstoffen mit gleichen Eigenschaften in sehr verschiedenartigen Reaktortypen möglich. So können sulfidische Erze zur Erzeugung von Schwefeldioxid in Etagenöfen, Drehrohröfen, Schweberöstreaktoren oder auch Wirbelschichtreaktoren abgeröstet werden.

Die Multifunktionalität der Reaktoren wird durch den Prozesstyp (Thermochemischer, elektrochemischer Prozess) und die Phasenverhältnisse (Gas-Feststoff-Reaktionen, Flüssigkeits-Gas-Reaktionen usw.) begrenzt. Das hat auch zu einer Einteilung der Reaktoren nach dem Aggregatzustand der Reaktanden geführt (vgl. Lit. 27.4., S.22 ff.):

- Reaktortypen für Umsetzungen in der Gasphase
- Reaktortypen für Umsetzungen in flüssiger Phase
- Reaktortypen für Umsetzungen zwischen Gasen und Flüssigkeiten
- Reaktortypen für Umsetzungen zwischen Gasen und Festkörpern
- Reaktortypen für Umsetzungen zwischen Flüssigkeiten und Festkörpern.

27.3. Thermochemische Reaktoren

Thermochemische Reaktoren sind Stoffwandlungssysteme, in denen die Wärmeenergie die Prozessauslösende und Prozessunterhaltende Operationsenergie ist. Sie sind in der stoffwandelnden Produktion außerordentlich verbreitet, weil etwa 95% aller großtechnisch bedeutsamen Verfahren durch thermische Energie aktiviert werden. Die Mannigfaltigkeit ihrer Erscheinungsformen ist durch die Vielfalt der Reaktionsbedingungen und Phasenzustände der Reaktanden bedingt.

Die Hauptfaktoren, die den Aufbau thermochemischer Reaktoren bestimmen, sind die Arbeitsweise, der Aggregatzustand der Reaktionsmasse, die Höhe der Reaktionstemperatur, die Druckbedingungen und der

Einsatz von Katalysatoren. Die Grundform kann sowohl das Reaktionsrohr wie auch der Reaktionskessel sein. Sie wird vor allem von der Arbeitsweise (kontinuierlich, diskontinuierlich) bestimmt.

Von wesentlichem Einfluss auf den Reaktoraufbau ist die Reaktionstemperatur. Sie bestimmt das Beheizungssystem (bei endothermen Prozessen), gegebenenfalls einzubauende Kühlsysteme (bei exothermen Prozessen), die Konstruktion und das Material der Reaktorwandung und deren Innenauskleidung. In der Produktionspraxis kommen Temperaturen bis 2000 °C zur Anwendung, wobei je nach den zu erreichenden Temperaturen Wasserdampf- (bis 250 °C), Ölumlauf- (bis 400 °C), Gas- (bis 1300 °C) und elektrische Heizsysteme (bis 2000 °C) eingesetzt werden können. Die Temperatur von 400 °C ist dabei insofern eine Einteilungsgröße, als mit der Rotgluttemperatur von Stahl sich die Materialeigenschaften hinsichtlich der Festigkeit sprunghaft ändern und damit neue konstruktive Anforderungen im Reaktorbau auftreten.

Thermochemische Prozesse unter erhöhtem Druck erfordern druckbeständige Reaktionsräume (Druckrohre, Druckkessel).

Der Phasenzustand der Reaktionsmasse ist ebenfalls von erheblichem Einfluss auf die Reaktorkonstruktion. Es ist leicht einzusehen, dass Gasphasenprozesse, Feststoffreaktionen oder Gas-Flüssigkeits-Reaktionen eine sehr unterschiedliche Reaktorgestaltung erfordern.

Für die Einteilung der thermochemischen Reaktoren in Reaktorgruppen ergeben sich als zweckmäßige Einteilungskriterien zum einen die Reaktorgrundform (Rohr, Kessel) und zum anderen die energetischen Reaktionsbedingungen (Temperatur, Druck). Daraus ergibt sich folgende Systematik (Tabelle 27.1.):

Grundform	Reaktionsbedingungen		
	Gemäßigter Druck		Hochdruck
	< 400 °C	> 400 °C	t beliebig
Rohr	Reaktionstürme	Reaktionsöfen	Druckrohre
Kessel	Reaktionsgefäße	Gefäßöfen	Autoklaven

Tabelle 27.1. Unterteilung der thermochemischen Reaktoren

Reaktionstürme sind für Normaldruck und Reaktionstemperaturen unter 400 °C ausgelegte rohrförmige Reaktoren. Sie weisen keine feuerfeste Ausmauerung auf. In ihnen werden vorwiegend Stoffwandlungsprozesse in heterogener Phase durchgeführt (z.B. Gas-Flüssigkeits-Reaktionen, Flüssigkeits-Feststoff-Reaktionen). Zur gründlichen Durchmischung der Reaktanden verfügen sie meist über Einrichtungen zur Zwangsführung der Reaktanden, wie Siebböden, Glockenböden, Füllkörper, Wirbelschichteinrichtungen, Röhrenbündel und Berieselungsanlagen.

Typische Grundreaktoren dieser Gruppe sind Rieseltürme, Glockenbodenkolonnen, Sprühreaktoren, Wirbelschichtreaktoren und Rohrbündelreaktoren (Abb.27.3.)

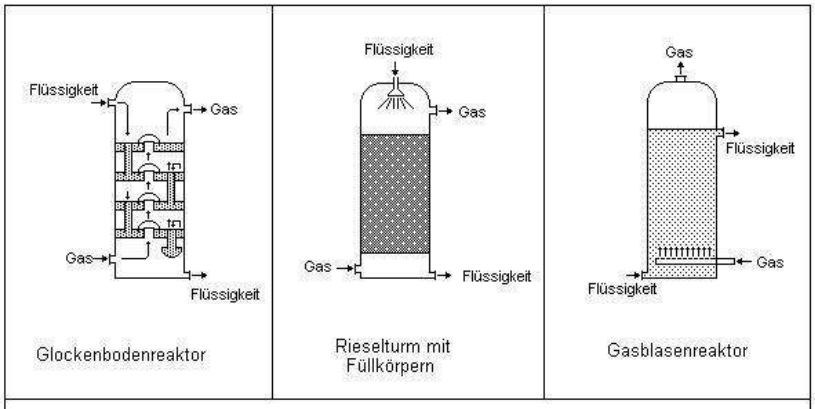


Abb.27.3. Reaktionstürme

Reaktionsöfen arbeiten bei Normaldruck und Temperaturen über 400 °C. Sie sind in der chemischen Produktion sehr verbreitet. Die Vielfalt ihrer Formen leitet sich vor allem daraus ab, dass in ihnen Gas-Feststoff-Reaktionen, Feststoffreaktionen und auch Gasreaktionen durchgeführt werden können. Sie haben zum Teil beträchtliche Abmaße. Die Reaktorwandungen sind durch feuerfeste Auskleidungen und oft auch durch Kühleinrichtungen gegen Überhitzung gesichert. Die Reaktionsöfen werden im allgemeinen kontinuierlich betrieben. Die für endotherme Prozesse notwendige Operationsenergie wird zum Teil durch feste Brennstoffe in der Reaktionsmasse, durch vorgeheizte gasförmige Reaktanden oder durch spezifische Heizungssysteme (Gasbrenner, Elektroheizung) zugeführt.

Charakteristische Grundreaktoren dieser Gruppe sind:

- *Schachtöfen*. Es handelt sich dabei im Allgemeinen um aufrecht stehende, von oben her zu beschickende, mit feuerfestem Material ausgekleidete Reaktionsapparate. Sie werden meist direkt beheizt, indem Brennstoff dem Reaktionsgut beigemischt wird. Beispiele sind der Hochofen zur Roheisengewinnung, der Kalkschachtofen und der Spülgasschwelofen zur Kohleschwelung.

- *Drehrohröfen*. Drehrohröfen sind liegende Rohre mit meist etwas geneigter Lagerung und erhöhtem Ofeneingang. Sie rotieren langsam um ihre Längsachse, wodurch das aufgegebene Gut den Ofen langsam durchwandert und dabei reagiert. Der Stoffdurchsatz der Drehrohröfen kann recht erheblich sein. Sie haben je nach Verwendungszweck Abmaße bis zu 140 m Länge und 4 m Durchmesser. Die Beheizung erfolgt bei endothermen Prozessen direkt durch einen Brenner, der in die Austrittsöffnung hineinragt. Drehrohröfen sind für Feststoff- und Feststoff-Gas-Reaktionen ausgelegt. Beispiele für Drehrohröfen sind der Zementdrehrohrofen, Brennöfen zum Abrösten für Pyrit, zur Sulfatzementproduktion und Kalzinieröfen für Tonerde und Soda.

- *Etagenöfen*. Der Schacht der Etagenöfen ist durch mehrere Schamottezwischenböden (etwa 7 bis 11 Etagen) in sogenannte Herde unterteilt, auf denen das Reaktionsgut ausgebreitet ist. Das Reaktionsgut wird durch sich langsam drehende, wassergekühlte Krählarme ständig gewendet und von den oberen Etagen durch Falllöcher in die tiefer liegenden gefördert. Der Reaktionsmasse strömt Luft entgegen. Die Ausmaße der Öfen liegen bei 10 bis 15 m Höhe und 2 bis 8 m Durchmesser. Öfen dieser Art werden zum Abrösten von Schwefelverbindungen sowie zum Brennen von Magnesit, Dolomit, Gips und Bauxit eingesetzt.

- *Kanalöfen*. Kanalöfen (auch Tunnelöfen) sind langgestreckte (50-80 m lange und 1,6-2 m breite), indirekt beheizte Kanäle oder Röhren, die das feste Reaktionsgut auf hitzebeständigen Wagen von 1 bis 2 t Fassungsvermögen langsam durchläuft. Die Stoffwandlungsreaktion findet meist am Ende des ersten Drittels des Kanals statt. Der vordere Raum dient zum Vorwärmen des Reaktionsgutes, der hintere zur Abkühlung des Reaktionsprodukts. Die Verweilzeit der Reaktionsmasse im Reaktor beträgt 40 bis 50 Stunden. Kanalöfen sind in der keramischen Industrie verbreitet, sie werden auch zur Kalkstickstoffproduktion eingesetzt.

- *Verbrennungsöfen*. Sie dienen zur Oxydation fester und gasförmiger Stoffe. Gasphasenöfen sind meist mit Katalysatoren in Form von Horden-, Röhren- oder Netzkontakten ausgestattet. Beispiele für Verbrennungsöfen sind der Schwefeldioxid-Kontaktofen, der Kontaktofen zur Ammoniakoxydation und der Ofen zur Chlorwasserstoffsynthese, die Generatoren zur Kohlevergasung und der Wirbelschichtröstofen. (Abb.27.4. und 27.5.).

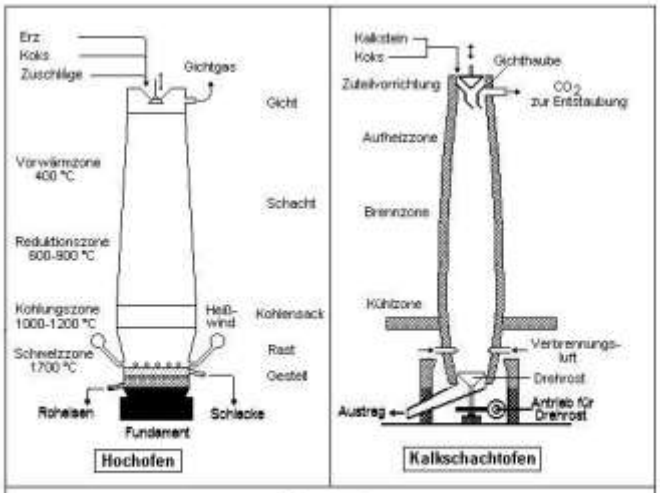


Abb.27.4. Reaktionsöfen I

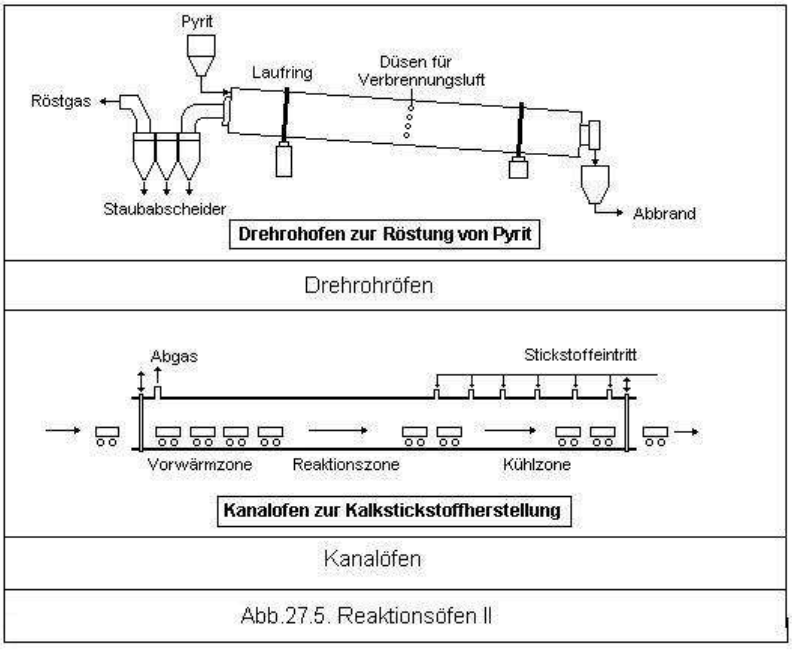


Abb.27.5. Reaktionsöfen II

Druckrohre sind langgestreckte, bis zu 20 m hohe Reaktoren mit relativ geringem Durchmesser und starker Wandung. Sie sind überwiegend Kontaktapparate und besitzen entsprechende Einbauten zur Aufnahme der Kontaktmasse (Kontaktrohre, Horden Wirbelschicht) sowie zur Stromführung der Reaktanden. Druckrohre arbeiten kontinuierlich und sind typisch für Gasphasenprozesse.

Typische Grundreaktoren dieser Gruppe sind Kontaktöfen (Ammoniakkontaktofen, Kontaktofen zur Kohlehydrierung, Methanolsyntheseofen, Schwefeltrioxidsyntheseofen) und Drehrostgeneratoren zur Sauerstoffdruckvergasung von Kohle (Abb.27.6.).

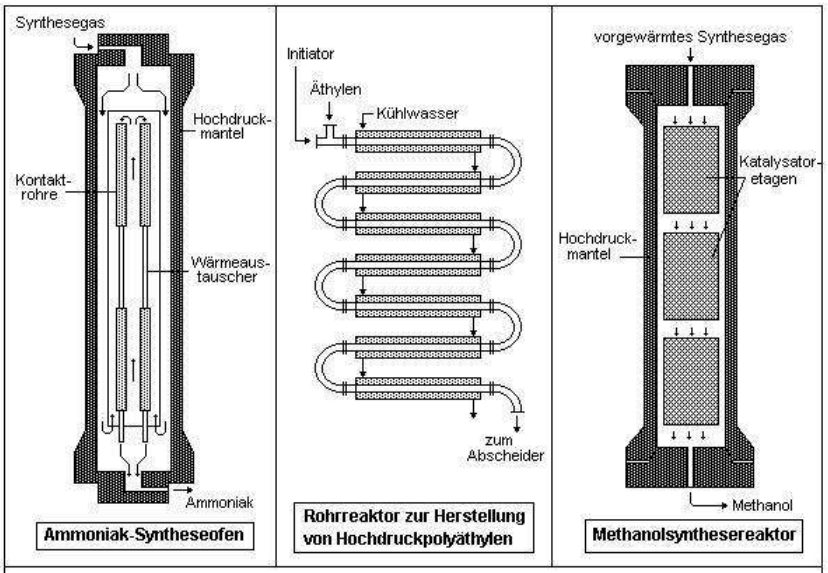


Abb.27.6. Druckrohre

Reaktionsgefäße sind kesselförmige Reaktoren für Stoffwandlungsprozesse, die unter Normaldruck und Temperaturen bis 400 °C durchgeführt werden (Abb.27.7.). Ihre Arbeitsweise ist in Abhängigkeit von der Reaktionsgeschwindigkeit des Prozesses kontinuierlich oder periodisch. Reaktionsgefäße sind charakteristisch für Reaktionen in der flüssigen Phase oder für Flüssigkeits-Feststoff-Reaktionen. Die Durchmischung der beiden Phasen der Reaktanden, ein vollständiger Konzentrationsausgleich und Temperaturkonstanz innerhalb der gesamten Reaktionsmasse wird durch Rührwerke, Kreislaufführung der flüssigen Phase oder rotierende Bewegung der Reaktoren erreicht. Die Beheizung erfolgt indirekt mittels Wärmeaustauschern innerhalb oder außerhalb des Reaktionsraumes oder auch durch elektrische Mantelheizung.

Die Gruppe der *Gefäßöfen* umfasst kesselförmige Reaktoren, die bei Normaldruck und Temperaturen über 400 °C arbeiten. Sie besitzen eine Auskleidung aus feuerfestem Material. Die Energiezufuhr kann direkt durch Verbrennung von Heizgasen im Ofenraum oder indirekt erfolgen.

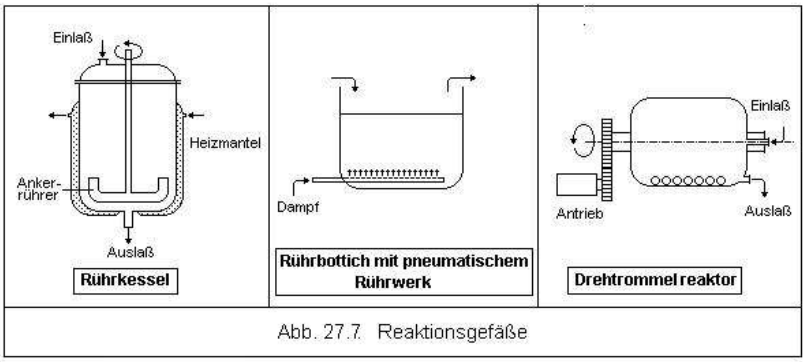


Abb. 27.7. Reaktionsgefäße

Wichtige Grundreaktoren sind: Konverter (Stahlgewinnung, Kupfergewinnung), Flammöfen (Siemens-Martin-Ofen, Glaswannenofen), Tiegelöfen, Muffelöfen (Zinkherstellung), Kammeröfen (Koksherstellung), Induktionsöfen und Lichtbogenöfen (Elektrostahlofen, Karbidofen) (Abb.27.8.).

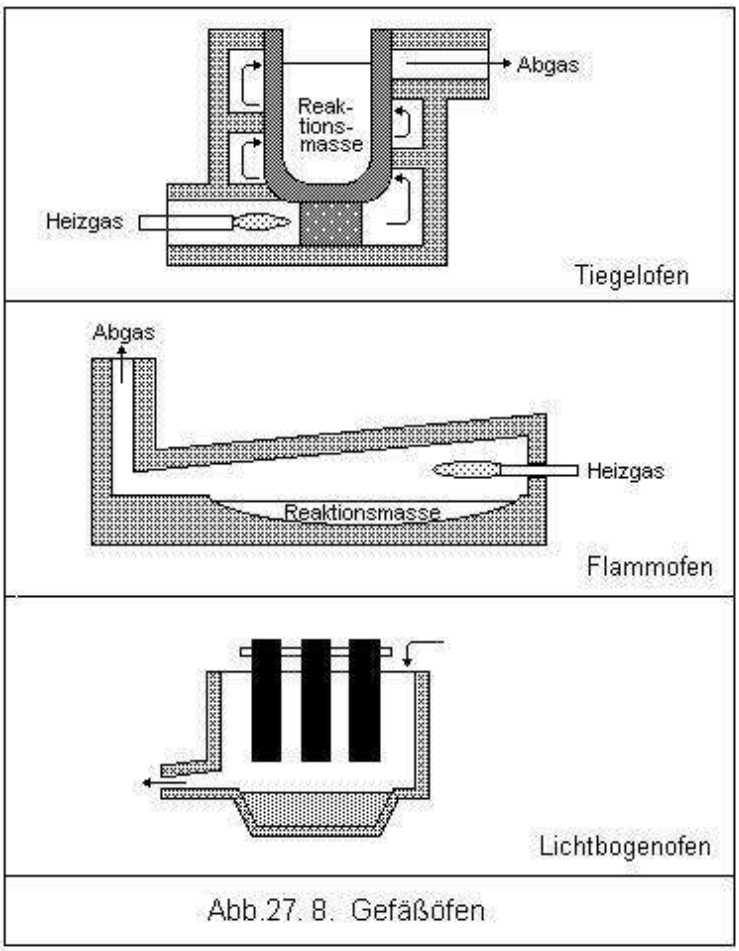


Abb.27. 8. Gefäßöfen

Die *Autoklaven* bilden die dritte Gruppe kesselförmiger Reaktionsapparate. Sie besitzen starke Wandungen zur Aufnahme von Druckkräften, sind oft mit Rührwerken ausgerüstet und mit Heiz- bzw. Kühleinrichtungen versehen. Kessel und Deckel sind durch Flansche und Scheibendruck fest miteinander verbunden. Autoklaven sind in organisch-chemischen Prozessen verbreitet, z.B. in der Polyestererzeugung, bei der Butadïenpolymerisation, bei der Zellstoffherstellung, bei der Fettspaltung aber auch beim Bauxitaufschluß in der Aluminiumherstellung (Abb.27.9.).

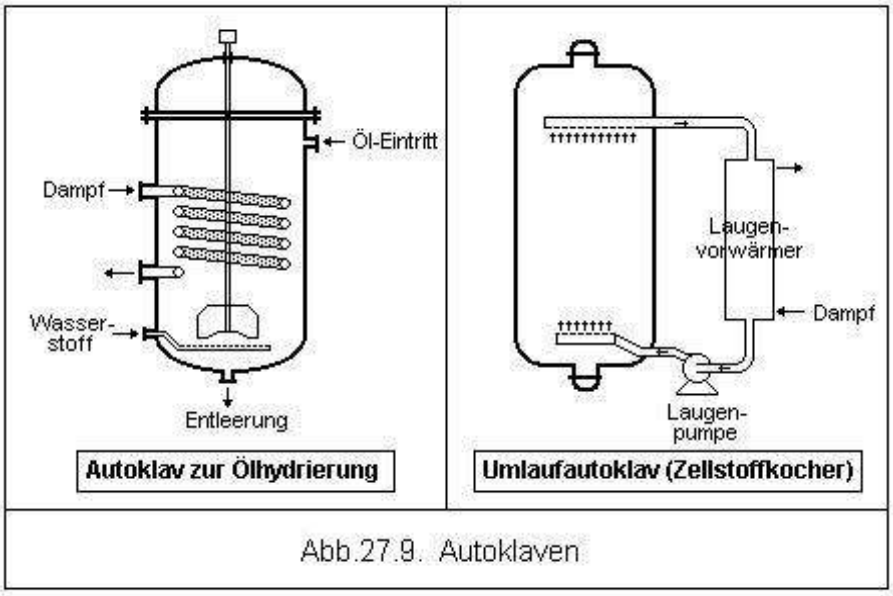


Abb.27.9. Autoklaven

27.4. Elektrolysezellen

Die charakteristischen Reaktoren zur Durchführung elektrochemischer Prozesse sind Elektrolysezellen. Sie stellen im Prinzip flache, meist rechteckig gestaltete wannenförmige Behälter dar, in denen Elektrolytlösungen bzw. Elektrolytschmelzen unter der Einwirkung einer elektrischen Gleichspannung zerlegt werden. Als Konstruktionsmaterialien kommen je nach Prozessbedingungen Stahl, Beton, Holz oder Steinzeug in Frage.

Wesentliche Teilsysteme der Elektrolysezellen sind die *Elektroden*. Die Elektrodenwerkstoffe müssen den elektrischen Strom gut leiten und zugleich gegenüber den an ihrer Oberfläche entstehenden Reaktionsprodukten möglichst beständig sein. Als Materialien kommen Metalle, Kohle, Graphit und Metalloxide in Frage. Die Elektrodenform wird so gewählt, dass der elektrische Widerstand gegenüber dem Elektrolyten möglichst gering ist und eine große aktive Oberfläche gegeben ist. Meist verwendet man Platten, Bleche, Bänder oder Netze. Bei Schmelzflusselektrolysen dient häufig die Zellenwandung als eine der Elektroden.

Ein weiterer, den Aufbau der Zellen bestimmender Faktor ist der Aggregatzustand der entstehenden Produkte. Von ihm hängt der geschlossene oder offene Aufbau ab.

Um die Abwanderung von Reaktionsprodukten an die Gegenelektroden zu verhindern, werden in einer Reihe von Fällen die Zellen mit *Diaphragmen* ausgerüstet. Das sind halbdurchlässige Wände, die den Elektrolyten freien Durchlas gewähren, die Elektrolyseprodukte aber zurückhalten. Als Werkstoffe werden Asbestplatten, Textilgewebe, Glasfritten und Metallnetze eingesetzt (Abb.27.10.).

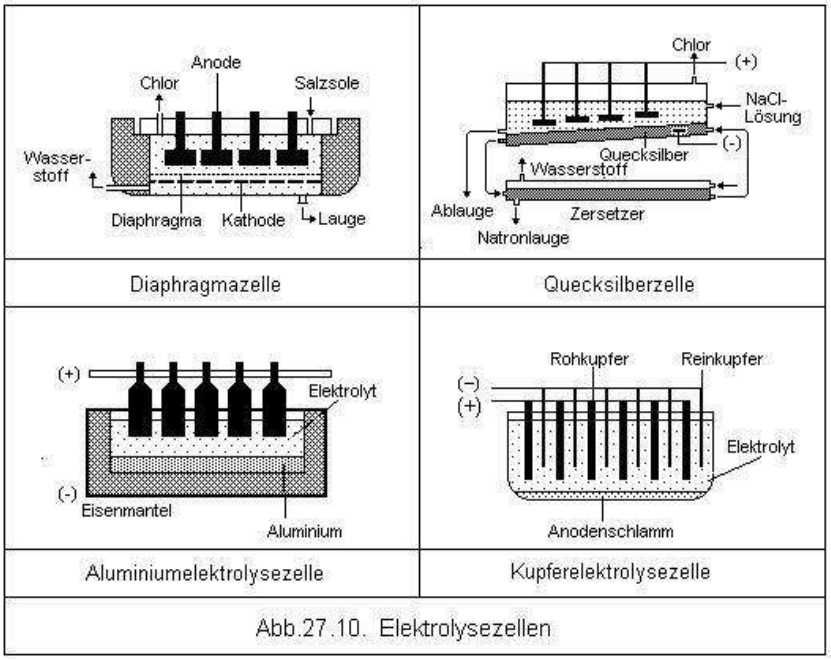


Abb.27.10. Elektrolysezellen

Für die Untergliederung der Elektrolysezellen und Reaktorgruppen bieten sich als Kriterien der Phasenzustand des Elektrolyten (Lösung bzw. Schmelze) und die Abgrenzung von Anoden- und Kathodenraum an (Vorhandensein eines Diaphragmas) an (Tabelle 27.2.).

Phasenzustand des Elektrolyten	Zellenaufbau mit Diaphragma	ohne Diaphragma
Lösung	Diaphragmazelle	Glockenzelle
Schmelze	-	Schmelzflußzelle

Tabelle 27.2. Reaktorgruppen der Elektrolysezellen

Anwendung findet die *Diaphragmazelle* bei der Alkalichlorid-Elektrolyse und der Fluorgewinnung.

Diaphragmalose *Glockenzellen* sind die Raffinationszellen für Kupfer und Silber und die Elektrolyseure zur Wasserzerlegung.

Schmelzflußzellen werden bei der Aluminiumelektrolyse, der Gewinnung metallischen Calciums, Magnesiums und Natriums (Downs-Zelle) angewandt.

Eine gewisse Sonderstellung nimmt die Quecksilberzelle der Alkalichlorid-Elektrolyse ein. Das Reaktionsprodukt wird von der ständig bewegten Quecksilberkathode als Amalgam gebunden, in einem separaten Zersetzer mit Wasser ausgelaugt und zu Natronlauge und Wasserstoff umgesetzt.

27.5. Fermenter

Biochemische Prozesse werden in Fermentern (Bioreaktoren) durchgeführt. In ihnen verläuft das Zellwachstum der produzierenden Mikroorganismen bzw. die biochemische Substratumwandlung. Bei diesem Reaktortyp handelt es sich um kesselförmige Reaktoren sehr unterschiedlichen Volumens von wenigen m^3 bis über 1000 m^3. Sie weisen eine Reihe von Gemeinsamkeiten mit den Reaktionsgefäßen der thermochemischen Reaktoren auf, mit denen sie wesentliche Prozessbedingungen gemeinsam haben: niedere Prozesstemperaturen zwischen 20 und 40 °C und Normaldruck. Die Reaktionsmasse besteht aus der wässrigen Nährlösung, in der das Substrat gelöst oder fein verteilt enthalten ist. Die Arbeitsweise ist bei den meisten Prozessen periodisch.

Zur technischen Ausrüstung von Fermentern gehören Durchmischungssysteme, um die Stoff- und Temperaturhomogenität im Reaktionsraum zu gewährleisten. Bei den Rührwerken sind Scheiben- und Turbinenrührer vorherrschend, die neben der Durchmischung der Reaktionsmasse auch eine feine Bläschenverteilung der Luft zu sichern haben. Neben mechanischen Rührern sind pneumatische und hydraulische Rührsysteme im Einsatz.

Der größte Teil der mikrobiellen Verfahren wird aerob durchgeführt, d.h. den Zellen muss Sauerstoff zur Atmung (als Energiequelle) zugeführt werden. Bevor die Luft über Düsen dem Reaktionsraum geleitet wird, muss sie durch Filtereinrichtungen (Glaswollefilter, Filterkerzen) gereinigt und keimfrei gemacht werden. Zur Sterilisation werden in der industriellen Praxis die thermische Sterilisation (Dampf) und die Sterilisation durch Filtration (bakteriendichte Filter) angewandt.

Beheizungs- und Kühleinrichtungen gehören zur Ausstattung jedes Fermenters, weil hohe Forderungen an die Temperaturkonstanz der Reaktionsmasse gestellt werden.

Als Konstruktionsmaterial ist vorwiegend Glas oder nichtrostender Stahl im Einsatz. Die Reaktorform ist zylindrisch gestaltet.

Charakteristisch für Fermenter ist eine Vielzahl von Mess- und Regelungseinrichtungen für Temperatur, Luftzuführung, pH-Wert, Intensität der Durchmischung und die Dosierung von Reaktanden und Hilfsstoffen (Abb.27.11.).

Die Fermenter lassen sich zweckmäßigerweise nach der Art der Durchmischung der Reaktionsmasse einteilen. Man unterscheidet

- Fermenter mit mechanischen Rührern (Turbinenrührer, Umlauffermenter, Vibromischer),
- Pneumatisch rührende Fermenter (Zylinder-Kegel-Reaktor, Blasensäule, mehrstufiger Turmreaktor, Airliftreaktoren),
- Hydraulisch rührende Fermenter (Zyklonreaktoren, Düsenumlaufreaktoren, Tauchstrahlreaktoren).

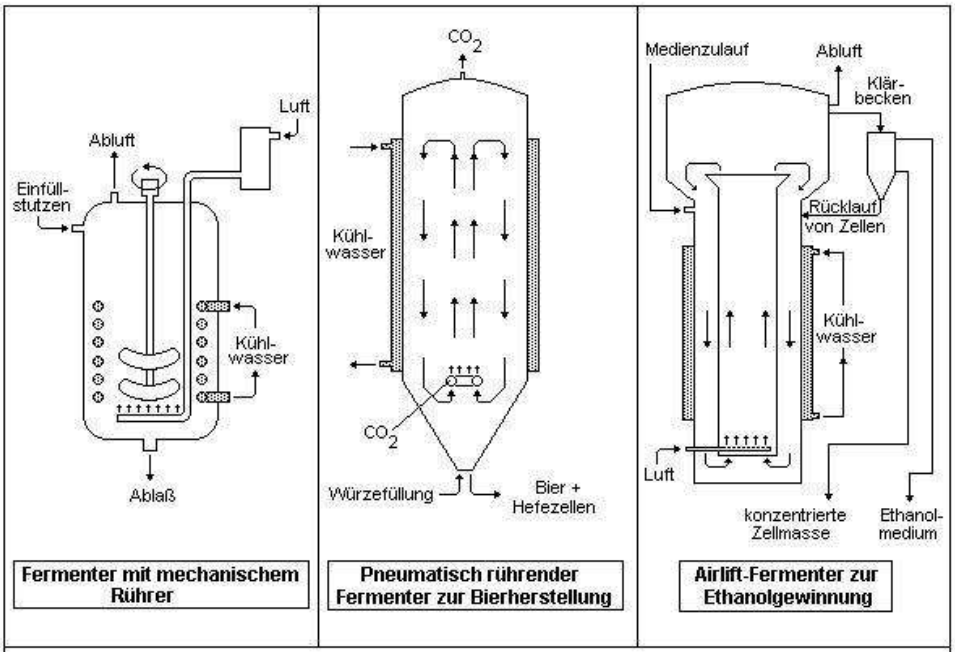


Abb.27.11. Fermenter

27.6. Strahlungsreaktoren

Die beginnende Nutzung der Strahlungsenergie für die Aktivierung der Reaktanden in Stoffwandlungsprozessen hat einen neuen Typ von Reaktoren entstehen lassen: die Strahlungsreaktoren.

Die Reaktionsbehälter weisen gegenüber den klassischen thermischen Reaktoren eine Reihe von Besonderheiten auf, die vor allem von der Art der angewandten Strahlungsenergie abhängen. Als Strahlungsquellen kommen in Frage UV-Lampen, radioaktive Gammastrahler (z.B. Kobalt 60), Elektronenstrahlgeneratoren und Quantengeneratoren. Zur räumlichen Orientierung und Dosierung der Strahlung sind entsprechende Einrichtungen wie optische Fenster, Reflektoren und magnetische Linsen vorhanden.

Die Strahlungsreaktoren bedürfen eines Schutzmantels, der die Strahlung nicht nach außen treten lässt. Sie werden dazu mit Blei-, Beton- oder Stahlumkleidungen versehen.

Gegenwärtig bekannte Grundreaktoren dieses Typs sind Gammastrahlungsreaktoren, UV-Reaktoren und Elektronenstrahlreaktoren.

Gammastrahlreaktoren nutzen Radionukleïde als Strahlungsquellen (z.B. Co_{144}, Cs_{137} oder Sr_{90}). Die sehr durchdringungsfähige Strahlung wird zur Initiierung von Polymerisationsprozessen hochmolekularer Harze mit anorganischen und organischen Gerüstsubstanzen verwendet. Die Gerüstsubstanzen werden bis 40% ihrer Masse mit polymerisationsfähigen Monomeren getränkt und der Bestrahlung ausgesetzt, wobei Polymerbeton, Polymerholz u. ä. entstehen. Die harte Strahlung erfordert eine strahlensichere Ummantelung der Reaktoren.

Elektronenstrahlreaktoren besitzen als Strahlungsquellen Elektronenstrahlgeneratoren. Sie erreichen Energien zwischen 100 000 und 3 000 000 MeV. Wegen ihrer geringen Reichweite und Eindringtiefe werden sie vor allen für die Beschichtung flächiger Gebilde (Folien, Textilbahnen) mit polymerisierenden Hochmolekularen eingesetzt. Sie besitzen keine so aufwendigen Abschirmungseinrichtungen wie die Gammastrahlungsreaktoren.

UV-Reaktoren besitzen abgeschlossene Reaktionsräume, in denen meist gasförmige Reaktanden einer UV-Strahlung ausgesetzt werden. Die Bestrahlung erfolgt durch stabförmige Tauchlampen oder ummantelte Lampen, durch die die Reaktionsmasse hindurchgeleitet wird. Pumpen sorgen für einen gesteuerten Umlauf und gute Durchmischung. Die Lampenwärme muss zum Schutz der Lampen abgeführt werden.

27.7. Mechanochemische Reaktoren

Mittels mechanischer Energie angeregte Stoffwandlungsprozesse werden in mechanochemischen Reaktoren durchgeführt. Sie besitzen weitgehende Gemeinsamkeiten mit Zerkleinerungs- und Mischapparaturen. Charakteristisch ist aber jeweils die hohe Energieintensität an der Wirkstelle, um die erforderliche Aktivierung der Reaktanden zu erreichen. Dieser Reaktortyp ist bisher wenig verbreitet. Es lassen sich deshalb noch keine weitergehenden Verallgemeinerungen treffen.

Beispiele für Reaktoren dieses Typs sind Schwingmühlen- und Strahlmühlenreaktoren, Kugelmühlen, Intensivrührer, Stoßreaktoren, Extruderreaktoren und Ultraschallreaktoren.

27.8. Organstruktur der Reaktoren

Das allgemeine Strukturmodell technischer Systeme hat auch für die Reaktoren volle Gültigkeit. Alle Funktionsorgane kommen auch in Reaktoren vor. Sie weisen allerdings spezifische Erscheinungsformen auf, die sich aus den Anforderungen der Stoffwandlungsprozesse ableiten. Die durch den Reaktor zu realisierenden Hauptfunktionen sind im Wesentlichen:

- die Aufnahme der Ausgangsstoffe
- die Sicherung einer ausreichenden Verweilzeit der Reaktionsmasse im Reaktionsraum
- die Sicherung einer ständigen Durchmischung der Reaktanden
- die Förderung der Reaktionsmasse durch den Reaktionsraum
- die Zuführung von Aktivierungsenergie
- die Zuführung von Operationsenergie bzw. die Abführung überschüssiger Wärmeenergie.

Die einzelnen Funktionsorgane des Reaktors übernehmen jeweils entsprechende Teilfunktionen für die Sicherung des Gesamtprozesses.

27.8.1. Bearbeitungsteil von Reaktoren

Das wesentliche Charakteristikum der Bearbeitungsfunktion in Stoffwandlungsprozessen ist die Schaffung und Aufrechterhaltung optimaler Bedingungen für die Wechselwirkung der Reaktanden und den Reaktionsablauf. Im Unterschied zu den Stoffformungsverfahren, bei denen die Veränderung des Arbeitsgegenstandes durch die Einwirkung eines Werkzeugs oder über ein Wirkmedium erfolgt, hat der Bearbeitungsteil von Reaktoren ein für den jeweiligen Prozess spezifisches Milieu von Reaktions- und Wechselwirkungsbedingungen der Arbeitsgegenstände untereinander zu sichern.

Im Bearbeitungsteil werden die Bearbeitungsfunktion und die Positionierungsfunktion realisiert. Die Führungsfunktion tritt wegen der Spezifik der Stoffwandlungsprozesse nur selten auf.

Auch in Reaktoren ist das *Arbeitsorgan* das wesensbestimmende Teilsystem. Es wird durch den Reaktionsraum repräsentiert. Er nimmt die Reaktionsmasse auf und sichert die für den Reaktionsablauf notwendigen Bedingungen (das technologische Milieu). Die Gestalt des Reaktionsraumes wird weitgehend durch die rohr- bzw. kesselförmige Grundform des Reaktors bestimmt. Ob der Reaktionsraum offen oder geschlossen ausgeführt ist, wird sowohl vom Phasenzustand der Reaktionsmasse, der Notwendigkeit von Druckanwendung und von energetischen Forderungen bestimmt.

Die Wandung des Reaktors wird in ihrer konstruktiven Ausführung vor allem durch die auftretenden Reaktionsbedingungen bestimmt. Reaktionsräume für Hochtemperaturprozesse haben eine temperaturbeständige Auskleidung, Hochdruckprozesse erfordern druckfeste Mäntel. Ebenso muss die Reaktorwandung gegen chemische Angriffe beständig bzw. geschützt sein.

Der Reaktionsraum ist nicht identisch mit dem *Reaktionsort*, dem Bereich, in dem die eigentliche Stoffwandlung erfolgt. Es wird zwischen Raum-, Schicht- und Zonenreaktion unterschieden. Eine Raumreaktion liegt dann vor, wenn die chemischen Reaktionen im gesamten Reaktionsraum ablaufen. Beispiele dafür sind die Gärprozesse in Bierbottichen, die Hafenschmelze bei der Glasherstellung und der Ammoniak-Soda-Prozess in der Karbonisierungskolonne. In diesen Prozessen fallen Reaktionsort und Reaktionsraum zusammen.

Bei zahlreichen anderen Prozessen ist der Reaktionsort auf einen begrenzten Bereich konzentriert. Das ist z.B. im Hochofenprozess der Fall, beim Zementbrennen im Drehrohrofen oder beim Kalkbrennen im Schachtofen. Man spricht dann von einer Schichtreaktion. Schrumpft die Schicht zu einer schmalen Zone

zusammen, wie bei der Chlorwasserstoffsynthese im Verbrennungsofen, bei der Ammoniakoxydation im Kontaktofen oder der Alkalichloridelektrolyse in der Elektrolysezelle, so haben wir es mit einer Zonenreaktion zu tun (Abb.27.12.) .

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Reaktionsraum primär durch die von ihm zu realisierenden Reaktionsbedingungen geprägt wird, vor allem durch den Phasenzustand der Reaktionsmasse, die energetischen Prozessbedingungen und die notwendige Verweilzeit der Reaktanden. Der Chemismus der Reaktionen tritt demgegenüber zurück. Das macht auch verständlich, warum in prinzipiell gleichartig gestalteten Reaktionsräumen chemisch sehr unterschiedliche, von den Reaktionsbedingungen aber ähnliche Prozesse durchgeführt werden können. So kann das Abrösten sulfidischer Erze (Pyrit, Kupferkies, Zinkblende, Bleiglanz) sowohl in Drehrohröfen, Etagenöfen wie auch in Wirbelschichtöfen erfolgen. Umgekehrt kann eine bestimmte Stoffwandlung in sehr unterschiedlichen Reaktoren bei jeweils anderen Prozessbedingungen durchgeführt werden. So sind für die Fischer-Tropsch-Synthese (Kohlenmonoxid-Hydrierung) sehr verschiedenartige Verfahren mit unterschiedlichen Reaktortypen (Röhrenkontaktöfen, Lamellenöfen, Etagenumsetzer, Flüssigphasenöfen und Wirbelschichtöfen im Einsatz.

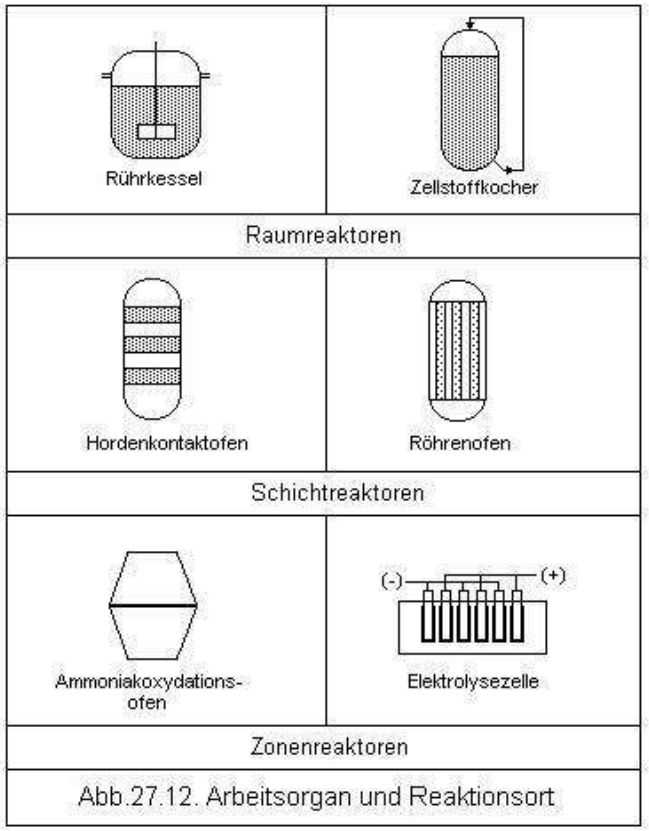


Abb.27.12. Arbeitsorgan und Reaktionsort

Das *Positionierungsorgan* besitzt eine besondere Bedeutung im Bearbeitungsteil von Reaktoren für die Realisierung optimaler Prozessbedingungen. Die Positionierungsfunktion umfasst die Zwangsführung der Reaktionsmasse durch den Reaktionsraum. Dazu gehören die Sicherung einer optimalen Verweilzeit, die gute Durchmischung der Reaktanden und gegebenenfalls der innige Kontakt mit der Katalysatormasse. Das Positionierungsorgan tritt in Form von Leitblechen, Zwischenböden, Strombrechern, Rühreinrichtungen, Förderschnecken und Mischdüsen auf, die in geeigneter Form im Reaktionsraum angeordnet sind (Abb.27.13.).

Führungsorgane sind im Bearbeitungsteil nur selten zu finden, weil der Reaktionsraum als Arbeitsorgan im Allgemeinen stationär angeordnet ist. Ausnahmen bilden Drehrohröfen, Konverter u. ä.. Die Zwangsführung wird vor allem durch Lager realisiert.

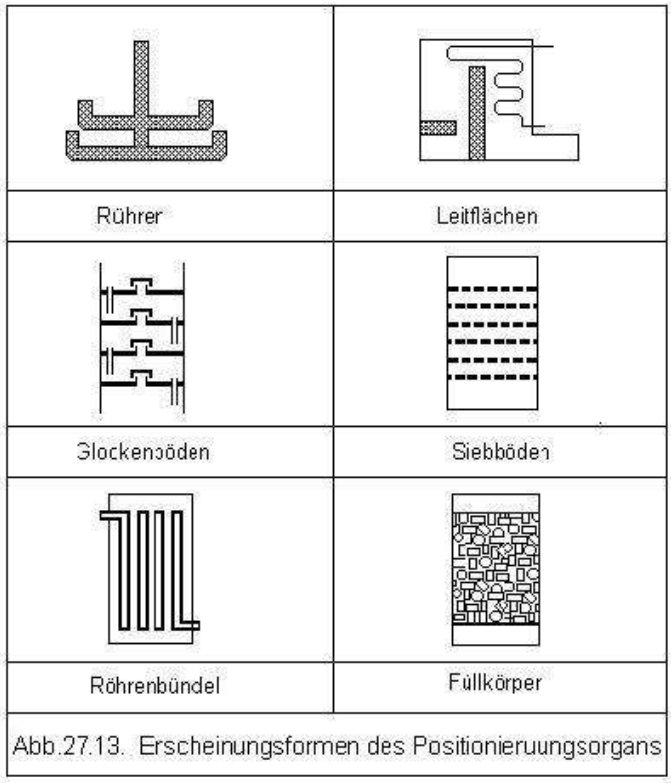


Abb.27.13. Erscheinungsformen des Positionieruungsorgans

27.8.2. Energieteil von Reaktoren

Die technischen Funktionen des Energieteils von Reaktoren bestehen in der Bereitstellung der prozessadäquaten Operationsenergie, ihrer Anpassung an die Prozessbedingungen und ihrer Übertragung an die Wirkstelle.

Entsprechend den Eigenarten der Stoffwandlungsprozesse weist die *Antriebsfunktion* gegenüber den Stoffformungsverfahren eine Reihe gravierender Besonderheiten auf, die wesentliche Konsequenzen für die Antriebsorgane haben. Insbesondere ist zu beachten, dass mit dem Begriff "Antriebsfunktion" bei Stoffwandlungsprozessen ein spezifischer Inhalt verbunden ist, der nicht mit der klassischen Vorstellung vom Maschinenantrieb übereinstimmt. Die Hauptformen der prozesswirksam eingesetzten Operationsenergie sind die thermische, die elektrische und die Strahlungsenergie. Die mechanische Energie spielt noch eine untergeordnete Rolle, weil mechano-chemische Prozesse bisher kaum großtechnisch genutzt werden.

Zunächst bedarf jeder Stoffwandlungsprozess eines energetischen Anstoßes. Die dazu nötige Aktivierungsenergie wird zum Teil gesondert bereitgestellt, in der Mehrzahl der Fälle aber mit der Operationsenergie zugeführt.

Bei endothermen Prozessen muss auch nach dem Start der Reaktion ständig weiter Energie zugeführt werden. Bei exothermen Prozessen hält die freiwerdende Reaktionsenergie den Prozess in Gang. Hier ergibt sich meist die Aufgabe, die überschüssige Energie durch entsprechende Teilsysteme abzuführen, damit die Reaktionstemperatur nicht über das festgelegte Maß ansteigt und ein optimales Temperaturregime erhalten bleibt.

Für den Energieteil der Reaktoren ergibt sich daraus, dass in Reaktoren für exotherme Prozesse keine gesonderten *Antriebsorgane* vorhanden sind. Das trifft ebenfalls für Reaktoren zu, in denen endotherme Prozesse ablaufen, wenn die Operationsenergie aus zentralen, nicht dem einzelnen Reaktor zuzuordnenden Dampferzeugungsanlagen (bei thermischer Energie) oder aus dem elektrischen Energienetz (bei elektrischer Operationsenergie) zugeführt wird. Antriebsorgane entfallen auch dann, wenn die Operationsenergie in Form fester Energieträger (Koks) mit der Reaktionsmasse in den Reaktionsraum eingebracht wird, wie das beispielsweise beim Kalkbrennen oder beim Hochofenprozess der Fall ist.

Typische Antriebsorgane in Reaktoren sind:

- für thermische Operationsenergie: Gasheizungen, elektrische Widerstandsheizungen, Induktionsheizungen; Lichtbogenheizungen, Regenerativ- und Rekuperativheizungen;
- für Strahlungsenergie: UV-Strahler; Elektronenstrahlgeneratoren, Kernstrahlungseinrichtungen
- für mechanische Operationsenergie: Elektromotoren, Schwingungsgeneratoren.

Die Übertragung der Operationsenergie an die Wirkstelle und die Anpassung an die Prozessbedingungen geschieht durch *Übertragungsorgane*. Ihre Gestaltung hängt weitgehend von der Energieart und dem Phasenzustand des Energieträgers ab.

Für Träger thermischer Operationsenergie (Heizgas, Dampf, Wasser, Öl) sind Rohrleitungen typisch. Die Übertragung der Energie auf die Reaktionsmasse erfolgt über Wärmeaustauscher, die innerhalb oder außerhalb des Reaktionsraumes angeordnet sein können. Charakteristisch sind Röhrenwärmeaustauscher, Kühlschlangen und Mantelheizungen (Abb.27.14.).

Die Übertragungsfunktion umfasst bei Stoffwandlungsprozessen nicht nur die Zuführung der Operationsenergie, sondern auch die Abführung entstehender Prozesswärme aus dem Reaktionsraum. Um das Temperaturregime konstant zu halten, werden Röhrenwärmeaustauscher, Rieselkühler u. ä. eingesetzt.

Elektrische Energie wird über entsprechend dimensionierte Leitungssysteme übertragen. Strahlungsenergie wird durch elektrische und magnetische Linsensysteme gebündelt und auf die Reaktionsmasse übertragen.

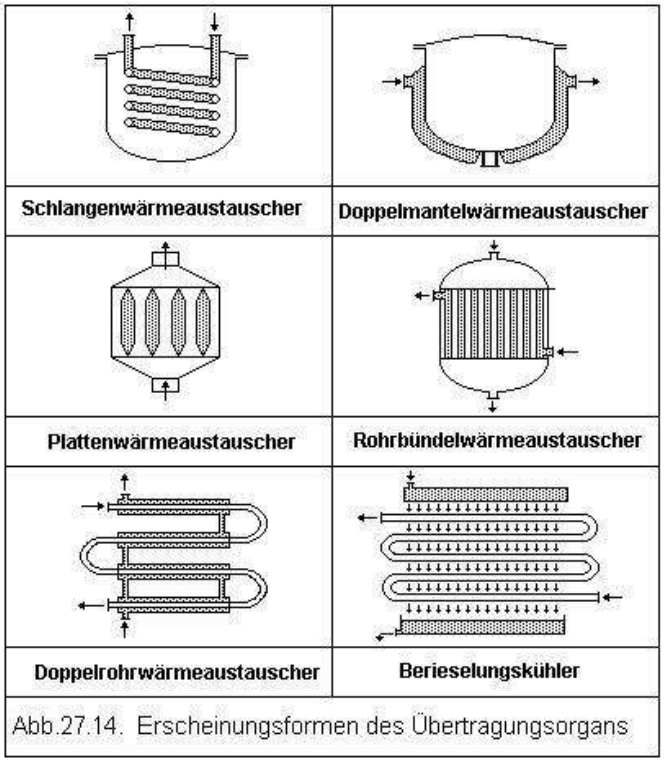


Abb.27.14. Erscheinungsformen des Übertragungsorgans

27.8.3. Informationsteil von Reaktoren

Steuerungsorgane dienen der Beherrschung der einzelnen Prozessparameter und sind deshalb für den Prozessablauf unentbehrlich. Über die allgemeine Bedeutung von Steuerungssystemen für die Automatisierung von Produktionsabläufen hinaus, spielen sie in stoffwandelnden Produktionsprozessen eine besondere Rolle. Die Prozesse verlaufen im Allgemeinen in geschlossenen Behältern, die eine visuelle Kontrolle unmöglich machen. Die oftmals sehr hohen Reaktionsgeschwindigkeiten übersteigen zum Teil das physische und psychische Reaktionsvermögen des Menschen. Eine Vielzahl gleichzeitig zu beherrschender Reaktionsparameter verlangt ebenfalls technische Steuerungssysteme.

Die wesentlichen Funktionen des Steuerungsorgans sind:

- Konstanthalten der Temperatur in den einzelnen Bereichen des Reaktionsraumes
- Konstanthalten des Druckes im Reaktionsraum

- Überwachung der Eintragsgeschwindigkeit und -menge der Reaktanden
- Steuern der Durchsatzgeschwindigkeit der Reaktionsmasse.

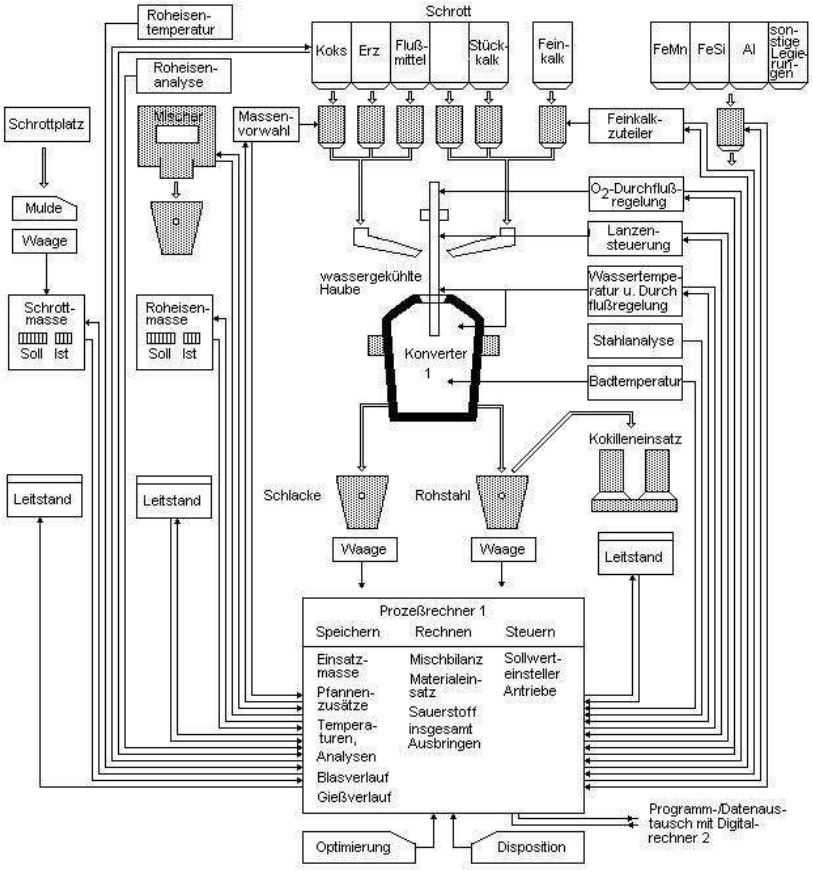


Abb.27.15. Schema des Einsatzes eines Prozeßrechners in einem Sauerstoffaufblasstahlwerk

Die Struktur des Steuerungsorgans ist die gleiche wie bei anderen Steuerungssystemen. Seine Elemente sind Messfühler für die zu steuernden Größen, Messwandler und Stellglieder.

Das Optimierungsorgan ist in jedem Falle ein Prozessrechner, der das technologische Regime entsprechend den wechselnden Prozessbedingungen optimiert (Abb.27.15.).

27.8.4. Stützorgan von Reaktoren

Die Stützfunktion umfasst auch bei Reaktoren die Verbindung der einzelnen Teilsysteme zu einem funktionellen Ganzen, die Fixierung ihrer Lage und die Aufnehme von Kräften. Typische Erscheinungsformen von Stützorganen sind Fundamente und Gerüste, die zum Teil wegen der Dimensionen zahlreicher Reaktoren beträchtliche Ausmaße haben können. Eine Besonderheit besteht darin, dass die oft starkwandigen Reaktormäntel Stützfunktionen übernehmen.

27.9. Ausgewählte Reaktoren

27.9.1. Etagenofen

Der Etagenofen ist ein Grundreaktor, der zur Gruppe der Reaktionsöfen innerhalb der thermochemischen Reaktoren gehört. Er wird für das Abrösten sulfidischer Erze (wie Pyrit, Kupferkies, Zinkblende und Bleiglanz) und zum Brennen von Magnesit, Dolomit, Gips und Bauxit eingesetzt. Die anfallenden Abbrände bestehen aus Metalloxiden, die weiter verarbeitet werden. Das freigesetzte Schwefeldioxid wird als gasförmiges Produkt zu Schwefelsäure umgesetzt (Abb.27.16.).

Etagenöfen sind für Gas-Feststoff-Reaktionen ausgelegt. Sie besitzen eine zylindrische Grundform und können bis zu 12 m hoch sein bei 7 m Durchmesser. Der Ofenraum ist durch Zwischenböden (bis zu 11) in mehrere Etagen unterteilt. Das feinkörnige Festgut wird von oben in den Ofen eingetragen und durch Rührarme mit Rechen in von Etage zu Etage (sogenannte Herde) von oben nach unten durch den Reaktor bewegt. Die Rührarme werden durch eine senkrecht stehende Welle (Königswelle) gedreht. Auf den einzelnen Herden befinden abwechselnd an der Welle und am Außenmantel Durchlassöffnungen, durch die das Röstgut in die nächst niedere Ebene gelangt.

Dem Röstgut strömt Luft entgegen, die unten in den Reaktor eingeblasen wird. Nach Bedarf kann zusätzliche Luft auch in den höher liegenden Herden zugeführt werden.

Der Röstprozess vollzieht sich auf allen Herden. Wir haben es demnach mit einem Schichtreaktor zu tun. Lediglich die oberste Etage fungiert als Trockenherd. Der feste Abbrand tritt unten aus dem Ofen aus, während die gasförmigen Reaktionsprodukte den Reaktor nach oben verlassen.

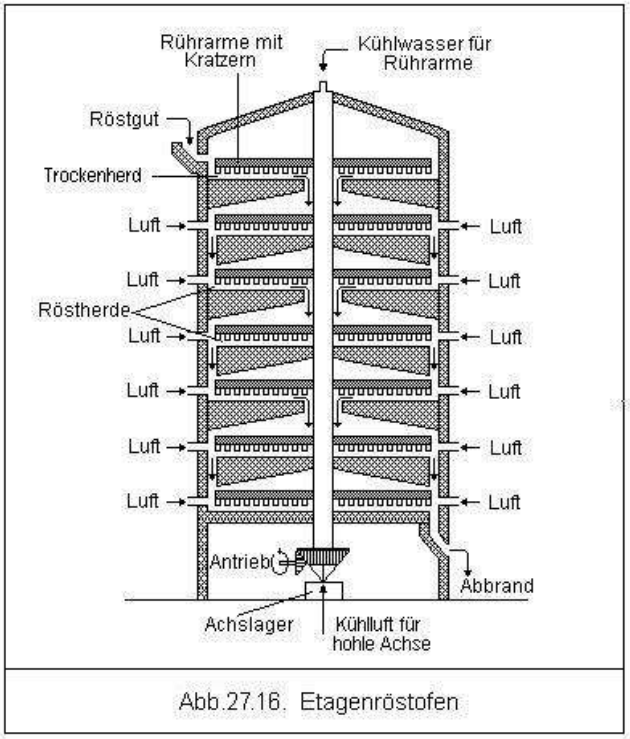


Abb.27.16. Etagenröstofen

Der Röstprozess verläuft stark exotherm. Für die Pyritröstung gilt die Reaktionsgleichung

$$2\ FeS_2 + 5½\ O_2 \text{ -----> } Fe_2O_3 + 4\ SO_2 + 411\ kcal$$

Das führt im mittleren Ofenbereich zu Temperaturen von 850 °C. Der Eisenmantel des Reaktors ist deshalb mit feuerfestem Material ausgekleidet. Die zentrale Welle und die Rührarme werden innen gekühlt. Für die Leistung des Ofens ist von Bedeutung, dass die freigesetzte Wärme schnell abgeführt wird. Moderne Etagenöfen werden deshalb mit nachgeschalteten Abhitzekesseln ausgerüstet, wobei ein Teil der gekühlten Restgase in die mittleren Etagen zurückgeführt werden, um bei hohem Röstgutdurchsatz die freigesetzte Wärme schnell abzuführen.

Die Steuerung muss eine gleichmäßige Röstgutaufgabe und eine gleichmäßige Verteilung des Gutes auf den Herdflächen, eine bestimmte Verweilzeit und eine ausreichende Luftzufuhr garantieren. Das geschieht durch eine besondere Zuführungsvorrichtung, den so genannten Speiser und durch verstellbare Abstreifer auf den einzelnen Etagen.

Für die *Organstruktur* des Etagenofens ergibt sich folgendes Bild (Abb. 27.17.):

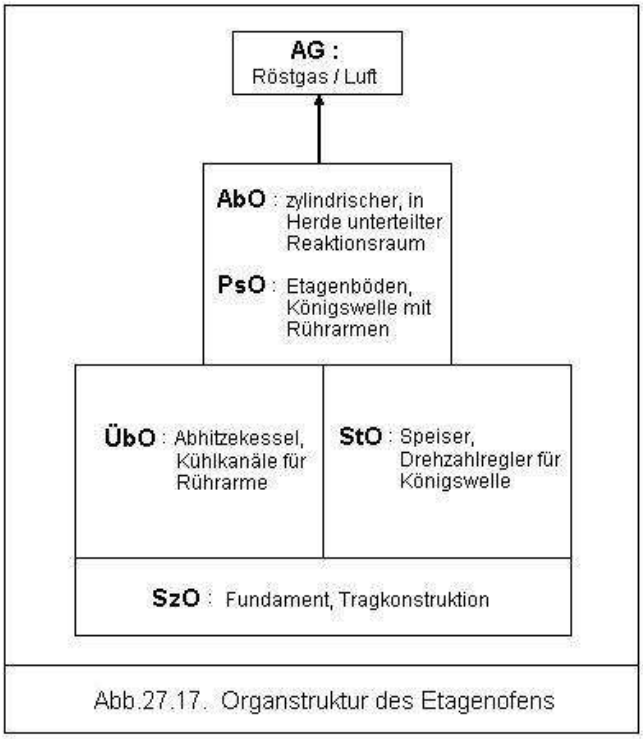


Abb.27.17. Organstruktur des Etagenofens

Bearbeitungsteil: Das Arbeitsorgan wird durch den zylindrischen Ofenraum gebildet. Seine Wandung besteht aus einem Stahlmantel mit Schamotteauskleidung. Das Positionierungsorgan umfasst die Etagenböden und die Königswelle mit den Rührarmen. Es sichert den Durchgang des Röstgutes durch Ofen, eine ständige Durchmischung der Reaktanden und eine ausreichende Verweilzeit. Wegen des stationären Arbeitsorgans fehlt ein Führungsorgan.

Energieteil: Wegen der stark exothermen Reaktion erübrigt sich ein Antriebsorgan. Einmal gezündet, verläuft der Prozess ohne weitere Energiezufuhr. Für das Übertragungsorgan ergibt sich die Aufgabe der Wärmeabführung sie wird durch die Kühlung Röstgase als Wärmeübertrager im Abhitzekessel realisiert.

Informationsteil: Die Dosierung des aufzugebenden Röstgutes und die Durchsatzgeschwindigkeit werden durch das Steuerungsorgan sichergestellt. Seine wesentlichen Elemente sind der Speiser und die Abstreifer, sowie die Regeleinrichtung für die Umdrehungsgeschwindigkeit der Königswelle.

Stützorgan: Die große Masse des Etagenofens erfordert ein solides Fundament und eine entsprechende Tragkonstruktion.

27.9.2. Salzsäureofen

Der Salzsäureofen ist ein Verbrennungsofen. Er wird von einem stehenden Eisenzylinder gebildet, der mit säurefestem Material ausgemauert ist. In den Verbrennungsraum ragt ein Quarzbrenner hinein. In ihm werden Chlor und Wasserstoff zusammengeführt und zur Reaktion gebracht. Wegen der Heftigkeit der Chlorknallgasreaktion werden die beiden Ausgangsstoffe wie in einem Schweißbrenner erst am Reaktionsort zusammengeführt. Dazu besteht der Brenner aus einem doppelten Rohr. Durch das innere Rohr wird Chlor geleitet. Es strömt durch einige Schlitze in eine Wasserstoffatmosphäre, die durch das äußere Rohr geschaffen wird. Die Reaktion erfolgt sofort bei der Zusammenführung, sie ist eine Zonenreaktion:

$$H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2\,HCl + 44\ kcal$$

Der Reaktor muss deshalb intensiv gekühlt werden. Der Verbrennungsraum wird von einer Kühlschlange umgeben, durch die das Chlorwasserstoffgas abgeleitet wird. Beide sind in einen Wasserbehälter eingelagert und werden so gekühlt (Abb.27.18.).

Die Organstruktur ist in Abb.27.19. dargestellt.

Der *Bearbeitungsteil* wird von dem Verbrennungsraum und dem Quarzbrenner gebildet. Gesonderte *Positionierungsorgane* sind nicht vorhanden. Im *Energieteil* repräsentiert der Kühlwasserbehälter mit den Kühl-

schlangen das Übertragungsorgan. Im *Informationsteil* müssen Dosierungseinrichtungen für die Chlorgas- und Wasserstoffzufuhr vorhanden sein.

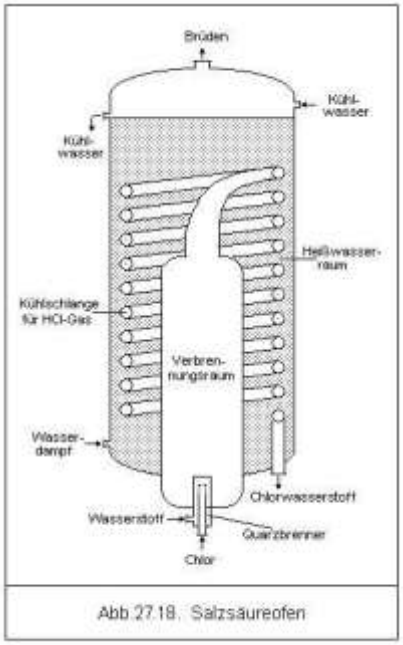


Abb.27.18. Salzsäureofen

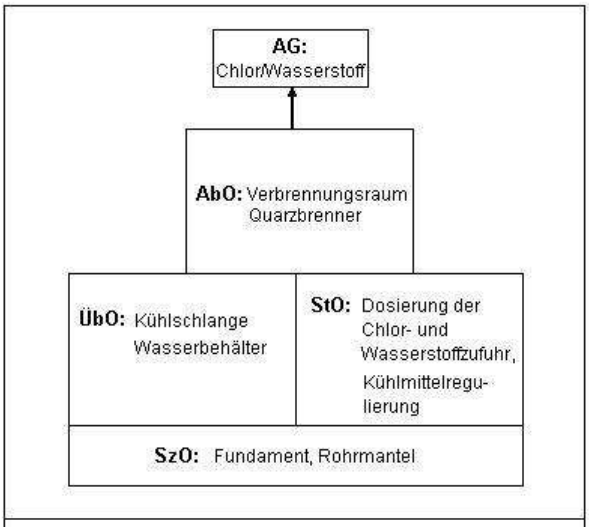


Abb.27.19. Organstruktur des Salzsäureofens

27.9.3. Quecksilberelektrolysezelle

Für die Alkalichloridelektrolyse zur Herstellung von Chlor, Wasserstoff und Natronlauge sind unterschiedliche Typen von Elektrolysezelle im Einsatz. Ein verbreiteter Typ ist die Quecksilberzelle. Moderne Quecksilberzellen bestehen im Prinzip aus einem wannenförmigen Stahltrog mit blankem Boden, gummierten Seitenwänden und einem gummierten Deckel. Der Deckel trägt die Anoden. Die einzelnen Zellen sind 0,6 bis 2 m breit und 6 bis 24 m lang. Die Kathode wird von einer Quecksilberschicht gebildet, die langsam (15 cm/s) über den leicht geneigten Boden der Zelle strömt. Das Quecksilber wird durch ein Wehr am Kopfende der Zelle eingeführt. Beim Durchgang entladen sich an der Kathode Natriumionen zu metallischem Natrium, das vom Quecksilber als Amalgam gelöst wird. Über ein weiteres Wehr am anderen Zellenende wird das mit Amalgam angereicherte (etwa 0,2%) Quecksilber einer separaten Zersetzerzelle zugeführt, die als länglicher Trog oder als Turm ausgebildet ist. Das Amalgam wird dort unter Wasserzusatz in Natronlauge und Wasserstoffgas umgesetzt. Das Quecksilber wird durch eine Umlaufpumpe wieder in die Zelle zurückgeführt.

Die traditionell eingesetzten Graphitanoden hatten einen hohen Wartungsaufwand (häufiges Nachstellen der Elektrodenabstände wegen der Abtragung der Anodenoberfläche, hoher Reinigungsbedarf der Zellen). Mit der Entwicklung aktivierter Titananoden konnten dimensionsstabile Elektroden eingesetzt werden, die sowohl Formstabilität als auch stabile Elektrodenpotentiale garantieren.

Quecksilberzellen arbeiten mit einer Zellenspannung von 4,5 V und werden bei Stromstärken von 8o bis 170 kA betrieben. Die Stromausbeute liegt bei 95%. Sie enthalten 2,5 bis 3,5 t Quecksilber.

Die Frischsole enthält etwa 310 g NaCl/l. Die aus der Zelle entnommene Rücksole enthält noch 250 g NaCl/l. Die Sole wird im Kreislauf geführt. Das gelöste Chlorgas wird unter Vakuum in Trenntöpfen und durch Ausblasen mit Luft aus der Rücksole ausgetrieben. Diese wird dann mit Rohsalz aufgesättigt. Ein Zusatz von Fällungsmitteln sorgt für die Entfernung unerwünschter Ionen (Schwermetall-, Magnesium-, Calcium- und Sulfationen).

Für die Steuerung großer Anlagen werden Prozessrechner eingesetzt. Ihre Hauptfunktionen sind die Überwachung und Steuerung der Zellenspannung, Erkennen von Kurzschlussgefahren, Einstellen des optimalen Elektrodenabstandes (Abb.27.20.).

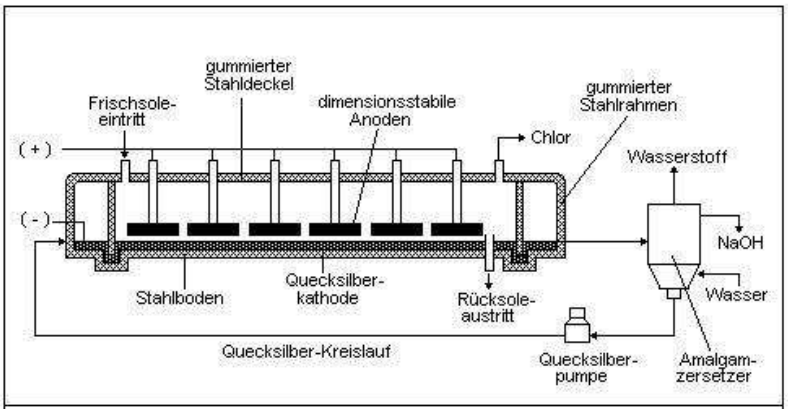


Abb.27.20. Quecksilberelektrolysezelle

Die Organstrukturanalyse ergibt folgendes Bild:

Die *Bearbeitungsfunktion* des Gesamtprozesses besteht in der Realisierung zweier getrennter Stoffwandlungsprozesses, die in getrennten Reaktionsräumen durchgeführt werden. Der Bearbeitungsteil weist deshalb zwei Arbeitsorgane auf, den Reaktionsraum der Elektrolysezelle (AbO I) und den Reaktionsraum des Zersetzers (AbO II). Zum Arbeitsorgan müssen auch die Elektroden gerechnet werden, denn an ihrer Oberfläche findet die Reaktion statt (Zonenreaktion). Der Reaktionsraum ist durch den Deckel abgeschlossen, um das entstehende gasförmige Chlor nicht frei entweichen zu lassen. Der geschlossene Reaktionsraum des Zersetzers ergibt sich aus der gasförmigen Produktkomponente Wasserstoff und dem Arbeiten unter leichtem Überdruck.

Der Reaktionsraum der Quecksilberzelle übernimmt neben der Bearbeitungsfunktion auch eine Reihe weiterer Funktionen. So übt die leicht leichte Schräglage der Wanne Führungsfunktionen aus, indem sie die bewegte Quecksilberkathode führt. Übertragungsfunktionen hat der Zellenboden, weil er der Stromzuleitung zur Kathode dient. Die Zellenwandung und der Zellendeckel üben Stützfunktionen aus.

Das Quecksilberumlaufsystem als Ganzes kann als *Positionierungsorgan* angesehen werden, zu dem die beiden Wehre, die Umlaufpumpe und die Fortleitungsrohre gehören

Die Nachstelleinrichtungen für die Anoden bilden Elemente eines *Führungsorgans*.

Im Energieteil ist kein gesondertes Antriebsorgan vorhanden, weil die Operationsenergie bereits in der prozessadäquaten Form zugeführt wird (Gleichstrom niedriger Spannung). Für den Zersetzer ist eine indirekte Dampfheizung vorhanden, um die hochprozentige Natronlauge bei Elektrolysestillstand flüssig zu halten.

Das *Übertragungsorgan* wird von den Kupfersammelschienen und Kupferkabeln gebildet, die die Zuführung hoher Stromstärken ermöglichen.

Zum Informationsteil gehören Mess-, Steuer- und Regelungseinrichtungen für Soledosierung, Strom- und Spannungsregelung, Abstandsoptimierung der Elektroden und das Temperaturregime in der Zelle. Das optimale Zusammenwirken aller Faktoren wird durch Prozessrechner (Optimierungsorgan) gewährleistet (Abb.27.21.).

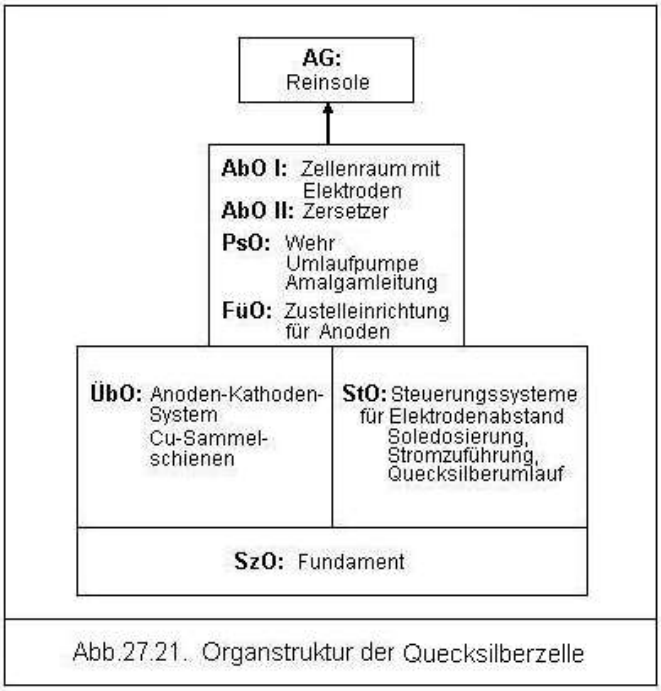


Abb.27.21. Organstruktur der Quecksilberzelle

Literatur

27.1. F.A.. Henglein: Grundriss der chemischen Technik; Weinheim/Bergstr. 1949
27.2. D.W. van Krevelen: Probleme der technischen Reaktionsführung; Chemie-Ingenieur-Technik 1955, Heft 3
27.3. E. Wicke: Physikalisch-chemische Gesichtspunkte für eine Systematik der technischen Reaktionsverfahren; Zeitschrift für Elektrochemie, Bd.57, Nr.7/1953, Seite 460 bis 470
27.4. W. Brötz: Grundriss der chemischen Reaktionstechnik; Weinheim/Bergstr. 1959
27.5. F. Matthes: Zur Systematik de chemischen Technologie; Chemische Technik, Berlin, 1959, Hefte 10 bis 12
27.6. W. Hirschmann: Untersuchungen zur Struktur technischer Systeme der Stoffwandlung; Dissertation A, Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg 1981
27.7. W. Schade: Einführung in die chemische Technologie; Berlin 1974
27.8. F. Matthes / G. Wehner: Anorganisch-technische Verfahren; Leipzig 1964
27.9. F. Hein: Erzeugung von NE-Metallen; Leipzig 1977
27.10. H.D. Böhme: Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen; Leipzig 1982
27.11. K. Budde u. a.: Reaktionstechnik II; Leipzig 1976
27.12. Autorenkollektiv: Biotechnologie; Jena 1987

28. Energiewandler und Energieumformer (Energieändernde Systeme)

28.1. Allgemeine Charakteristik der Klasse

Als energieändernde technische Systeme werden Geräte, Maschinen und Anlagen bezeichnet, deren Hauptfluss (der des Arbeitsgegenstandes) ein Energiefluss ist. Diese Systeme erfüllen in der Regel eine oder zeitgleich mehrere der folgenden Funktionen.

- Die Energieart des Hauptflusses wird gewechselt, d.h. energieändernde Systeme wandeln den Energiefluss um, indem sie die eingegebene Energieart in eine andere umwandeln, wie das z.B. durch Verbrennungs- und Elektromotoren aber auch in Beleuchtungsanlagen. Sie bilden die Klasse der *Energiewandlungssysteme*.
- Die Energieart des Hauptflusses bleibt erhalten, jedoch die Beträge und/oder das zeitliche Verhalten seiner Parameter werden verändert, d.h. sie formen den Energiefluss um, wie das z.B. mittels Getrieben, Gleichrichtern und Wärmetransformatoren erfolgt. Wir bezeichnen sie als *Energieumformungssysteme*.
- Der Energiefluss wird unverändert zu seinem Nutzungsort geleitet um dort die gewünschte Arbeit, Beleuchtung oder Erwärmung zu leisten. In diesem Fall wird die Energie transportiert wie z.B. in Elektroenergie- oder Fernheizungssystemen (*Energietransportsysteme*).
- Schließlich kann der Energiefluss in einem System gespeichert werden, um von dort aus im Bedarfsfall zur Anwendung zu gelangen. Das geschieht mit Schwungrädern, Akkumulatoren, Druckbehältern oder gar mit Pumpspeicherwerken. Sie werden in der Klasse der *Energiespeichersysteme* zusammengefasst.

Die technische Welt der energieändernden Systeme ist sehr vielfältig. Das zeigt bereits die vorangegangene kurze Auflistung ihrer Funktionen. Ein Überblick wird erst durch eine geeignete Systematisierung möglich. Grundsätzlich kann man von dem Gedanken ausgehen, dass ein energieänderndes System in der Regel über mindestens einen energetischen Input und mindestens zwei energetische Outputs verfügt. Der Input ist der gegebene Energiefluss, der zu verändern ist. Der eine Output ist dann der Fluss der gewünschten Energieart mit den notwendigen Parametern. Der andere Output ist immer ein Wärmefluss, der infolge der Verluste des arbeitenden technischen Systems entsteht. Sinnbildlich (d.h. abstrakt betrachtet) realisiert ein energieänderndes System nichts anderes, als in Abb. 28.1. gezeigt:

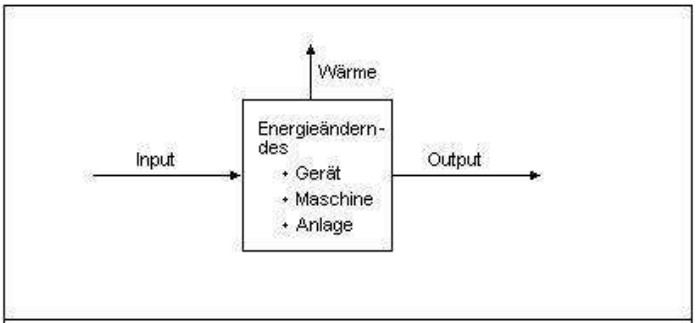


Abb.28.1. Modell des Energieflusses in energieändernden Systemen

Um die Vielfalt der energieändernden Geräte, Maschinen und Anlagen zu ordnen, stützen wir uns auf das System der energieändernden Bearbeitungsvorgänge nach JUSTI (vgl. Kap. 9.9.).

Analog zu diesem Ordnungssystem kann man das System der energieändernden technischen Systeme zusammenstellen. In dieses lassen sich alle technischen Systeme einordnen, deren Funktion es ist, einen Energiefluss umzuwandeln, umzuformen, zu transportieren oder zu speichern. Die Energietransportsysteme und die Energiespeichersysteme werden hier nicht im Einzelnen dargestellt. Sie sind im Kapitel 30 (Transport-, Umschlag- und Lagersysteme) erfasst und erläutert.

Als Ordnungskriterien für die Systematik der energieändernden Systeme ziehen wir die Arten der in ein System einströmenden Energie, des Inputs also, und die der herausströmenden Energie, des Outputs, heran. Nach technischen Gesichtspunkten werden sechs *Energiearten* unterschieden: mechanische, chemische, elektrische und thermische Energie sowie Strahlungs- und Kernenergie. Diese Energiearten existieren je-

weils in unterschiedlichen *Formen* wie z.B. Gleich- und Wechselstrom der Elektroenergie oder Rotationsenergie und Strömungsenergie der mechanischen Energie usw. Es ergibt sich folgende Matrix, deren Zeileneingänge die Energieinputs und deren Spalteneingänge die Energieoutputs sind (Tabelle 28.1.):

	Mechanische Energie	Chemische Energie	Wärmeenergie	Elektrische Energie	Strahlungs-energie	Kernenergie
Mechanische Energie	Rädergetriebe Kurbelgetriebe Hydraulikgetriebe Wasserturbinen Windräder	Mechano-chem. Reaktoren	Bremsen Wärmepumpen Reibschweiß-anlagen	Generatoren Piezo-elektrische Geber		
Chemische Energie	Verbrennungs-motoren Gasturbinen	Erdölraffinier-anlagen Gasgenera-toren	Öfen Brenner Feuerungs-anlagen	Batterien Akkumulatoren Brennstoffzellen		
Wärmeenergie	Dampferzeuger Kolbendampf-maschinen Dampfturbinen		Wärmetauscher	Thermoelemente		
Elektrische Energie	Elektromotoren Schwingquarze	Akkumulatoren Elektrolysezellen	Widerstands-heizungen Boiler Induktionsöfen Schweißgeräte	Transformatoren Gleichrichter Wechselrichter Umrichter	Glühlampen Gasentladungs-lampen Bildröhren	
Strahlungs-energie			Solarkollektoren Sonnenöfen	Fotoelemente Photovoltaik-anlagen	Linsensysteme Spiegelsysteme Lasersysteme Bildschirme	
Kernenergie			Kernreaktoren	Radionukleid-Batterien		

Tabelle 28.1. Übersicht über energieändernde Systeme

Die Diagonale der Matrix enthält alle Klassen der energieumformenden Systeme. Energiewandler befinden sich dagegen in den Feldern über und unter der Diagonalen. Aus der Menge der eingetragenen Repräsentanten kann man erkennen, dass die Vielfalt der gegenwärtig existierenden und genutzten technischen Systeme für jede der so gebildeten Klassen unterschiedlich groß ist und nicht für jedes Feld dieser Ordnung tatsächlich reale technische Systeme existieren. Oft ist es auch eine Ermessensfrage, ob man bestimmte technische Gebilde dieser Ordnungstabelle energieändernder Systeme zuordnen sollte. Dazu ein Beispiel:

Systeme zur Umformung chemischer Energie sind im Allgemeinen chemische Reaktoren, die z.B. auch zur Kraftstoffherstellung oder zur Erzeugung von Stadtgas verwendet werden. Obwohl der Heizwert der Kraftstoffe, deren chemische Energie also, oder ihr Verbrennungsverhalten in Motoren das Ziel der chemischen Bearbeitung sind, ordnen wir diese Systeme zweckmäßigerweise der Klasse der stoffwandelnden Systeme zu. Das ist deshalb vorteilhaft, weil die chemischen Verfahren Stoffwandlungsprozesse sind und alle Vorgangsbeschreibungen traditionell den Stoffffluß als Hauptfluss im Blickfeld haben.

Die technische Nutzung natürlicher Erscheinungsformen der Energie hat eine lange Geschichte. Schon im Altertum wurden Wasser- und Windräder als erste energieändernde Systeme eingesetzt. Die dabei genutzten Wirkprinzipien haben auch heute ihre Bedeutung nicht verloren. Die moderne technische Entwicklung hat Maschinen und Anlagen hervorgebracht, die nach wie vor auf der Basis gleichartiger technologischer Prinzipien hochaktuelle energieumformende Systeme sind und die mechanische Strömungsenergie des Wassers oder des Windes in mechanische Rotationsenergie umformen und technisch nutzbar machen.

Der historische Durchbruch in der Entwicklung der Energietechnik gelang zu Beginn des 18. Jahrhunderts NEWCOMEN mit der Konstruktion seiner atmosphärischen Dampfmaschine. Gleichzeitig damit und mit anderen technischen Erfindungen wurde auch die industrielle Revolution eingeleitet. Die sich im Laufe der letzten 200 Jahre entwickelnde Massenproduktion mit allen ihren konsumtiven Folgen erzwang die immer umfangreichere Bereitstellung technisch nutzbarer Energiemengen und damit die Entstehung eines eigenen

Wirtschaftszweiges, der Energiewirtschaft mit charakteristischer energiewandelnder, energieumformender, energietransportierender und energiespeichernder Technik. Am Ende des 19. Jahrhunderts standen zuverlässig arbeitenden Elektroenergiegeneratoren, Elektromotoren und Verbrennungsmotoren zur Verfügung. Die universell anwendbare Elektroenergie wurde fortan über die Zwischenstufen der Wärmeenergie und mechanischen Energie aus fossilen Brennstoffen und in geringerem Maße auch aus Wasserkraft erzeugt.

Der letzte große Entwicklungssprung in der Erfindung technischer Systeme zur Energiebereitstellung erfolgte mit der Errichtung von Kernkraftwerken. Von diesem Augenblick an wurden die Probleme der Energetisierung des menschlichen Lebens für unseren Planeten immer deutlicher sichtbar. Eine Konsequenz hieraus ist gegenwärtig in der zunehmenden Nutzung nichtfossiler und nichtnuklearer Energiequellen sichtbar.

Für das grundlegende Verständnis des Aufbaus und der Wirkungsweise technischer Systeme der Energieänderung sind einige Eigenschaften der Energie von Bedeutung. Unabhängig davon, in welchem Jahrhundert technische Systeme zur Änderung von Energieflüssen konstruiert und vervollkommnet wurden, der grundlegende Aufbau der Systeme und die Abläufe im Inneren der Geräte, Maschinen und Anlagen sind sehr ähnlich zueinander. Um das zu erkennen, sollen einige Gedanken zum Wesen der Energie und zum Ablauf energetischer Prozesse dargestellt werden.

Neben der Korpuskularität und Strukturiertheit der Welt ist die Bewegung eine ihrer drei Wesenheiten. Das Maß der Bewegung ist die Energie. Unabhängig davon, ob der Mikro- oder der Makrobereich des Universums betrachtet wird, ständig befindet sich alles in Bewegung. Die Arten der Bewegung sind sehr unterschiedlich. Wir haben am Anfang dieses Abschnitts mit der technisch orientierten Klassifizierung der Energiearten solche „Bewegungen“ aufgezählt. Unabhängig jedoch von der jeweiligen Art und Form der Energie, folgen alle energetischen Vorgänge denselben Gesetzmäßigkeiten, dem Energieerhaltungssatz und dem Entropiesatz.

Die technische Interpretation des *Energieerhaltungssatzes* besagt, dass die Menge der in ein technisches System einströmenden Energie gleich groß der Menge der ausströmenden Energie ist.

$$\Sigma I = \Sigma O + Q \qquad \text{(I: Input, O: Output, Q: Wärme)}$$

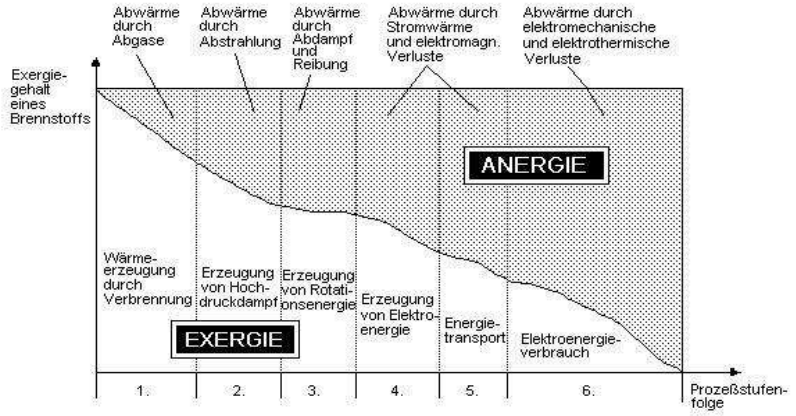
Der *Entropiesatz* besagt, dass die Bewegungen in der Natur und ebenfalls in der Technik gerichtet sind und irreversiblen Charakter haben. Das Maß für die Irreversibilität ist die *Entropie*

$$S_2 - S_1 = \Delta S > 0$$

(S_1: Entropie vor dem Vorgang, S_2: Entropie nach dem Vorgang, ΔS: Beim Vorgang entstandener Entropiezuwachs).

Die technische Interpretation des Entropiesatzes ist für das Verständnis der energieändernden Systeme besonders wichtig. Jedes technische System, das einen Energiefluss verändert, vergrößert die Entropie. Diese Entropievergrößerung bedeutet Wärmeentstehung. Es ist bekannt, dass jedes arbeitende System zeitgleich zu seiner technischen Funktion auch Wärme erzeugt. Wenn man von Heizgeräten einmal absieht, ist die entstehende Wärme eine unabänderliche und unangenehme Begleiterscheinung und wird als Verlust bilanziert, der sich im Wirkungsgrad des jeweiligen Systems ausdrückt. Mit anderen Worten: jedes arbeitende Gerät, jede Maschine und jede Anlage erzeugt Wärme, die nur an die Umwelt abgeladen werden kann. Damit nimmt die Wärmebelastung der Umwelt oder eben die Entropie zu.

Diese Tatsache hat dazu geführt, dass Energie im technischen Sinne in *Exergie* und *Anergie* unterschieden wird. Anergie ist immer der in einem Energieträger enthaltene Anteil nicht technisch nutzbarer Energie bzw. die bei einem energetischen Prozess in Wärme umgewandelte Energie, deren Temperatur so niedrig ist, dass die Energie keinen technischen Zweck mehr erfüllt. Exergie ist dagegen technisch nutzbar. Wenn wir uns daran erinnern, dass die Erzeugung von Elektroenergie in sehr vielen Stufen erfolgt, wobei zahlreiche Energieumwandlungen und -umformungen notwendig sind, dann wird klar, dass die Exergie z.B. fossiler Brennstoffe im Laufe des Prozesses der Elektroenergieerzeugung etwa zur Hälfte in Anergie übergeht. Die verbleibende Exergie in Form von Elektroenergie geht anschließend im Laufe ihrer Nutzung ebenfalls restlos in Anergie über. Anders ausgedrückt: alles was die Energieproduktion und -nutzung aus energetischer Sicht zurück lässt, ist Wärme mit der Temperatur der Umgebung. Abb. 28.2. soll diesen Sachverhalt verdeutlichen.



Gegenstand der Prozeßstufen:

1. Verbrennung des Energieträgers, Abgase tragen Wärme aus dem System
2. Erzeugung von Hochdruckdampf, Abstrahlung von Wärme aus dem System
3. Erzeugung von Rotationsenergie, Abdampf trägt Wärme aus dem System
4. Erzeugung von Elektroenergie, Abwärme durch elektrische Vorgänge
5. Umformung und Übertragung von Elektroenergie, Abwärme durch elektrische Vorgänge
6. Nutzung der Elektroenergie durch ihre technische Umwandlung in Wärme, Strahlung, mechanische Energie über elektromagnetische, elektrochemische und elektrothermische Prozesse

Abb.28.2. Exergieverlust eines Brennstoffs bei seiner technischen Nutzung

Der Wirkungsmechanismus dieses Gesamtzusammenhangs kann sinnbildlich folgendermaßen beschrieben werden: Energie (und hiervon die Exergie) hat, unabhängig davon in welcher Form sie erscheint, stets das unabänderbare Bestreben, sich in Wärme umzuwandeln. In der Natur erfolgen solche Umwandlungen spontan. Technisch nicht genutztes Wasser strömt den Berg hinab und erwärmt sich dabei unmerklich. Unter freiem Himmel verbrannte Stoffe geben ihre Wärme direkt an die Umgebung ab. Die Elektroenergie eines Blitzes wandelt sich in Wärme um und richtet dabei evtl. Schäden durch Wärmewirkung an. Wird aber dieser spontane Mechanismus, der zur Umwandlung von Energie in Wärme der Umgebungstemperatur führt, durch technische Mittel in nutzbringende Wege geleitet, dann verläuft der Prozess zwar nach denselben Gesetzmäßigkeiten und in derselben Richtung, aber er hat seine Spontaneität verloren und erfüllt mittels der Technik einen Zweck.

Die Tatsache, dass Energie (genauer gesagt Exergie) sich bei gegebenen Bedingungen spontan in Wärme umwandelt, ist bei der weiteren Beschreibung der Wirkungsweise energieändernder Systeme sehr hilfreich.

Da Energie eine physikalische Erscheinung ist, kann sie auch nur physikalisch, also mit physikalischen Größen, beschrieben werden. Ihre Eigenschaft, Bewegungen zu verursachen, drückt sich in den zahlreichen Definitionen der Energie aus. Der Versuch, Energie zu definieren ist schon sehr alt. Heute gibt es, je nach Betrachtungsstandpunkt, sehr verschiedene Energiedefinitionen. Für die allgemeintechnische Sichtweise auf die Dinge eignet sich folgende Definition:

Energie ist die Fähigkeit, Systeme arbeiten zu lassen.

Damit ist ausgedrückt, dass der Energie die Fähigkeit zum Antrieb innewohnt. Diese Antriebsfähigkeit kann auf eine messbare physikalische Größe, die intensive Größe oder *Antriebsgröße*, zurückgeführt werden. Zu ihr gehört eine zweite messbare Größe, die extensive Größe oder *Strömungsgröße*, die dem Energiefluss seinen Strömungscharakter aufprägt. Unterschiedliche Energiearten haben unterschiedliche intensive und extensive Größen. Tabelle 28.2. zeigt eine Auswahl solcher Größen (s. auch Lit. 28.2.).

Weil diese Größen bei gleichartigen energetischen Vorgängen immer wieder auftreten und weil sie analog zueinander sind, eignen sie sich in besonderem Maße als allgemeine Beschreibungs- oder Modellierungsgrundlage für das Geschehen in energieändernden technischen Systemen. Das soll im Folgenden an einem elementaren Beispiel gezeigt werden.

Energieart und -form	Intensive Größe Antriebsgröße	Extensive Größe Strömungsgröße
Mechanische Energie Translation	Kraft F	Geschwindigkeit v
Mechanische Energie Rotation	Drehmoment M	Winkelgeschwindigtkeit ω
Mechanische Energie Hydraulik	Druck p	Volumenstrom $\dot{V}$
Mechanische Energie Pneumatik	Druck p	Massenstrom $\dot{m}$
Elekroenergie	Spannung U	Stromstärke I
Elektroenergie Magnetfeld	Magnet. Urspannung Θ	Magnet. Fluß ϕ
Wärmeenergie	Temperatur T	Entropiefluß $\dot{S}$

Tabelle 28.2. Antriebs- und Strömungsgrößen von Energiearten und -formen

Umformung von mechanischer Energie mit einem Riemengetriebe

Eine Umformung setzt wie jede energetische Veränderung eine intensive Größe voraus, die das Geschehen einzuleiten vermag. Betrachten wir die Vorgänge an einem Riemengetriebe. Riemengetriebe gehören zu den Zugmittelgetrieben. Solche Getriebe sind in Antriebsystemen von Werkzeugmaschinen, in Kraftfahrzeugen im Antrieb der Lichtmaschine oder der Ventilsteuerung und anderswo zu finden. Getriebe haben die Funktion Drehmomente M und die Winkelgeschwindigkeiten w einem Anwendungsfall anzupassen. In der Maschinentechnik verwendet man an Stelle der Winkelgeschwindigkeit w die Drehzahl n. Wir haben es hier mit einer Umformung von Energie zu tun, weil die Energieart erhalten bleibt. Das Getriebe ändert nur deren Parameter.

Abb. 28.3. veranschaulicht den Vorgang der Drehmoment- und Drehzahländerung an einem einfachen Riemengetriebe in Real- (A) und Symboldarstellung (B).

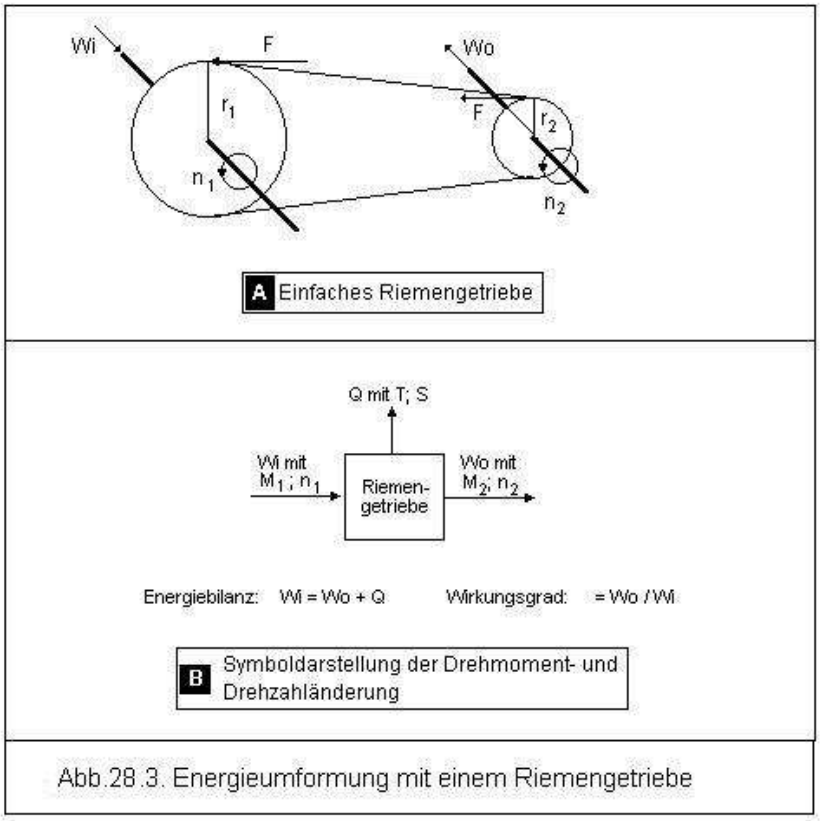


Abb.28.3. Energieumformung mit einem Riemengetriebe

Die zur Parameteränderung notwendigen Daten sind in den Durchmessern der Riemenscheiben gespeichert. Das Übersetzungsverhältnis des Getriebes ergibt sich aus dem Energieerhaltungssatz (Wärme vernachlässigt).

$$Wi = Wo$$

$$M_1\, n_1 = M_2\, n_2 \qquad \text{M: Drehmoment}$$

$$F\, r_1\, n_1 = F\, r_2\, n_2 \qquad \text{n: Drehzahl}$$

$$r_1\, n_1 = r_2\, n_2 \qquad \text{r: Radius}$$

$$\boxed{n_1 / n_2 = r_2 / r_1}$$

Die Wirkungsweise ist aus energetischer Sicht folgendermaßen zu erklären:

Das Drehmoment M_1 des einströmenden Energieflusses bewirkt die Umdrehung des ersten Rades mit der Drehzahl n_1. Über das Zugmittel wird das Drehmoment wegen der unterschiedlichen Radien der Riemenscheiben in M_2 umgeformt. Mit n_2 treibt das zweite Rad den Energiefluss aus dem System heraus.

Ein Wirkungsschema zeigt die kausalen Zusammenhänge:

$$M_1 \Rightarrow n_1 \Rightarrow M_2 \Rightarrow n_2$$

Diese einfache Kausalkette lässt folgenden Zusammenhang vermuten: Energetische Veränderungen in technischen Systemen verlaufen immer so, dass die Antriebsgröße des zu verändernden Energieflusses eine Strömungsgröße verursacht. Im Beispiel verursacht das Drehmoment M_1 die Drehzahl n_1, denn erst durch das Vorhandensein beider Größen strömt Energie in das System ein. Die Drehzahl n_1 bewirkt über den Treibriemen das Drehmoment M_2, die neue Antriebsgröße M_2. M_2 wiederum zieht n_2 nach sich, so dass die umgeformte Energie mit den gewünschten Parametern das System verlässt. Sieht man von der Dynamik in Riemengetrieben einmal ab, so erfolgt das beschriebene Geschehen zeitgleich. Das ist aber nicht bei allen energieändernden Systemen der Fall.

Für die Beschreibung von energetischen Vorgängen in technischen Systemen kann man entsprechend den vorangegangenen Ausführungen zu den Eigenschaften von Energieflüssen sehr gut folgendes Schema verwenden:

Man geht davon aus, dass eine Antriebsgröße als Ursache immer eine Strömungsgröße als Wirkung nach sich zieht. Diese Strömungsgröße, die ihrerseits zur neuen Ursache wird, erzeugt als Wirkung eine neue Antriebsgröße derselben oder einer anderen Energieart. Diese neue Antriebsgröße ist gleichzeitig Wirkung und Ursache. Ursache ist sie deshalb, weil sie eine neue Strömungsgröße zur Folge hat. Damit kann der Vorgang bereits realisiert sein. Oft erfolgt das Wechselspiel von Antriebs- und Strömungsgrößen jedoch mehrmals hintereinander, bis die gewünschte Energieart mit den gewünschten Parametern entstanden ist.

Die Grundlage für den Wechsel von Antriebs- und Strömungsgrößen bilden naturwissenschaftliche Effekte und Gesetzmäßigkeiten. Beim oben dargestellten Beispiel wirkt über die Radien der beiden Riemenscheiben lediglich das Hebelgesetz. Aber durch die Ausführung des Getriebes als Rädersatz mit Riemen, Lagern und Gehäuse oder Rahmen liegt hier natürlich ein technischer Sachverhalt vor.

Zusammenfassend stellen wir noch einmal fest, dass immer dann, wenn ein technisches System seine Funktion erfüllt, physikalische Arbeit verrichtet wird. Das gilt sogar für eine Brücke, die zunächst recht statisch erscheint. Jedoch ist eine Brücke immer nur dann in Betrieb, wenn sie von Fahrzeugen oder Menschen überquert wird, denn nur dann wird mechanische Arbeit verrichtet.

28.2. Übersicht über die technisch bedeutsamen energieändernden Systeme

Neben zahlreichen wirtschaftlichen, ökologischen, technologischen, ergonomischen und weiteren Einflussgrößen haben bei der Entwicklung und beim Betrieb technischer Konstrukte physikalische, chemische und neuerdings zunehmend biologische Gesetzmäßigkeiten immer eine fundamentale Bedeutung. Die Auseinan-

dersetzung mit diesen Gesetzmäßigkeiten ist für die Beschreibung der Funktionsweise der Energiewandler und -umformer unverzichtbar.

Übersichten über technische Systeme oder Teilsysteme, deren Funktion die Änderung von Energieflüssen ist, werden in den Abb. 23.2. (Arbeitsorgane energieändernder Systeme), Abb. 24.2.. (Elemente von Übertragungsorganen) und in Abb. 24.3. (Elemente von Steuerungsorganen) genannt. In diesen Beispielen erfolgt die Klassifikation nach den In- und Outputs der Systeme und nach deren Grundwirkformen. Im Folgenden wird die Klassifizierung der bedeutsamsten Klassen energieändernde Systeme durch die zugrunde liegenden naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten der Grundwirkformen näher begründet. Das erfolgt deshalb, weil Systeme, die auf gleicher naturgesetzlicher Basis arbeiten aus gleichartigen Elementen aufgebaut sind und deshalb auch auf die gleiche Weise erklärt werden können.

Technisches System	Grundlegende Gesetzmäßigkeiten	Arbeitsorgan	Verluste durch
1. Umformer für mechanische Energie			
Rädergetriebe	Hebelgesetz Formschlüssigkeit	Räderpaar	Gleit- und Rollreibung Planschverluste
Riemengetriebe	Hebelgesetz Kraftschlüssigkeit	Scheibenpaar / Zugmittel	Gleit- und Rollreibung Schlupf
Wasserturbinen und Kreiselpumpen	Dralländerung in strömenden Flüssigkeiten	Leitrad / Laufrad	Gleit-, Roll- und Flüssigleitsreibung
Dampfturbinen	Dralländerung in strömenden Gasen	Rotorblätter mit Rotorwelle	Gleit- und Rollreibung
Windräder	Windströmung und Auftriebskraft	Rotorblätter mit Rotorwelle	Gleit- und Rollreibung
Kolbenpumpen	Verdrängungssatz	Kurbel / Kolben / Zylinder	Gleit-, Roll- und Flüssigleitsreibung
Dampfmaschinen	Umformung der Energie gespannter Gase in mechanische Bewegungsenergie	Kolben / Zylinder	Reibung, Wärmeabfluß
2. Umformer für Wärmeenergie			
Wärmeaustauscher	Wärmeübergang Verdampfung Kondensation	Behälter / Rohrsystem	Wärmeabstrahlung Wärmeeinfall
3. Umformer für Elektroenergie			
Transformatoren	Durchflutung Induktion	Wicklung / Kern / Wicklung	Wicklungs- und Eisenverluste
Gleichrichter	Rekombination	pn-Übergang	Stromwärme
Wechselrichter	Rekombination Durchflutung Induktion	pn-Übergänge Wicklung / Kern / Wicklung	Stromwärme / Wicklungs- und Eisenverluste
4. Umformer für Strahlungsenergie			
Laserstrahler	Lasereffekt	Blitzlampe / Laserkristall / Resonator	strahlungslose Übergänge, Resonatorverluste

Tabelle 28.3. Übersicht über Energieumformungssysteme

Ein weiteres spezifisches Merkmal der Energiewandler und -umformer ist ihr Wirkungsgrad. Ein erheblicher Teil der gesamten Forschungsarbeit in diesem Bereich konzentriert sich auf die Vergrößerung des Wirkungsgrads der Systeme. Dass der Wirkungsgrad auf die Unvermeidbarkeit von Anergie zurückgeführt wird, haben wir im vorangegangenen Abschnitt bereits erklärt. Entscheidend jedoch ist zu wissen, auf welchen naturgesetzlichen Effekten die Verlustwärmeentstehung beruht und welche Entstehungsursachen dafür verantwortlich sind.

Die Gliederung der Energieumformer wird in Tabelle 28.3. und der Energiewandler in den Tabellen 28.4. und 28.5. dargestellt. In den einzelnen Klassen werden jeweils charakteristische und verbreitet genutzte Systeme angegeben sowie die in ihnen genutzten grundlegenden Gesetzmäßigkeiten, ihre charakteristischen Arbeitsorgane und die Verlustquellen angeführt.

Technisches System	Grundlegende Gesetzmäßigkeiten	Arbeitsorgan	Verluste durch
1. Mechano-elektrische Wandler			
Drehstromgeneratoren	Elektrodynamisches Prinzip	Polrad / Drehstromanker	Reibungs-/Wicklungs- und Eisenverluste
Gleichstromgeneratoren	Elektrodynamisches Prinzip	Feldwicklung / Kommutatoranker	Reibungs-/Wicklungs- und Eisenverluste
Piezo-elektrische Geber	Elektrostriktionsprinzip	Piezokristall	Reibungsverluste
2. Chemo-mechanische Wandler			
Verbrennungsmotoren	Verbrennung, Verdrängung, Kurbeln	Verbrennungsraum / Kolben / Zylinder / Kurbel	Reibung, Wärmeabfluß, Wärmeabstrahlung
Gasturbinen	Kompression, Verdrängung, Dralländerung	Brennkammer / Leitrad / Laufrad	Reibung, Wärmeabfluß, Wärmeabstrahlung
3. Chemo-thermische Wandler			
Öfen Feuerungsanlagen	Verbrennung, Wärmeabstrahlung, Wärmeübergang	Brennraum / Rost / Brennerdüsen	Wärmeabfluß und Wärmeabstrahlung
4. Chemo-elektrische Wandler			
Primärelemente	Redoxvorgänge an Phasengrenzen	Elektroden / Elektrolyt	Stromwärme
Akkumulatoren	Redoxvorgänge an Phasengrenzen	Elektroden / Elektrolyt	Stromwärme
Brennstoffzellen	"Kalte" Verbrennung	Elektroden / Elektrolyt	Stromwärme
5. Thermo-mechanische Wandler			
Dampferzeuger	Umwandlung von Wärme in die Energie gespannter Gase	Wärmeaustauschsystem	Wärmeabfluß Wärmeabstrahlung
6. Thermo-elektrische Wandler			
Thermoelemente	Thermoelektrischer Effekt	Bimetallstreifen	Stromwärme

Tabelle 28.4. Übersicht über Energiewandlungssysteme (I)

Technisches System	Grundlegende Gesetzmäßigkeiten	Arbeitsorgan	Verluste durch
7. Elektro-mechanische Wandler			
Universalmotoren	Elektrodynamisches Prinzip	Feldwicklung mit Kollektoranker	Reibungs-, Wicklungs- und Eisenverluste
Drehstromasynchron-motoren	Elektrodynamisches Prinzip, Verkettung	Drehstromwicklung / Kurzschlußläufer	Reibungs-, Wicklungs- und Eisenverluste
8. Elektro-thermische Wandler			
Widerstandsöfen	Stromwärme	Widerstandsmaterial	-
Lichtbogenöfen	Lichtbogenentladung	Elektroden / Plasma	-
Induktionsöfen	Durchflutung, Induk-tion, Stromwärme	Wicklung / Kern / Wicklung	Wicklungs- und Eisenverluste
9. Elektro-Strahlungs-Wandler			
Glühlampen	Widerstandserwär-mung	Widerstandswendel	Wärmeabstrahlung
Leuchtstofflampen	Gasentladung, Fluoreszenz	Plasmarohr / Leuchtstoffschicht	Strahlungslose Über gänge, UV-Licht
Leuchtemitterdioden	Ladungsträger-rekombination	pn-Übergang	-
10. Strahlungs-thermische Wandler			
Solarkollektoren	Strahlungsabsorption, Wärmeübergang	Absorberschicht mit Wätmeaustauscher	Wärmeabstrahlung
Sonnenöfen	Strahlungsreflexion, Wärmeübergang	Parabolspiegel / Wärmeautauscher	Wärmeabstrahlung
11. Strahlungs-elektrische Wandler			
Photovoltaikelemente	Sperrschicht, Foto-effekt	pn-Übergang	Strahlungsabsorption Stromwärme
12. Kernenergiewandler			
Kernreaktoren	Gesteuerte Ketten-reaktion	Reaktorraum mit Brennelementen	Abwärme, Kühlwasserverluste
Fusionsreaktoren	Kernfusion	Plasmazone in Magnetfeld	-

Tabelle 28.5. Übersicht über Energiewandlungssysteme (II)

28.3. Systeme zur Energieumformung

Von den 6 Klassen der Energieumformungssysteme sind im wesentlichen 3 technisch bedeutsam: Umformsysteme für mechanische, thermische und elektrische Energie. Sie sind durch zahlreiche Repräsentanten in der Produktion, in der Energiewirtschaft, im Haushalt und anderen gesellschaftlichen Bereichen vertreten, was sich vor allem aus der Tatsache ergibt, dass diese Energiearten in allen Bereichen der Gesellschaft als Endenergie und Nutzenergie unter verschiedenartigsten Bedingungen und Anforderungen gebraucht und eingesetzt werden. Allgemein lässt sich sagen, dass die Funktion der Energieumformer vor allem darin besteht, die Endenergiearten an ihren jeweiligen Verwendungszweck anzupassen oder ihren rationellen Transport zu ermöglichen.

28.3.1.Umformsysteme für mechanische Energie

Getriebe sind die universellste Gruppe von mechanischen Energieumformern. Sie sind in fast allen entwickelten technischen Systemen zu finden und fungieren dort als Übertragungsorgan. Getriebe dienen dazu, die vom Antriebsorgan gelieferte Operationsenergie in die für den Prozess erforderliche Form hinsichtlich Drehzahlen, Bewegungsabläufen und Drehmomenten überzuführen. Entsprechend den außerordentlich vielfältigen Anforderungen der Maschinentechnik existiert eine Vielzahl kaum überschaubarer Getriebearten. Typisch ist, dass ein und dieselbe Bewegungsumformung durch sehr verschiedenartige und unterschiedlich strukturierte Getriebe erreicht werden kann. Ihre Einteilung kann ebenfalls unter sehr unterschiedlichen Gesichtspunkten vorgenommen werden, weshalb wir auf die spezielle getriebetechnische Literatur verweisen.

Wir wollen hier zwei Gruppen von Getrieben nach ihrer technischen Funktion unterscheiden: Getriebe zur Drehzahländerung und Getriebe zum Ändern des Bewegungsablaufes.

Getriebe zur Drehzahländerung sind im Allgemeinen als Rädergetriebe gestaltet. Ihre Hauptvertreter sind Zahnradgetriebe, Reibradgetriebe und Zugmittelgetriebe. Alle Rädergetriebe haben die Aufgabe, Drehbewegungen in Drehzahl und Bewegungsrichtung zu ändern und Drehmomente in Größe und Richtung umzuformen. Die Kraftübertragung innerhalb des Getriebes kann kraftschlüssig (Reibradgetriebe) oder formschlüssig (Zahnrad-, Schrauben-, Schneckengetriebe) erfolgen. Bei größeren Achsabständen zwischen Antriebs- und Abtriebsrad kommen Zugmittelgetriebe zu Einsatz. Als Zugmittel eignen sich Riemen, Seile und Ketten.

Getriebe zum Ändern des Bewegungsablaufes werden überall dort gebraucht, wo Drehbewegungen in geradlinige Bewegungen umgeformt werden müssen. Zu ihnen gehören die Kurbelgetriebe und die Kurvengetriebe.

Kurbelgetriebe formen in der Hauptsache Drehbewegungen in geradlinige Bewegungen und umgekehrt um. Es sind periodisch arbeitende Getriebe. Die gleichförmige Rotationsbewegung der Antriebswelle wird im Schubkurbelgetriebe in gleitende Hin- und Her-Bewegung, in der Kurbelschwinge in eine Schwingungsbewegung um eine feste Achse umgeformt. Doppelschwingengetriebe finden wir in Kränen, mit der beim Auslegen und Einziehen des Kranarms die Last stets in gleicher Höhe gehalten werden kann. Kurbelgetriebe sind Bestandteil von Verbrennungskraftmaschinen, Pumpen, Kompressoren, Pressen und Waagerecht-Stoßmaschinen

Kurvengetriebe sind in der Regel kleinere Systeme mit geringer Leistungsübertragung aber wesentlich größerem Bewegungspotential. Hauptbestandteile der Kurvengetriebe sind Kurventräger, Abtriebsglied und Gestell. Ihr Einsatzgebiet sind Maschinen, in denen schnelle Drehbewegungen in periodisch sich wiederholende, z. T. komplizierte Translationsbewegungen umzuformen sind, z.B. in Verpackungsmaschinen, Webautomaten, automatischen Werkzeugmaschinen, polygraphischen Maschinen und nockengesteuerten Verbrennungsmotoren.

Strömungsgetriebe. Neben den mechanischen Getrieben gibt es auch hydraulische und pneumatische Getriebe. In ihnen werden Bewegungsänderungen durch strömende Medien (Flüssigkeiten, Gase) vermittelt. Man fasst sie unter der Sammelbezeichnung Strömungsgetriebe zusammen. Mit ihnen können große Kräfte übertragen werden. Sie bestehen aus einer Pumpe und einem Flüssigkeitsmotor, die durch Druck- und Saugleitungen miteinander gekoppelt sind. Mit ihnen können sowohl Drehzahländerungen als auch Bewegungsrichtungsänderungen stufenlos realisiert werden. (Abb. 28.4.)

Turbinen sind technische Systeme, die die Strömungsenergie flüssiger, gasförmiger oder dampfförmiger Arbeitsmedien in Rotationsbewegung von Wellen umformen. Sie werden auch als Strömungskraftmaschinen bezeichnet. Während die Strömungsenergie (Druckenergie) der flüssigen Medien (Wasser) aus einem Höhengefälle vor und nach der Turbine resultiert, wird bei Gasen und Dämpfen die erforderliche Druckenergie durch Umwandlung von Wärmeenergie erzeugt. Windturbinen nutzen die Strömungsenergie der Luft, die beim Druckausgleich zwischen Hochdruck- und Tiefdruckgebieten entsteht (Abb. 28.5.).

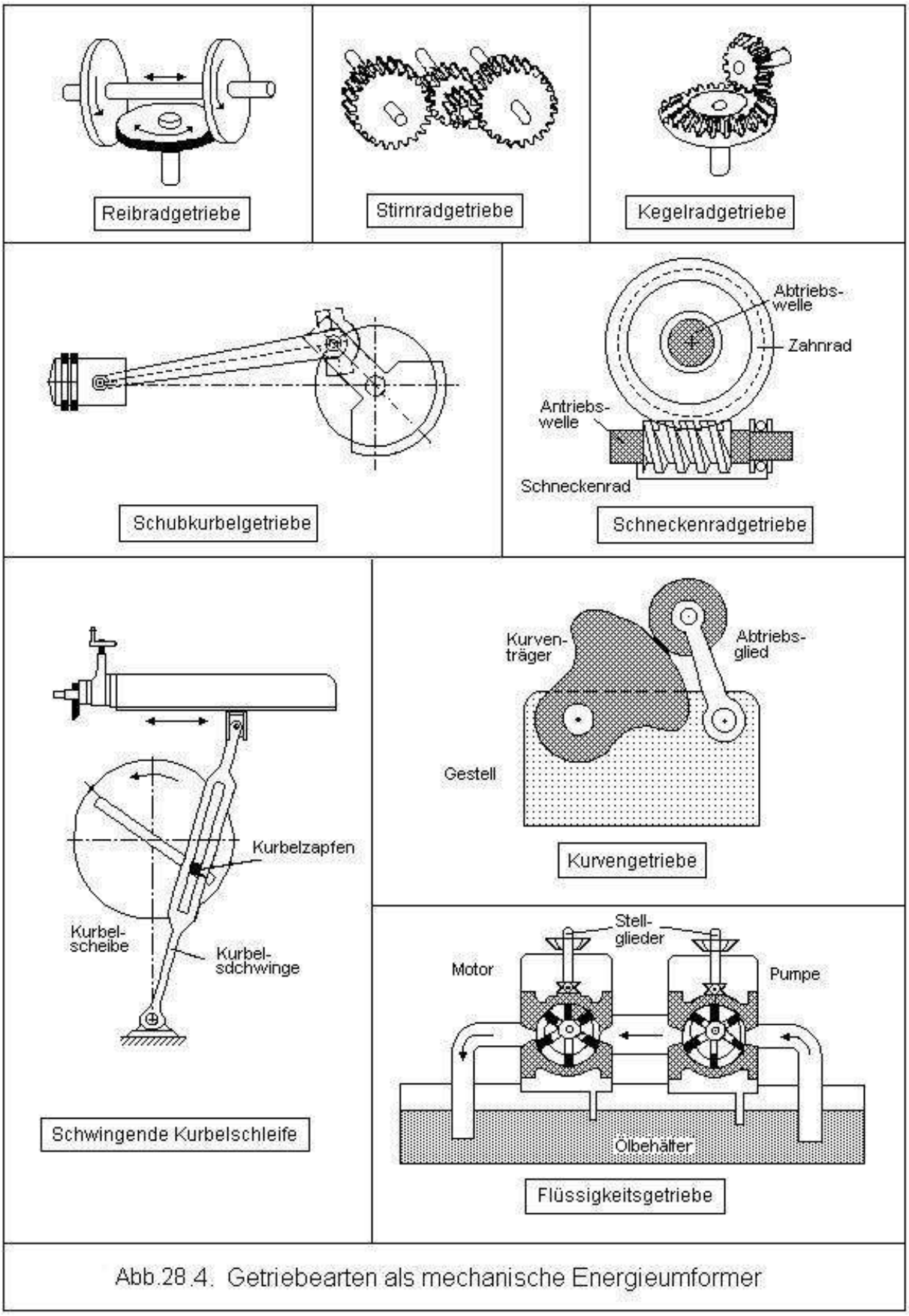


Abb.28.4. Getriebearten als mechanische Energieumformer

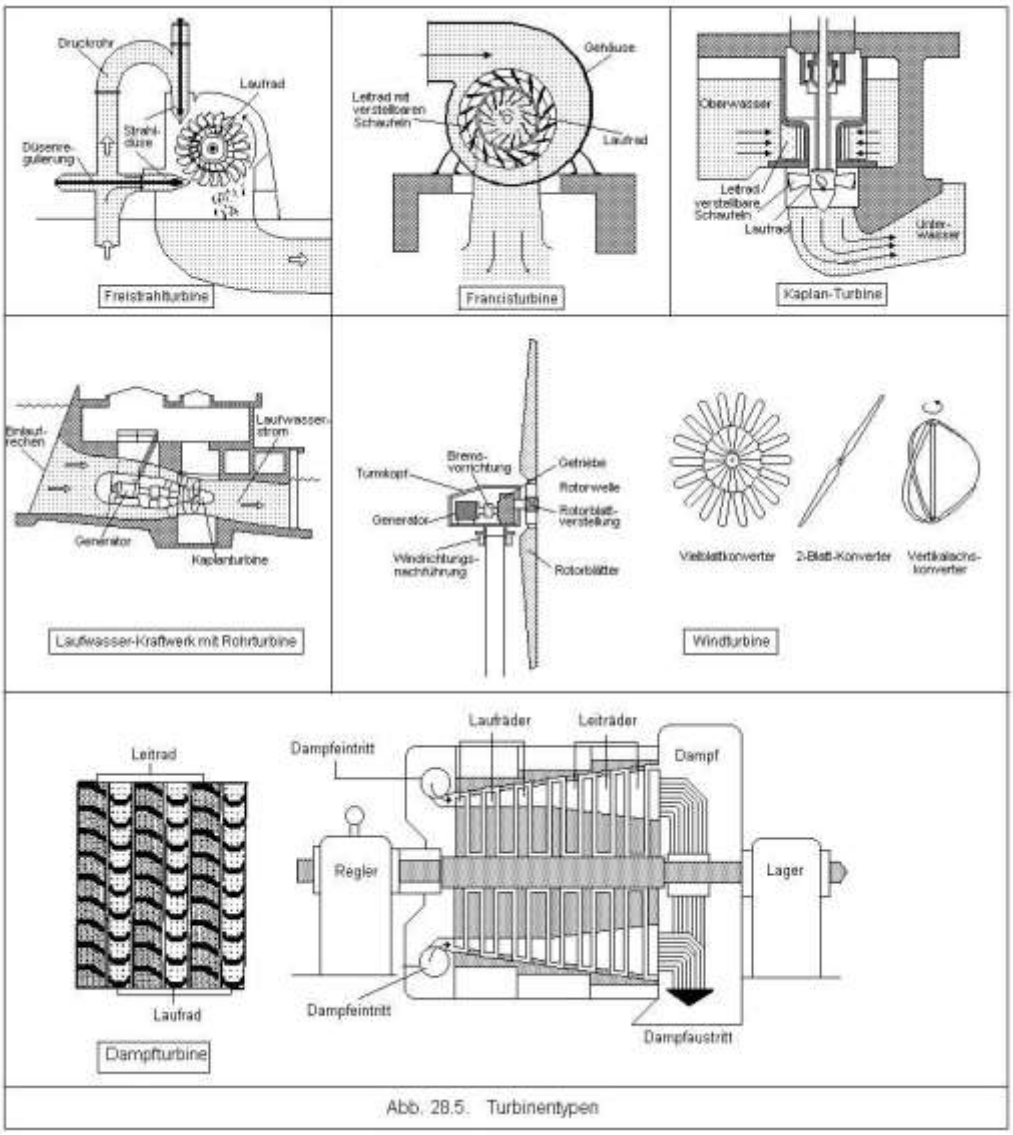


Abb. 28.5. Turbinentypen

Wasserturbinen stellen die Weiterentwicklung der seit Jahrtausenden genutzten Wasserräder dar, wenngleich ihre Arbeitsweise kaum noch mit ihnen vergleichbar ist. Das Arbeitsorgan der Wasserturbinen ist ein mit Schaufeln ausgestattetes Laufrad, das auf einer Welle (ÜbO) angeordnet ist. Es nimmt die Energie des strömenden Mediums auf und überträgt sie als Rotationsenergie auf die Welle. Diese wird meist direkt mit einem Generator gekoppelt, der die mechanische Energie in elektrische umwandelt. Für die rationelle Nutzung verschiedener Fallhöhen und Wassermengen sind unterschiedliche Turbinenarten entwickelt worden Man unterscheidet Freistrahl- und Überdruckturbinen.

Die Freistrahlturbinen, deren wichtigste Vertreter die Peltonturbinen sind, werden für relativ große Fallhöhen und geringe Wasserdurchsätze eingesetzt. In ihnen wird das Wasser durch ein Druckrohr und Düsen (PsO) auf die Schaufeln (mit der Form von Doppellöffeln) geleitet. Die Druckkraft des Wasserstrahls lässt sich durch die Verstellung der Düsenöffnung regeln. Peltonturbinen werden vor allem für große Gefälle eingesetzt. Ihr Wirkungsgrad liegt bei 85-90 %.

Überdruckturbinen haben in der Francisturbine und der Kaplanturbine die verbreitetsten Ausführungsformen. Bei der Francisturbine (für mittlere Fallhöhen) sind die Schaufeln des Laufrades gekrümmt und verengen sich zur Radmitte. Das Laufrad wird von einem Leitrad (PsO) umgeben, das am Turbinengehäuse befestigt ist. Das Wasser tritt gleichzeitig über alle Kanäle des Leitrades auf die Turbinenschaufeln. Es verlässt die Turbine über das sich leicht konisch erweiternde Saugrohr (FüO). Die dabei auftretende Sogwirkung ermöglicht die Ausnutzung eines Teils der nach dem Austritt aus der Turbine dem Wasser noch verbliebenen Energie. Francisturbinen können durch die Verstellung der Leitschaufeln gesteuert werden. Dieser Turbinentyp ist für fast alle vorkommenden Gefällehöhen und Wasserströmungen geeignet. Ihr Wirkungsgrad liegt ebenfalls bei 85-90 %.

Kaplanturbinen sind besonders für kleinere Fallhöhen und schwankende Wassermengen geeignet. Es sind schnelllaufende Turbinen mit senkrecht angeordneter Laufradwelle. Sie erinnern an eine Schiffsschraube. Die Schaufeln sind ähnlich wie bei Flugzeugpropellern verstellbar, wodurch auf unterschiedliche Wasser- und Strömungsbedingungen zur Sicherung eines hohen Wirkungsgrades (Bis 90%) reagiert werden kann. In Abhängigkeit von den Laufradschaufeln können auch die Leitradschaufeln verstellt werden. Das Wasser gelangt über einen Einströmkanal in die Leitschaufeln und fällt von dort auf die Laufradschaufeln.

In Wärmekraftwerken werden *Dampfturbinen* zum Antrieb von Generatoren eingesetzt. Hochdruckdampf versetzt die Laufräder in schnelle Drehung. Die Leiträder sorgen dafür, dass der Dampf in einem optimalen Winkel auf die Schaufelblätter trifft. Die Turbinenwelle ist meist mit einem Generator gekoppelt, die die mechanische Energie in elektrische Energie wandelt. Die Darstellung der Organstruktur von Dampfturbinen erfolgt in Kap. 28.6.2.

Windturbinen haben in den letzten Jahrzehnten eine bedeutende Entwicklung durchlaufen. Sie besitzen als Arbeitsorgan einen Rotor mit wenigen propellerartigen oder zahlreichen auf einer Ringfläche verteilen Flügeln. Die Regelung erfolgt durch Verstellung des Anstellwinkels der Flügel und durch Drehung des Windrades. Es sind auch Vertikalachsrotoren entwickelt worden. Der Wirkungsgrad der Windturbinen liegt zwischen 35 und 45 %. In Windkraftanlagen sind sie mit einem Generator gekoppelt und wandeln Windenergie direkt in elektrischen Strom um. Sie bestehen aus einer auf einem 25 bis 40 m hohem Stahlbeton- oder Stahlrohrmast angeordneten Gondel, in der die Rotorwelle mit Lager, das Getriebe, der Drehkranz, die Bremse und der Generator angeordnet sind. Der Rotor besitzt zwei bis drei Blätter. Dreiflügler besitzen zwar keinen höheren Wirkungsgrad, entwickeln aber wegen ihrer niedrigeren Drehzahl geringere aerodynamische Geräusche. Windenergieanlagen erfahren gegenwärtig eine stürmische Entwicklung. Die Windkraftanlagen werden immer größer. Im Jahr 2000 betrug die durchschnittliche Nennleistung einzelner Anlagen in Deutschland 1 bis 1,3 MW. Probleme für die Erhöhung der Windkraftleistung erwachsen aus dem stark schwankendem Stromanfall und dem daraus resultierenden hohen Regelaufwand für die Einbeziehung von Windenergie ins Netz.

Dampfmaschinen sind mit Wasserdampf betriebene Wärmekraftmaschinen zum Umsetzen der Energie des gespannten Dampfes in mechanische Bewegungsenergie. Ihre wesentlichen Bauteile sind der Dampferzeuger, der Hohlzylinder (in den sich ein Kolben durch Dampfdruck hin und her bewegt), einem Schubkurbelgetriebe zur Kraftübertragung (das die hin und her gehende Bewegung in eine drehende Bewegung umformt), der Steuer- und Regeleinrichtung und einem dem Zylinder nachgeschalteten Kondensator (Abb. 28.5a).

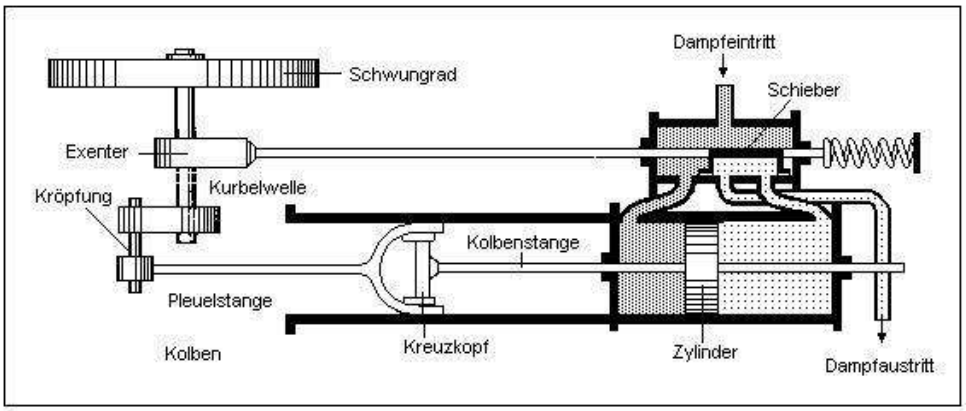


Abb. 28.5a. Dampfmaschine (mit Schiebersteuerung)

Pumpen sind im allgemeintechnischen Sinne technische Systeme, die mechanische Energie in Strömungsenergie oder Druckenergie umformen (Abb.28.5b). Nach dem Funktionsprinzip werden unterschieden:

I. Hubkolbenpumpen (Kolbenpumpen, Membranpumpen)
II. Rotationskolbenpumpen (Zahnradpumpen, Kreiskolbenpumpen, Zellenpumpen)
III. Kreiselpumpen
IV. Strahlpumpen
V. Verdichter (Ventilatoren, Gebläse, Kompressoren).

Pumpen dienen in der technischen Anwendung zum Fördern von Flüssigkeiten.

Kolbenpumpen besitzen als aktives Arbeitsorgan einen hin- und her gehenden Kolben, durch den die Förderflüssigkeit angesaugt und aus dem Pumpenkörper in die Druckleitung gedrückt wird. Gut schließende Ansaug- und Druckventile steuern den Vorgang.

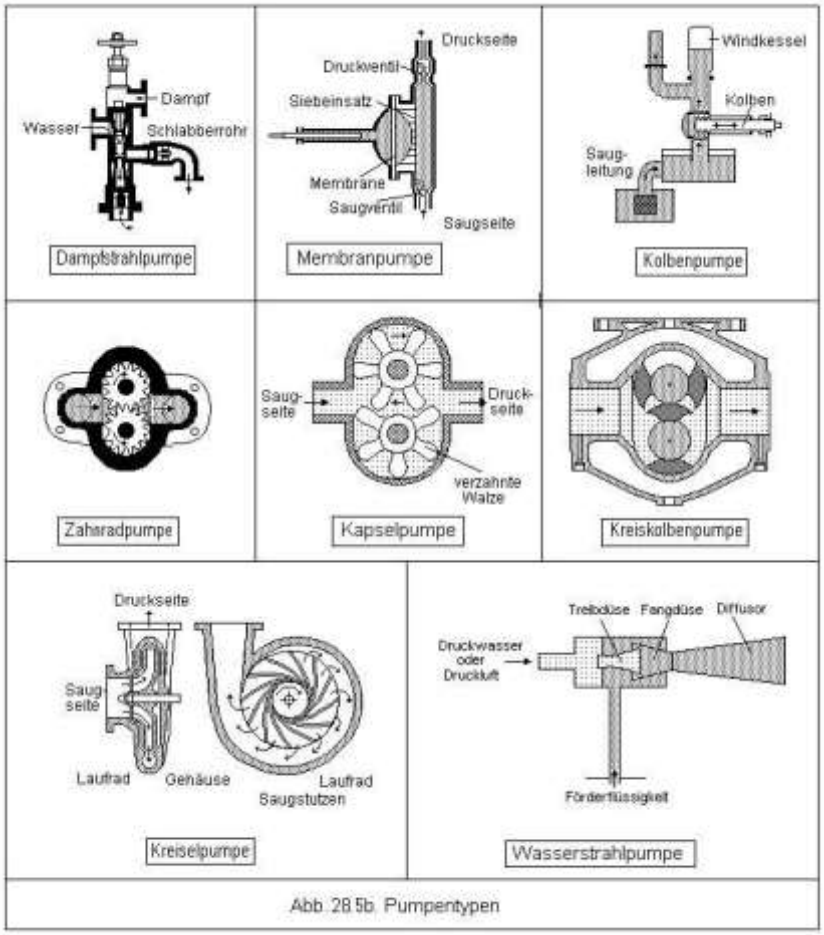


Abb. 28.5b. Pumpentypen

Kreiselpumpen sind die in der Technik allgemein am verbreitetsten anzutreffenden Pumpentypen. Ein auf einer Welle sitzendes, mit gekrümmten Schaufeln ausgestattetes Flügelrad erfasst die eintretende Flüssigkeit und schleudert sie infolge der Zentrifugalkraft mit großem Druck und großer Geschwindigkeit nach außen. Kreiselpumpen sind nicht selbstansaugend, deshalb sind sie so ausgebildet, dass auch im Ruhezustand ständig Flüssigkeit im Pumpengehäuse vorhanden ist. Zahnradpumpen sind langsamer laufende Verdrängerpumpen. Zwei ineinander greifende Zahnräder erfassen auf der Saugseite eine Flüssigkeitsmenge und fördern sie auf die Druckseite hinüber. Die Durchlaufgeschwindigkeit lässt sich durch Drehzahländern steuern, was stufenlos regelbare Motoren erfordert. Kreiskolbenpumpen werden für größere Fördermengen bei kleinen und mittleren Förderhöhen eingesetzt. In einem Gussgehäuse bewegen sich zwei Wälzkolben gegeneinander, die durch ein außen liegendes Stirnradgetriebe angetrieben werden. Kreiskolbenpumpen sind selbstansaugend.

Bei den *Strahlpumpen* dienen, Wasser, Luft oder Dampf als Treibmittel. Das aus einer Düse austretende Medium reißt die vor der Düse stehende Flüssigkeit mit und erzeugt einen Unterdruck. Dadurch wird die Förderflüssigkeit angesaugt und in die Druckleitung gedrückt.

Kompressoren und Gebläse dienen zur Förderung gasförmiger Stoffe. Sie erzeugen durch Kompression der zu fördernden Gase eine Druckdifferenz, die das Fördergut durch Rohrleitungen oder Kanäle strömen lässt. Nach der erreichten Druckdifferenz unterscheidet man Kompressoren (3 –1000 at), Gebläse (1,1 bis 3 at) und Ventilatoren (1 bis 1,1 at) (Abb.28.5c.).

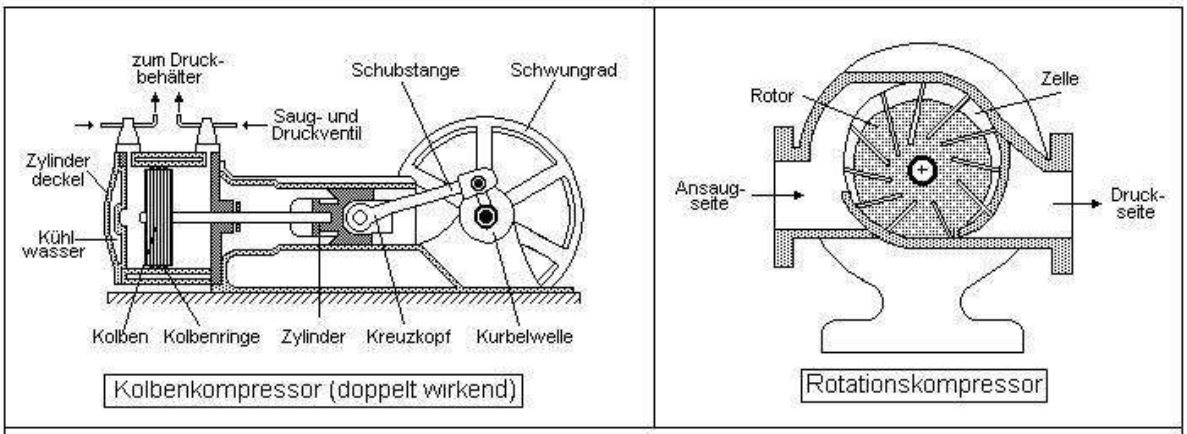


Abb. 28.5c Kompressoren und Gebläse

28.3.2. Wärmeumformsysteme

Zu den Wärmeumformsystemen gehören Wärmeaustauscher, Kühltürme und Dampferzeuger.

Wärmeaustauscher sind technische Systeme zur Übertragung von Wärmeenergie von einem heißen Medium auf ein kühleres (Abb. 28.6.). Sie arbeiten kontinuierlich. Wärmeaufnehmendes und wärmeabgebendes Medium sind durch eine Rohrwand getrennt. Häufige Ausführungsformen sind Rohrbündel-Wärmeaustauscher, Doppelrohr-Wärmeaustauscher, Schlangenkühler und Rieselkühler. Zur Raumheizung werden Radiatoren eingesetzt. Sonderfälle von Wärmeaustauschern sind die in der metallurgischen und keramischen Industrie zur Rückgewinnung von Wärmeenergie verbreiteten Regeneratoren und Rekuperatoren. Sie werden diskontinuierlich betrieben. Die Wärme heißer Abgase wird von Schamottegittern aufgenommen und später an zu erwärmende Gase abgegeben.

Kühltürme sind im Prinzip Wärmeaustauscher, die die Aufgabe haben, größere Mengen erwärmtes Wasser wieder auf eine niedere Temperatur abzukühlen. Als Kühlmittel dient Luft. Haupteinsatzgebiete sind Wärmekraftanlagen und Chemiewerke. Die heute gebräuchlichste Kühlturmform ist der Naturzug-Naßkühlturm (Abb.28.6.). Er erreicht nicht selten Höhen von mehr als 100 Metern und besteht aus einer in der Mitte verjüngten Betonschale. Sie ruht auf einer gitterförmigen Tragkonstruktion, durch die am gesamten Umfang des Turmes seitlich Kühlluft einströmen kann. In etwa 12 m Höhe wird das erwärmte Kühlwasser über Verteilerrohre auf Rieseleinbauten geleitet und strömt nach unten ab. Die Kühlluft nimmt die Wärme auf, strömt infolge des wärmebedingten Auftriebes nach oben, während sich das abgekühlte Wasser in der Kühlturmtasse sammelt und von dort in das Entnahmegewässer zurückgeleitet wird. Über dem Verteilerrohr befinden sich Tropfenabscheider, die mitgerissene Wassertropfen zurückhalten. Etwa 3 - 5% des Kühlwassers verlassen den Kühlturm als Dampf mit der Kühlluft.

In Kohlekraftwerken durchströmen ständig beträchtliche Kühlwasserströme (3 bis 4 cbm in der Sekunde je 100 MW Kraftwerksleistung) die Kondensatoren. Um das Entnahmegewässer nicht unzulässig aufzuheizen, wird die Temperatur des Kühlwassers in Kühltürmen herabgesetzt, bevor es in den Vorfluter zurückgeleitet wird. Es gibt im Prinzip vier unterschiedliche Kühlverfahren mit charakteristischen Kühlturmtypen, um die Abwärme von Wärmekraftwerken an die Umgebung abzuführen: die Frischwasserkühlung, die Kühlung mit Nasskühltürmen, mit Trockenkühltürmen und mit Hybridkühltürmen. Bei Frischwasserkühlung wird einem ausreichend großen Gewässer Wasser entnommen, durch den Kraftwerkskondensator geleitet und aufgewärmt wieder in den Fluss oder den See zurückgeführt. Bei den anderen Technologien wird das Wasser nach der Aufwärmung im Kondensator durch Kühltürme geleitet. Trockenkühltürme arbeiten mit geschlossenen Kühlkreisläufen.

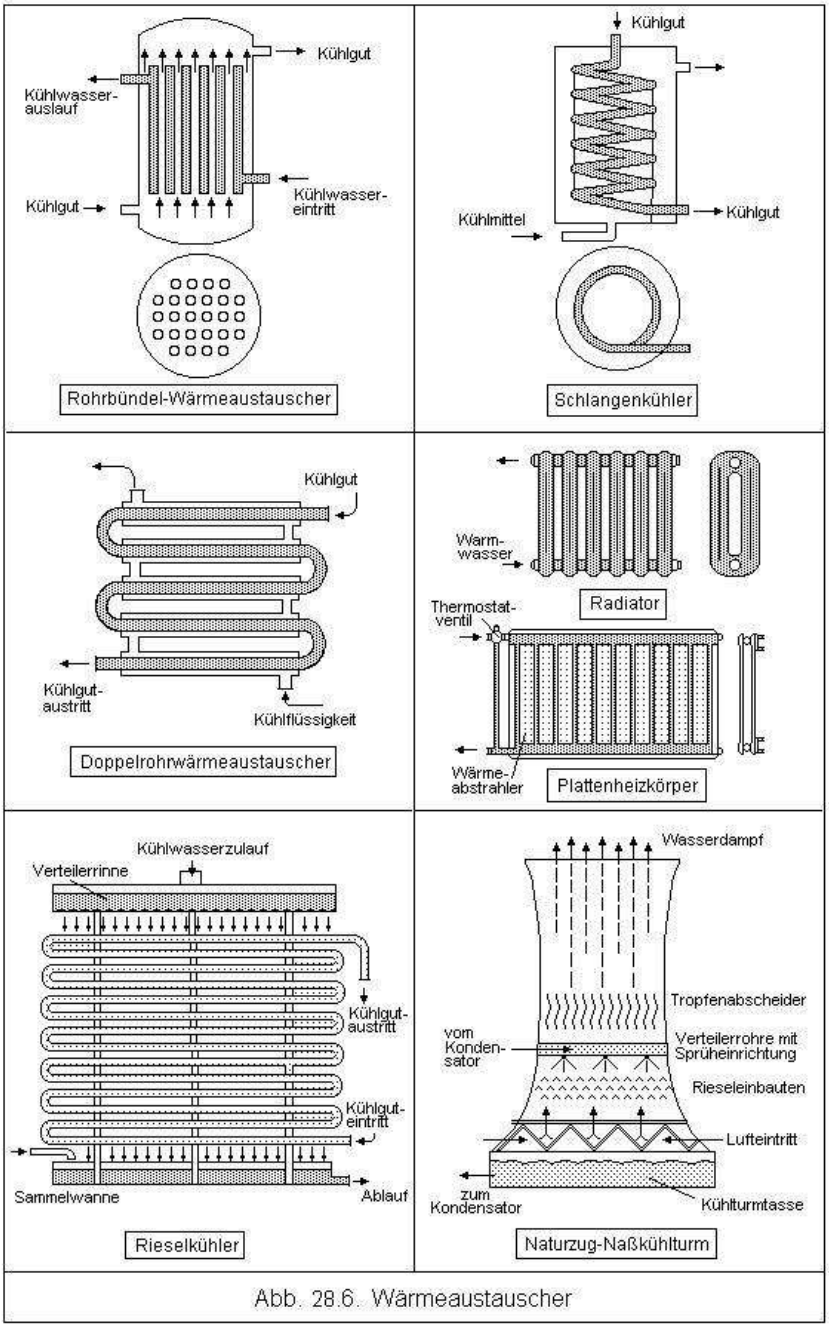


Abb. 28.6. Wärmeaustauscher

Das erwärmte Wasser wird im Kühlturm durch Wärmeaustauscherrohr geleitet und durch die vertikale vorbeiströmende Luft gekühlt. Hybridkühltürmen sind eine Kombination von Trocken- und Nasskühltürmen. Die Kühltürme können als Naturzug- oder als Ventilatorkühltürme ausgeführt sein. Erstere brauchen eine wesentlich höhere Baugröße, damit sich ein ausreichender aufsteigender Luftstrom ausbilden kann. Letztere brauchen zusätzliche Energie für den Ventilatorbetrieb.

28.3.3. Umformsysteme für Elektroenergie

Zu den Umformsystemen für Elektroenergie gehören Transformatoren und Gleichrichter.

Transformatoren sind ruhende elektrische Maschinen, die elektrische Wechselspannungen einer bestimmten Spannung und Stromstärke in einen elektrischen Strom mit anderen Spannungs- und Stromwerten bei gleich bleibender Frequenz umformen. In den verschiedenen Anwendungsgebieten haben sie unterschiedliche Aufgaben. In der Leistungselektrik dienen sie dazu, die Energieübertragung wirtschaftlich zu gestalten, indem sie geeignete Übertragungsspannungen des Stromes bereitstellen. In der Informationselektrik sollen sie Ströme und Spannungen in messtechnisch einfach zu erfassende Größen überführen und als Übertrager Widerstandsanpassungen vornehmen. Transformatoren bestehen aus zwei Spulen, die durch einen Eisenkern magnetisch gekoppelt sind. Dazu werden spezielle Transformatorenbleche mit geringen Leerlaufverlusten

eingesetzt. Der Kern ist zur Minimierung von Wirbelstromverlusten aus zahlreichen lamellenartigen Blechpaketen aufgebaut. Die umwickelten Teile des Kerns bezeichnet man als Schenkel, die freien als Joche. Die Spannungen verhalten sich wie die Windungszahlen der Spulen, die Ströme umgekehrt wie die Windungszahlen. Beim Einsatz des Transformators als Übertrager zur Anpassung von Widerständen werden die Widerstandswerte im Verhältnis des Quadrats des Übersetzungsverhältnisse verändert.

Gleichrichter formen Wechsel- oder Drehstrom in Gleichstrom um. Sie fungieren als Ventil, das den elektrischen Strom nur in einer Richtung passieren lässt und in der anderen fast vollständig sperrt. Nach dem Funktionsprinzip unterscheidet man Halbleitergleichrichter (Gleichrichterdioden und Thyristoren) und Quecksilberdampfgleichrichter

28.3.4. Umformsysteme für Strahlungsenergie

Laserstrahler sind technische Systeme, mit deren Hilfe Lichtstrahlung in monochromatische kohärente Strahlung umgeformt werden kann. Nach der Art des aktiven Arbeitsorgans unterscheidet man Festkörper-, Flüssigkeits-, Gas- und Halbleiter-Laser. Beim Kristalllaser wird innerhalb des Lasersystems durch eine Blitzlichtlampe (AnO) elektrische Energie in Strahlungsenergie umgewandelt. Im aktiven Medium (AbO) wird durch ein äußeres Strahlungsfeld (Blitzlichtlampe) eine Strahlung im System angeregt, die zwischen parallelen Spiegeln (PsO) mehrfach reflektiert wird, wodurch es zu einer Resonanzverstärkung kohärenter Strahlung kommt. Die Strahlung kann als parallel gerichtete und gebündelte Strahlung durch einen der Spiegel, der halbdurchlässig ist, austreten. Hauptanwendungsgebiete der Lasersysteme sind die Bearbeitung hochfester Werkstoffe (z.B. Durchbohren von Diamanten), in der Informationsverarbeitung und -speicherung, in der Messtechnik und in der Medizin.

28.4. Übersicht über die Energiewandlungssysteme

Energiewandler umfassen die Gesamtheit der energieändernden Systeme, deren Funktion in der Umwandlung einer Energieart in eine andere besteht. Dabei kann ihre Aufgabe sowohl im Bereich der Energiewirtschaft (Energieerzeugung und Nutzung) wie auch auf dem Gebiet der Steuerungs- und Regelungstechnik liegen. Von den 30 Klassen möglicher energiewandelnder Systeme sind nicht alle technisch realisiert oder haben für die praktische Nutzung noch eine sehr untergeordnete Bedeutung. Wir erfassen in der folgenden Übersicht deshalb nur technisch bedeutsame Klassen und nennen innerhalb der Klassen die wesentlichen Vertreter. Auch Wandlungssysteme mit großer praktischer Bedeutung, aber ohne Bedeutung für die Energiegewinnung und -nutzung wie Bremsen (mechano-thermische Wandler), betastrahlende Radionukleïdbatterien (Kern-elektrische Wandler) oder Reibschweißanlagen (mechano-thermische Wandler) werden in der weiteren Darstellung nicht berücksichtigt.

28.4.1. Mechano-energetische Wandler

Zur Gruppe der mechano-energetischen Wandler gehören fünf Klassen, die jeweils mechanische Energie in chemische, thermische, elektrische, Strahlungs- oder Kernenergie überführen. Energiewirtschaftliche Bedeutung haben in dieser Gruppe nur die mechano-elektrischen Systeme. Aus den anderen Klassen seien lediglich die mechano-chemischen Reaktoren genannt, in denen Reaktionsgemische für die chemische Umwandlung durch intensive mechanische Bearbeitung (Mahlen, Stoßen, Reiben) aktiviert werden. Sie sind in Kapitel 9.7. besprochen.

Als bedeutendste Repräsentanten der **mechano-elektrischen Systeme** sind in Tabelle 10.4. Drehstromgeneratoren, Gleichstromgeneratoren und piezoelektrische Geber genannt. Auch das Kohlemikrophon ist im Prinzip ein mechano-elektrischer Wandler. Es wird aber zweckmäßigerweise als informationsverarbeitendes System eingestuft.

Gleichstromgeneratoren haben als grundlegende Bestandteile den Ständer und den Anker. Der Ständer ist der ruhende Teil des Systems (Stator). Der zylinderförmige Körper enthält innen die Hauptpole mit den Erregerwicklungen. Die Pole sind zur Vermeidung von Wirbelströmen aus geschichteten Dynamoblechen zusammengesetzt und die Polschuhe an die kreisförmige Gestalt des Ankers angepasst, um den den Magnetfluss störenden Luftspalt zwischen Magnetpolen und Rotor möglichst klein zu halten. Ein Elektromagnet liefert das erforderliche Magnetfeld. Er kann von außen (fremderregter Generator) oder in einem selbsterregten Generator durch eine parallel zum Anker angeschlossene Erregerwicklung (Nebenschlussgenerator) gespeist werden. Der Anker ist der bewegte Teil (Läufer, Rotor) und bildet zusammen mit dem Stator das Ar-

beitsorgan (Stator-Rotor-System). Der Ankerkörper besteht ebenfalls aus geschichteten Dynamoblechen. Nuten im Anker nehmen die Ankerwicklung auf, die wegen der hohen Fliehkräfte besonders gesichert sein muss. Gleichstromgeneratoren haben heute kaum noch Bedeutung.

Wechselstromgeneratoren sind hauptsächlich Synchrongeneratoren und als Innenpolmaschinen gestaltet. Die Induktionswicklungen sind im Stator angeordnet. Das ermöglicht, den Strom über einen festen Kontakt abzunehmen. Bei dem allgemein eingesetzten Drehstromgenerator erzeugen drei voneinander getrennte, um 120° versetzte Induktionswicklungen Drehstrom. Der Rotor trägt einen sich drehenden Elektromagneten, dessen Spulen an einen kleinen Gleichspannungsgenerator als Erregermaschine angeschlossen sind (Abb. 28.7.). Im Einzelnen wird die Organstruktur des Drehstromgenerators in Kap. 28.6.3. beschrieben.

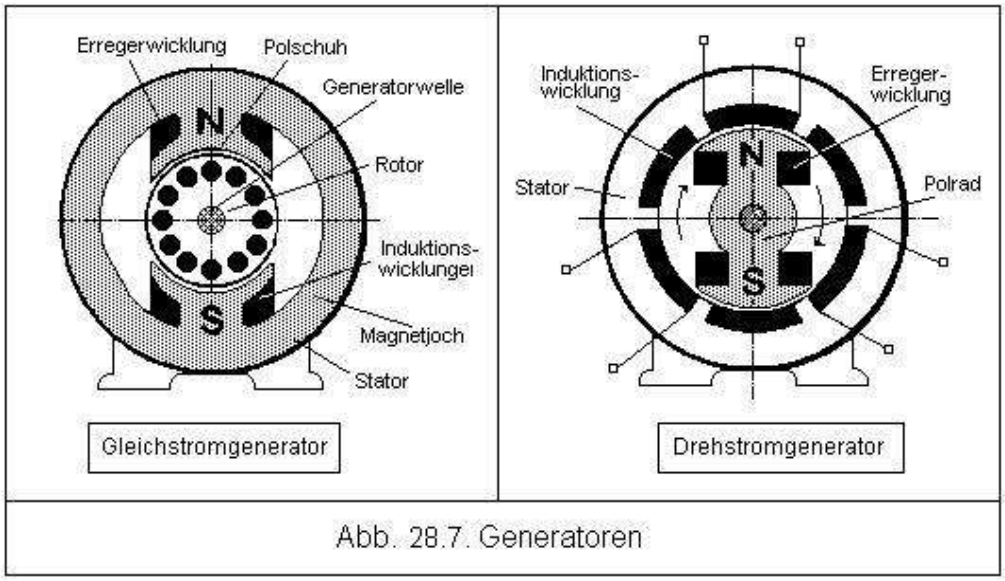


Abb. 28.7. Generatoren

Zu den mechano-elektrischen Wandlern gehören auch die *piezoelektrischen Wandler* Sie werden in der Mess- und Nachrichtentechnik eingesetzt. In ihnen wird die Eigenschaft bestimmter Kristalle (z.B. Quarz, Turmalin, Topas, Zinkblende) genutzt, bei Druckeinwirkung oder Dehnung eine elektrische Spannung aufzubauen. Sie bestehen aus zwei Druckstücken, zwischen die ein piezoelektrischer Kristall gespannt ist. Die elektrische Spannung wird über Elektroden am Druckstück und am Kristall abgenommen.

28.4.2. Chemo-energetische Wandler

Von den theoretisch möglichen Klassen der Wandler, die chemische Energie in andere Energiearten umwandeln, haben drei praktische Bedeutung erlangt: die chemo-mechanischen, die chemo-thermischen und die chemo-elektrischen Wandler.

Zu den **chemo-mechanischen Wandlungssystemen** gehören die Verbrennungsmotoren und die Gasturbinen (Abb. 28.8).

Verbrennungsmotoren wandeln die in den Kraftstoffen gebundene chemische Energie in Bewegungsenergie um. Das in den Zylinder des Motors eingesogene (bzw. gespritzte) Kraftstoff-Luft-Gemisch wird elektrisch oder durch Kompression explosionsartig zur Entzündung gebracht. Das sich ausdehnende heiße Gas bewegt einen Kolben, dessen Translationsbewegung über ein Kurbelgetriebe in die Rotationsbewegung der Kurbelwelle übergeführt wird. Das Wirkpaar Kolben und Zylinder bilden das Arbeitsorgan des Systems. Die verschiedenen Typen von Verbrennungsmotoren unterscheiden sich vor allem in der Zahl der Takte (Zweitakt-, Viertaktmotor), der Art der Zündung (elektrisch oder durch Kompression) und der Technik der Gemischbildung.

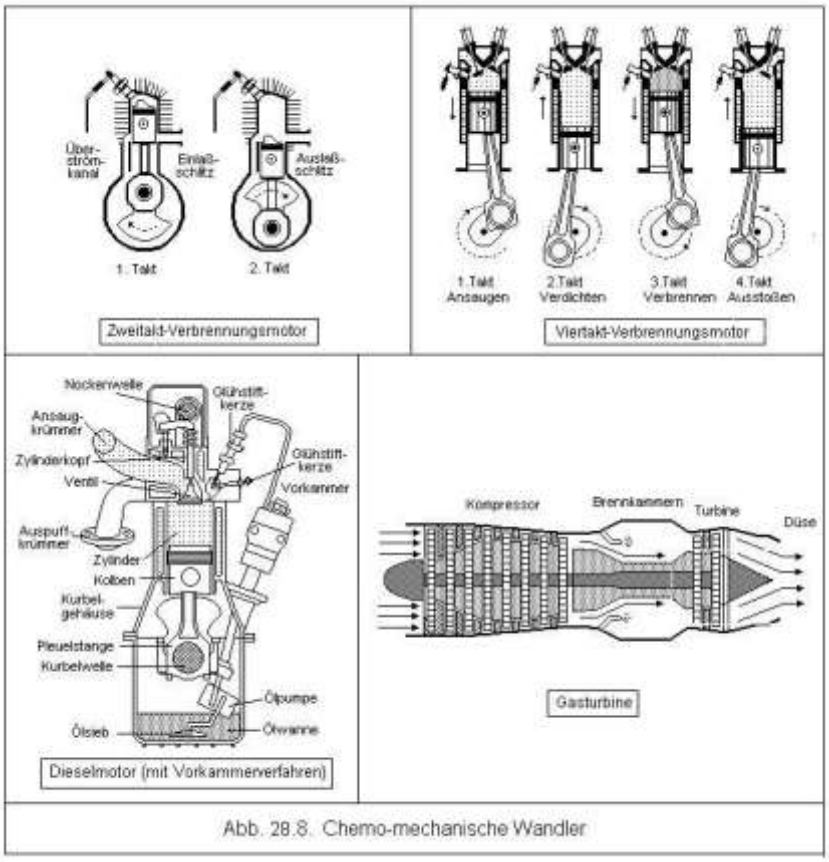


Abb. 28.8. Chemo-mechanische Wandler

Gasturbinen werden wie die Verbrennungsmotoren durch Verbrennungsgase von Treibstoffen angetrieben. Das Arbeitsorgan wird von der Brennkammer und den Turbinenlaufrädern gebildet. Durch einen Kompressor wird komprimierte Luft in die Brennkammer geführt, dort mit eingespritztem Brennstoff vermischt und verbrannt. Die heißen Verbrennungsgase (etwa 1000°C) stehen unter hohem Druck und treiben die Laufräder (AbO) an. Der Kompressor sitzt auf der gleichen Welle wie die Laufräder und wird von ihr angetrieben. Gasturbinen werden in Kraftwerken eingesetzt. Sie haben zwar einen relativ geringen Wirkungsgrad (20%), können aber schnell „hochgefahren“ werden und sind deshalb für Spitzenlastkraftwerke besonders geeignet. Darüber hinaus haben Gasturbinen weite Verbreitung als Flugzeugantriebe gefunden. Der durch den Gasausstoß erzeugte Schub entwickelt Kräfte von 80 000 N und mehr.

Chemo-thermische Energiewandler sind die *Feuerungsanlagen* als integrierender Bestandteil von Dampferzeugern, Industrieöfen und Heizanlagen. Sie haben die Aufgabe, die in den Brennstoffen gebundene chemische Energie durch Verbrennung freizusetzen und an Heizflächen oder Wärmeträger zu übertragen. Feuerungen können für feste, flüssige oder gasförmige Brennstoffe ausgelegt sein. Weiterhin wird die konstruktive Gestaltung durch die Eigenschaften des Brennstoffs (Heizwert, Gehalt an Ballaststoffen, Körnung der Brennstoffteilchen) bestimmt.

Das zentrale Funktionsorgan jeder Feuerungsanlage ist der Brennraum mit dem Rost bzw. der Brennerdüse (AbO). Zur Feuerungsanlage gehören weiter Einrichtungen für die Zuführung des Brennstoffs in den bzw. zum Transport innerhalb des Brennraumes (PsO), Einrichtungen zur Luftzuführung (PsO) sowie Entaschungsanlagen und Einrichtungen zur Ableitung von Rauchgasen.

Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe sind mit Rosten (Treppenrost, Wanderrost) oder mit Kohlenstaubbrennern ausgerüstet (Abb. 28.9.). In Ölheizungen erfolgt die Brennstoffzufuhr mittels Zerstäubungsbrennern, wobei gleichzeitig die Vermischung mit der Verbrennungsluft erfolgt.

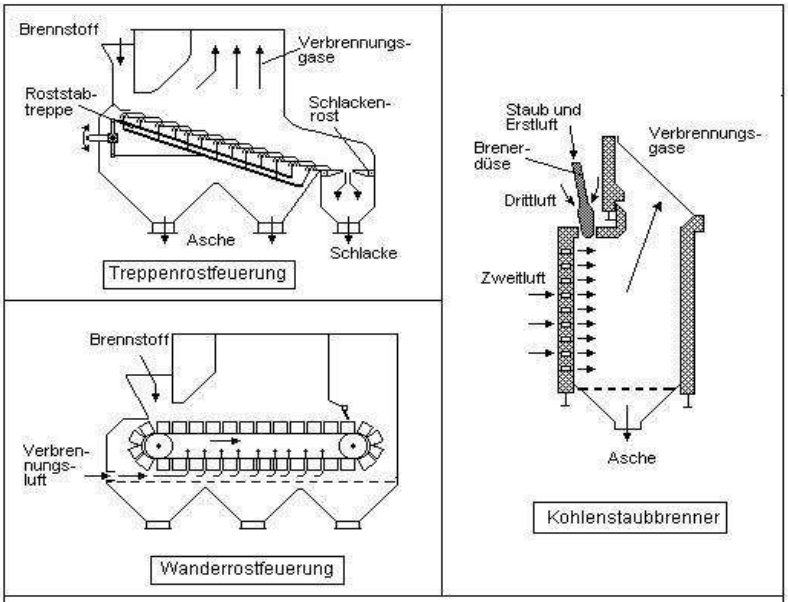


Abb. 28.9. Feuerungsanlagen

In **chemo-elektrischen Wandlern** nutzt man das elektrochemische Wirkprinzip, nach dem sich zwischen zwei Elektroden aus Metall bzw. Metalloxid, die durch einen Elektrolyten leitend verbunden sind, eine galvanische Spannung aufbaut. Die unedlere Elektrode bildet die negative Kathode, die edlere die positive Anode.

Als Primärelemente werden solche chemo-elektrischen Wandler bezeichnet, die nicht wieder aufladbar sind und bei denen sich das Metall der Kathode auflöst. Sie werden allgemein als Trockenbatterien ausgeführt und bestehen aus einem Zinkbecher als negativer Elektrode und einer positiven Braunstein-Elektrode, die einen Kohlestift umschließt, über den der Strom abgeleitete wird. Zwischen beiden befindet sich eine pastenartige Ammoniumchlorid-Lösung als Elektrolyt. Das Arbeitsorgan ist wie bei chemischen Reaktoren der Reaktionsraum innerhalb des Zinkbechers. Der Elektrolyt übt die Funktion eines Wirkmediums aus, das den Prozess zwischen den beiden Elektroden ermöglicht. Neben den Zink-Braunstein-Elementen mit saurem Elektrolyten gibt es auch alkalische Elemente, die Kalilauge als Wirkmedium enthalten. Die Elektroden bestehen aus Zinkpulver und Messing (Abb. 28.10.). Für die Verwendung in Uhren, Hörgeräten, Herzschrittmachern, Transistorgeräten u ä. gibt es sog Knopfzellen. Sie sind meist als alkalische Elemente mit Kalilauge als Elektrolyt und einem Metalloxid als positiver Elektrode und Depolarisator ausgeführt. Die negative Elektrode kann aus Zinkstaub, Eisen, Nickel oder Lithium bestehen.

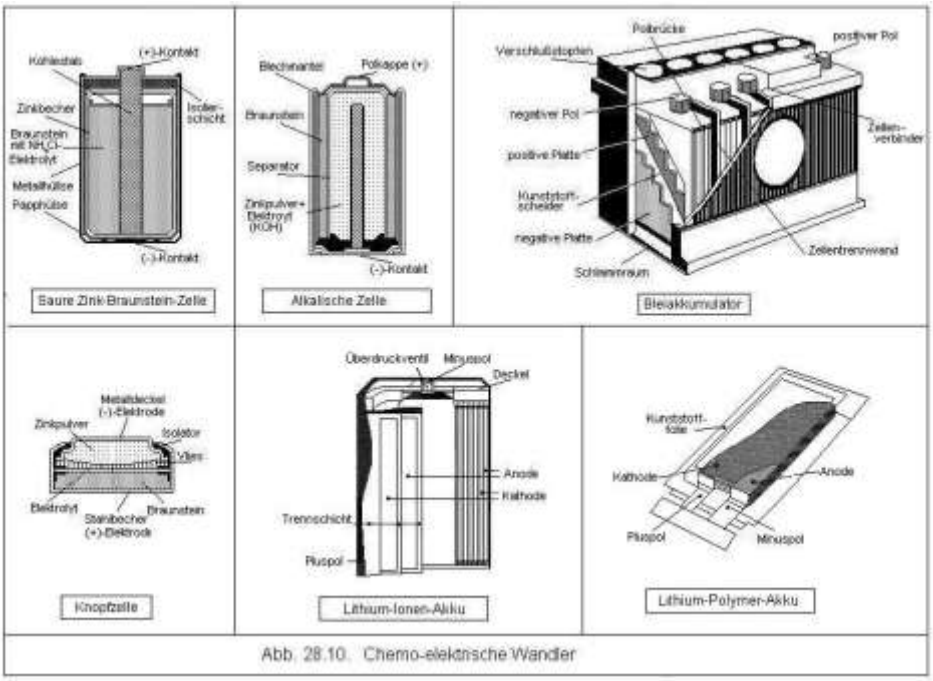


Abb. 28.10. Chemo-elektrische Wandler

Akkumulatoren sind aufladbare galvanische Elemente (Sekundärelemente). Sie dienen zur zeitweiligen Speicherung elektrischer Energie und können bei Bedarf Strom wieder abgeben. Sie bestehen aus einem Gefäß mit mehreren positiven und negativen Elektroden. Die einzelnen Plattenpaare bilden eine Zelle. Mehrere Zellen werden zur Vervielfältigung der Stromspannung oder zur Erhöhung der Stromstärke zusammengeschaltet. Zwischen den Platten befindet sich ein Elektrolyt. Die Platten bestehen aus einem gitterförmigen Träger, in den Metalloxide eingelagert sind. Beim Bleiakku bilden Blei (als Anode), Bleioxid (als Kathode) und Schwefelsäure (als Elektrolyt) die aktiven Elemente des Systems. Verbreitet sind auch Nickel-Cadmium-Akkumulatoren mit Kalilauge als Elektrolyten. (Tab. 28.6.)

Batterien (Primärelemente)		
Bezeichnung	**Merkmale**	**Anwendungsgebiete**
Zink-Kohle (ZnC), 1,5 V	Für wenig anspruchsvolle Anwendungen	Taschenlampen, Fernbedienungen, Wanduhren
Alkali-Mangan (AlMn), 1,5 V	Liefert hohe Stromanforderungen	Tragbare Audiogeräte, Spielzeug, Fotoapparate
Nickel-Zink (NiZn), 1,5V	Sehr hohe Belastbarkeit und Stromanforderung	Digitalkameras
Lithium (Li), 1,5 V	Hohe Belastbarkeit, niedrige Selbdtentladung, Temperaturbeständigkeit	Kameras (Blitz), Außensensoren für Wetterstationen, Anwendu7ngen unter niedrigen Temperaturen
Akkus (Sekundärelemente)		
Nickel-Metallhydrid (NiMH), 1,2 V	Hohe Ernergiedichte, hohe Belastbarkeit, wieder aufladbar	Digitalkameras, Computer-Funkmäuse, Funk-Tastaturen, MP3-Tastaturen
Lithium-Ionen (Li-Ion) Li-Polymer, 3,7 V	Hohe Ernergiedichte, hohe Belastbarkeit, wieder aufladbar	Handys, Camcorder, Notebooks, Digitalkameras
Knopfzellen		
Alkali-Mangan (AlMn) 1,5 V	Für wenig anspruchsvolle Anwendungen	Taschenrechner, Uhren
Zink-Luft (Zn-Luft)1,4 V	Hohe Belastbarkeit	Hörgeräte
Silberoxid (Ag2O), 1,55 V	Mittlere bis hohe Belastbarkeit	Armbanduhren,Taschenrechner, Laserpointer
Lithium (Li), 3 V	Geringe Selbstentladung,hohe Energiedichte, gutes Temperaturverhalten	Fernbedienung, Uhren,Waagen, Messgeräte

Tab. 28.6. Batterie- und Akkutypen

Brennstoffzellen sind neben den Primär- und Sekundärelementen eine weitere Gruppe chemo-elektrischer Wandler. Sie realisieren im Prinzip eine umgekehrte Elektrolyse. Mit ihnen lassen sich gasförmige Brennstoffe (Erdgas, Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Alkohole) umweltschonender und wesentlich rationeller als in herkömmlichen Wärmekraftwerken in elektrische Energie umwandeln. Die Wirkungsgrade erreichen 60-70%, was sich aus der Direktumwandlung chemischer in elektrische Energie (unter Umgehung der traditionellen Energiekette chemische - thermische - mechanische - elektrische Energie) erklärt. Die Brennstoffzellen befinden sich allerdings noch im Entwicklungsstadium. Konkret haben sie Anwendung in der Raumfahrt und im militärischen Bereich gefunden. Gegenwärtig zeichnen sich aber auch Einsatzfelder im Verkehrswesen und in der Energietechnik ab. Die größten Fortschritte im Hinblick auf die Stromerzeugung konnten bisher bei den phosphorsauren Zellen erreicht werden, von denen 50 kW bzw. 200 kW-Anlagen in Betrieb sind. 1995 wurde in Japan ein neuartiger 5000 kW-Zellentyp in Betrieb genommen. Der Preis für die erzeugte Kilowattstunde liegt derzeit bei 30 bis 50 Pfennig. Wegen ihrer hohen Arbeitstemperatur sind Brennstoffzellen besonders für den Einsatz in der Kraft-Wärme-Kopplung geeignet.

Brennstoffzellen haben keine bewegten Teile, sie sind deshalb wenig störanfällig und arbeiten völlig geräuschlos. Bei ihrem Betrieb entstehen keine umweltbelastenden Abprodukte. Sie sind weitgehend wartungsfrei und unempfindlich gegen Überlastungen. Interessant ist weiterhin, dass der Wirkungsgrad der Brennstoffzellen unabhängig von ihrer Baugröße ist.

Das Wirkprinzip beruht auf der „kalten Verbrennung“. Dabei werden ein gasförmiger Brennstoff (z.B. Wasserstoff) und ein Oxidant (Sauerstoff, Luft) getrennt voneinander in eine Brennstoffzelle geführt. Das Brenngas gibt beim Eintritt in die Anode Elektronen ab und geht in den Ionenzustand über. Die Elektronen fließen über eine Elektrode als nutzbarer Strom ab. Über den äußeren Stromkreis gelangen sie zur Kathode und ionisieren dort den Sauerstoff. Die Sauerstoffionen wandern durch den Elektrolyten zur Anode und reagieren mit Wasserstoffionen zu Wasser, das aus der Zelle austritt (Abb.28.11.).

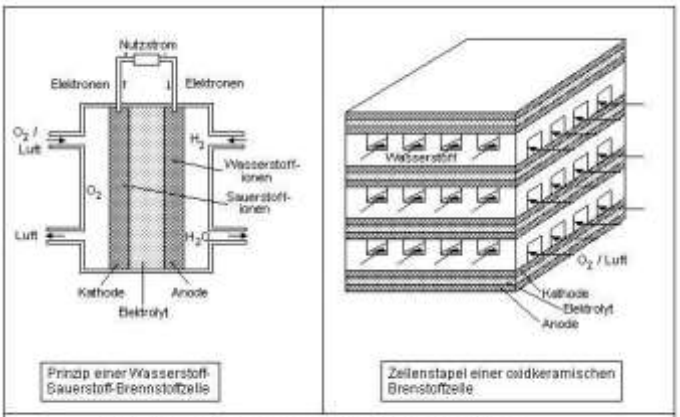


Abb. 28.11. Aufbau und Funktion von Brennstoffzellen

Die technisch-konstruktive Realisierung der Brennstoffzellen erfolgt in Form von Zellenstapeln, bei denen eine Vielzahl von Elektrodeneinheiten in oxidkeramischen bzw. schmelzkarbonatischen Matrizen übereinander angeordnet ist. Durch Kanalsysteme werden Brenngase und Sauerstoff an die Elektroden herangeführt und die entstehenden Reaktionsprodukte (Wasser, Kohlendioxid) abgeführt (Abb.28.11.). In der gegenwärtigen Entwicklungsphase werden zahlreiche unterschiedliche Zellentypen erprobt. Die einzelnen Brennstoffzellentypen unterscheiden sich vor allem durch die Zusammensetzung des Elektrolyten und die Betriebstemperatur (Tabelle 28.7.).

Name	Elektrolyt	Brennstoff	Oxidant	Betriebs-temperatur (°C)	Einsatzgebiet
Alkalische Brennstoffzelle	KOH	Wasserstoff	Sauerstoff	80	Verkehr
Polymer-Elektrolyt-Membran-Bz.	Festpolymer	Wasserstoff / Methanol	Sauerstoff / Luft	80	Verkehr
Phosphorsaure Brennstoffzelle	H_3PO_4	Erdgas	Luft	200	Heizkraftwerke
Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle	$LiCO_3$ / KCO_3	Erdgas / Stadtgas	Luft	650	Kraftwerke / Heizkraftwerke
Oxidkeramische Brennstoffzelle	Zirkonoxid	Erdgas / Stadtgas	Luft	1 000	Kraftwerke / Heizkraftwerke

Tabelle 28.7. Übersicht über Brennstoffzellentypen

28.4.3 Thermo-energetische Wandler

Von den 5 möglichen Klassen thermo-energetischer Wandler hat nur die Klasse der thermo-mechanischen Wandlungssysteme energiewirtschaftliche Bedeutung, bei ihnen wiederum die *Dampferzeuger* als wesentliches Aggregat in der Wandlungskette von der Primärenergie (Kohle, Erdöl, Erdgas) zur Elektroenergie in Kraftwerken. In ihnen erfolgt im Prinzip die Umwandlung chemischer Energie in die mechanische Druckenergie des gespannten Dampfes. Dieser Prozess verläuft in zwei miteinander eng verbundenen Schritten. Zunächst wird die chemische Energie der Brennstoffe durch Verbrennungsvorgänge als Wärmeenergie freigesetzt. Danach erfolgt die Übertragung der Wärmeenergie auf Wasser und damit die Umwandlung in die mechanische Energie des Dampfes. Dampferzeuger bestehen deshalb aus den integrierten Teilsystemen Feuerungsanlage (s. Kap. 28.4.2. und Abb. 28.9.) und Wasserrohrkessel (s. Kap. 28.3.2.). Die Organstruktur von Dampferzeugern wird in Kap. 28.6.1. dargestellt.

Von technischen Interesse sind in dieser Klasse weiterhin die thermo-elektrischen Wandler: *Thermoelemente* wandeln auf der Basis des thermoelektrischen Effekts Wärmeenergie in elektrische Energie um. Sie bestehen aus zwei verschiedenen miteinander verlöteten Metallen. Bei Erwärmung einer Lötstelle, während die andere kalt gehalten wird, fließt ein Strom. Die Spannung ist allerdings sehr gering (bei Kupfer / Konstantan liegt sie bei einer Temperaturdifferenz von 500 K bei 0,026 V). Deshalb fanden Thermoelemente nur in der Messtechnik Anwendung. Mit der Entwicklung von Halbleiter-Thermoelementen, die eine 100mal größere Spannung abgeben, wurden sie auch energiewirtschaftlich interessant. Sie bestehen aus Systemen mit jeweils einem p-leitenden und einem n-leitenden Schenkel, die durch Metallbrücken miteinander verbunden sind. Bei Erwärmung einer Kontaktstelle entsteht eine Thermospannung. Sie liegt bei 1 V. Praktische Bedeutung haben solche Halbleiter-Thermoelemente im Zusammenhang mit Kernenergiequellen gewonnen. In Radionuklidbatterien wird die beim radioaktiven Zerfall frei werdende Wärme durch die Thermoelemente direkt in Elektroenergie umgewandelt.

28.4.4. Elektro-energetische Wandler

Die elektro-energetischen Wandler umfassen fünf Klassen: elektro-mechanische, elektro-chemische, elektro-thermische, Elektrostrahlungs- und elektro-kernenergetische Systeme. Bis auf die letzte Klasse haben alle großtechnische Bedeutung. Die elektro-chemischen Wandler (Elektrolysezellen) werden hier nicht erörtert. Sie haben ihren Platz bei den Stoffwandlungssystemen (Kapitel 24.4.), weil es bei ihnen nicht um die Energiewandlung geht, sondern die Erzeugung chemischer Stoffe mit Hilfe des elektrischen Stromes.

Elektro-mechanische Wandler sind die in allen Bereichen gesellschaftlichen Lebens zu findenden. Es sind die Elektromotoren. Sie sind die Hauptlieferanten mechanischer Antriebsenergie.

Elektromotoren besitzen im Prinzip die gleiche Grundstruktur wie die Generatoren. In ihnen wird das elektrodynamische Wirkprinzip umgekehrt, indem durch eine elektrische Spannung in den Erregerwicklungen ein magnetisches Feld erzeugt und dadurch die Rotationsbewegung des Läufers hervorgerufen wird.

Gleichstrommotoren sind völlig gleichartig wie Gleichstromgeneratoren aufgebaut. Sie sind Außenpolmaschinen. Der Stator trägt die Pole und die Erregerwicklungen. In den Nuten des Rotors sind die Ankerwicklungen untergebracht. Die Stromzuführung erfolgt über Bürsten und den Kommutator auf die Ankerwicklungen. Der Kommutator hat die Funktion, den Strom in der sich drehenden Läuferwicklung immer in der gleichen Richtung fließen zu lassen. Um die bei der Inbetriebnahme auftretenden hohen Anlaufstromstöße zu begrenzen, müssen Gleichstrommotoren mit Anlasswiderständen ausgerüstet sein. Durch geeignete Schaltungen von Rotor- und Statorwicklung kann erreicht werden, dass die Motordrehzahl bei Belastung abnimmt (Reihenschlussmotor) oder weitgehend konstant bleibt und dann durch einen Drehzahlregler eingestellt werden kann (Nebenschlussmotor). Gleichstrommotoren lassen sich stufenlos in der Drehzahl steuern und besitzen ein hohes Anzugsmoment.

Die verschiedenen Bauformen der Gleichstrommotoren unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Schaltung der Erregerwicklung zum Anker:

I. Nebenschlussmotoren (die Erregerwicklung liegt parallel zum Anker, die Drehzahl ändert sich bei Belastung nur unwesentlich, über einen Wendeschalter ist die Drehrichtungsumkehr möglich, Haupteinsatzgebiete sind Werkzeugmaschinen, Aufzüge)

II. Reihenschlußmotoren (die Erregerwicklung ist in Reihe zum Anker geschaltet, sie haben das höchste Anzugsmoment von allen Motoren, ihre Drehzahl ist allerdings sehr lastabhängig. Haupteinsatzgebiete sind Elektrofahrzeuge und Hebezeuge)

III. Universalmotoren (kleine Reihenschlussmotoren, die sowohl mit Gleichstrom als auch einphasigem Wechselstrom betrieben werden können; Anwendung in Haushaltsmaschinen, Handbohrmaschinen)

IV. Scheibenläufermotoren sind Gleichstrommotoren, deren Läufer keinen Eisenkern haben. Sie zeichnen sich durch ein geringes Trägheitsmoment aus und können daher schnell anlaufen und abstoppen. Der Läufer besteht aus einer Plastscheibe, auf die die Ankerwicklung aufgebracht ist. Der Strom wird über Kohlebürsten direkt auf die Leiterbahnen zugeführt. Im Motorgehäuse (Stator) sind auf Jochringen aus Weicheisen Dauermagnete angeordnet. Das Haupteinsatzgebiet der Scheibenläufermotoren ist die Verwendung als Servomotor (Hilfsmotoren bei Steuerungsvorgängen).

Wechselstrommotoren weisen ebenfalls weitgehende konstruktive Gemeinsamkeiten mit Wechselstromgeneratoren auf. Einphasenwechselstrommotoren sind Reihenschlussmotoren, die - ähnlich wie die Gleichstrommotoren - als Außenpolmaschine aufgebaut sind. Dem Läufer wird die elektrische Energie über Schleifringe zugeführt. Sie werden im Allgemeinen nur für kleine Leistungen ausgelegt.

Die vorherrschenden Motoren in der Industrie und in der Landwirtschaft sind *Drehstrommotoren*. Im Stator des Drehstrommotors sind wie beim Drehstromgenerator drei um 120° gegeneinander versetzte Erregerwicklungen angeordnet. Das sich bei Stromfluss ausbildende magnetische Drehfeld bewirkt die Bewegung des Läufers. Der Läufer einfacher Drehstrommotoren besteht aus einem kurzgeschlossenen zylinderförmigen Käfig (Kurzschlussläufer).

Linearmotoren sind eine neues, im Zusammenhang mit der zunehmenden Automatisierung an Bedeutung gewinnendes Antriebssystem. Sie sind nach dem Prinzip des Asynchronmotors aufgebaut. Das Arbeitsorgan wird von dem Paar Stator / Reaktionsschiene gebildet.

Bauformen von Wechselstrommotoren sind:

I. Asynchronmotoren (Schleifringläufer, Kurzschlussläufer, Linearmotoren)

II. Synchronmotoren (Außenpolmotoren, Innenpolmotoren, Schrittmotoren)

(Abb.28.12.).

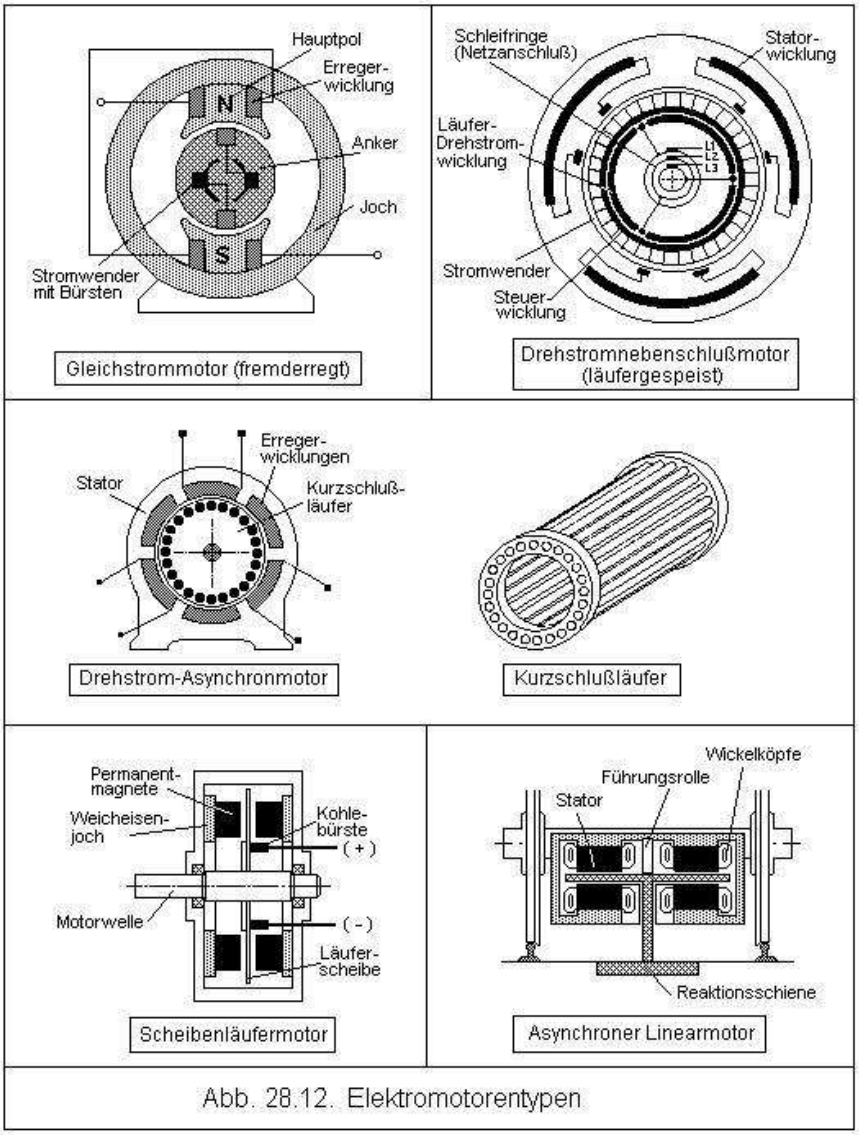


Abb. 28.12. Elektromotorentypen

Elektro-thermische Wandler. Die Wärmeerzeugung aus elektrischer Energie basiert auf drei Wirkprinzipien: auf der Widerstandserwärmung, der Lichtbogenerwärmung und der Induktionserwärmung.

Die großtechnische Erzeugung von Elektrowärme erfolgt in *Elektroöfen*. Sie werden insbesondere zum Schmelzen von Metallen, zur Durchführung stark endothermer chemischer Prozesse (z.B. Karbid) genutzt. Die dabei eingesetzten Lichtbogenöfen und Induktionsöfen wurden im Zusammenhang mit Schmelz- und Gießapparaturen vorgestellt (s. Kapitel 26.2.1. und Abb. 26.1.). Widerstandsheizungen sind in großem Umfang in der Haushaltstechnik in Elektroherden, in Elektrothermen zur Warmwasserbereitung und als Heizgeräte eingesetzt.

Elektrostrahlungswandler werden durch die verschiedenen Lampentypen repräsentiert. Nach den zugrunde liegenden Wirkprinzipien werden drei Arten der Lampen unterschieden: Glühlampen, Gasentladungslampen und Leuchtstofflampen (Abb. 28.13.).

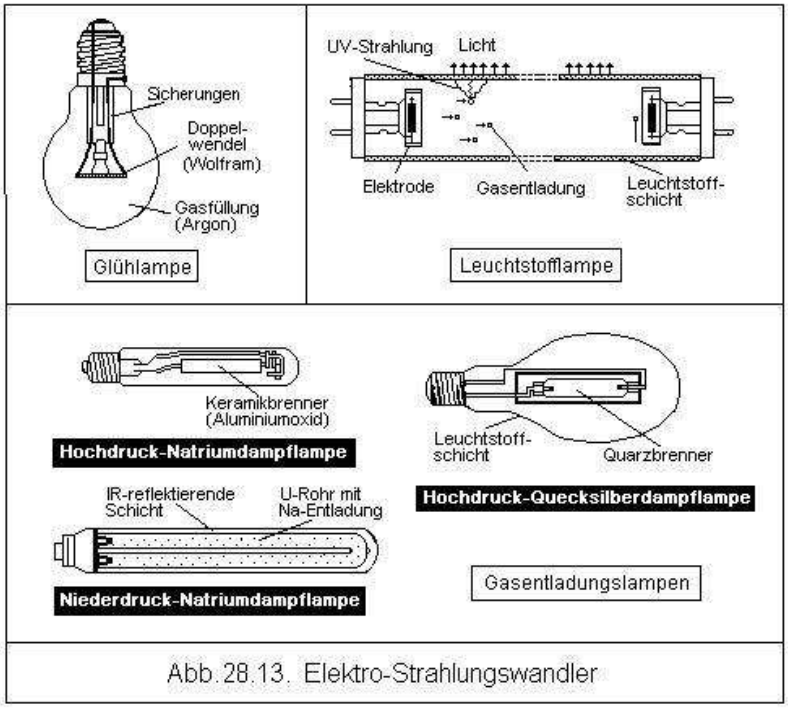


Abb. 28.13. Elektro-Strahlungswandler

Glühlampen nutzen die Temperaturstrahlung eines durch direkte elektrische Widerstandserwärmung hocherhitzten Wolframdrahtes (Glühfaden). Zur Erhöhung der Lichtausbeute und der Lebensdauer der Lampen wird der Glühdraht gewendelt und in den Kolbenraum werden Schutzgas (Argon) von etwa 100 kPa und z. T. Halogenverbindungen (Halogenlampen) hineingegeben.

Gasentladungslampen haben eine vielfach höhere Lichtausbeute als Glühlampen. Im Lampenkolben befindet sich ein Gas, dessen Druck gegenüber dem Normaldruck stark verringert ist. Zwischen den Elektroden bildet sich nach Anlegen der Spannung ein elektrisches Feld aus, in dem durch Stoßionisation Ionen und Elektronen freigesetzt werden und zu einer Gasentladung führen. Zur Gewährleistung eines stationären Stromflusses werden Gasentladungslampen mit einem Vorwiderstand gekoppelt. Die Farbe des ausgesandten Lichts ist vom Füllgas abhängig.

Für die unterschiedlichen Einsatzanforderungen gibt es verschiedene Typen der Entladungslampen. Quecksilber- und Natriumdampf-Hochdrucklampen sind besonders für die Beleuchtung von Straßen, Werkhallen, Sportplätzen und Bahnhöfen geeignet. Sie werden in Leistungsstufen bis zu 2 kW hergestellt. Die Wandlung der elektrischen Energie in Strahlungsenergie findet in einem Brenner aus Quarzglas statt. In ihm brennt eine Quecksilberbogenentladung. Der Brenner ist in einem Glaskolben mit Argon-Stickstoff-Gemisch angeordnet. Eine Leuchtstoffschicht an der Kolbeninnenseite formt die UV-Strahlung in Lichtstrahlung um. Niederdruck-Natriumdampflampen besitzen die höchste Lichtausbeute aller Lampentypen (Leistungsstufen von 18 bis 180 W). Sie bestehen aus einem U-förmigen Brenner, der in einem mit einer Infrarot (IR)-reflektierenden Schicht versehenen Kolben untergebracht ist.

Leuchtstofflampen sind Gasentladungslampen. Sie bestehen aus einem bis zu 1,5 m langem Glasrohr, das mit Argon und einem geringen Zusatz von Quecksilberdampf sehr geringen Druckes (100 bis 300 Pa) gefüllt ist. An beiden Enden der Lampe befinden sich Elektroden aus Wolframdraht. Sie sind mit einem Emitter überzogen, um den Austritt von Elektronen zu erleichtern. Bei der Kollision mit den Quecksilberatomen entsteht UV-Strahlung. Sie wird durch eine auf der Innenseite des Lampenkolbens aufgetragene Leuchtstoffschicht in sichtbares Licht transformiert. Je nach der Art des Leuchtstoffs lassen sich unterschiedliche Lichtfarben erzeugen. Um die für den Startvorgang nötige Zündspannung zu erreichen (400 - 1000 V), ist die Lampe mit einer speziellen Starteinrichtung versehen. Zur Strombegrenzung wird ein Vorschaltwiderstand benötigt.

28.4.5. Strahlungs-energetische Wandler

In diesem Bereich haben 2 Klassen technische Bedeutung erlangt: strahlungs-thermische und strahlungs-elektrische Systeme.

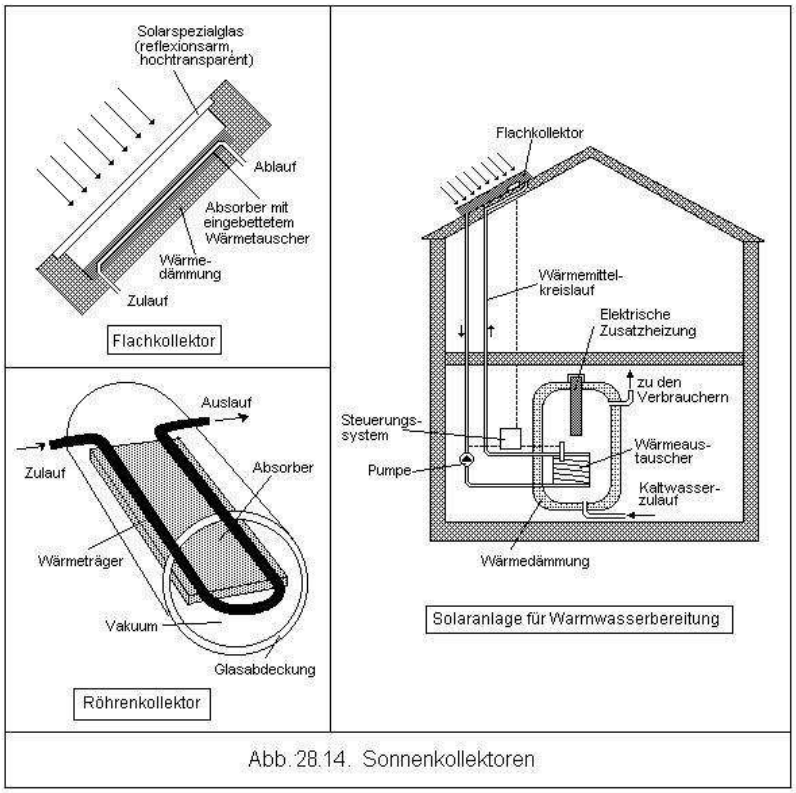


Abb. 28.14. Sonnenkollektoren

Bei den **strahlungs-thermischen Systemen** werden die *Solarthermischen Anlagen* (Abb.28.14.) in steigendem Umfang für die Warmwasserbereitung, die Raumheizung und die Schwimmbadheizung eingesetzt. Sie wandeln die Sonnenstrahlung in technisch nutzbare Wärme. Solarthermische Anlagen bestehen aus dem Sonnenkollektor, dem Wärmespeicher und Zusatzeinrichtungen (Rohrleitungen, Pumpen, Steuerungs- und Regelungssysteme). Der Sonnenkollektor kann als *Flachkollektor* oder als *Röhrenkollektor* ausgeführt sein. Das eigentliche Arbeitsorgan des Flachkollektors ist der schwarz gefärbte Absorber, der die Strahlung aufnimmt und in Wärme umsetzt. Er ist in einen flachen Kasten eingebettet, der von einem reflexionsarmen, hochstrahlungsdurchlässigen Spezialglas abgedeckt ist. An der Unterseite vermindert eine Wärmedämmschicht Energieverluste. Die Absorber werden in unterschiedlichen Formen ausgeführt und können aus Metall oder Plasten bestehen. Die vom Absorber aufgenommene Energie wird an ein Rohrsystem abgegeben, durch das ein Wärmeträger strömt (Wasser oder Luft). *Vakuum-Röhrenkollektoren* weisen höhere Wirkungsgrade auf, weil ein zwischen Glasabdeckung und Absorber bestehendes Vakuum die Wärmeverluste sehr niedrig hält. Unter mitteleuropäischen Bedingungen liegt die durchschnittlich nutzbare Leistung von 1 m^2 Flachkollektor zwischen 280 bis 530 kWh / Jahr, für Vakuum-Röhrenkollektoren liegt der Wert bei 460 kWh / Jahr. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass in Deutschland etwa 1 000 kWh Sonnenenergie auf 1 m^2 auftreffen, entspricht das einem Wirkungsgrad von 20 bis 45 %. Anwendungsgebiete für den Einsatz von Sonnenkollektoren sind die Raumheizung, Brauchwasserbereitung, Schwimmbadheizung und die Trocknung von Agrarprodukten.

In die Klasse der **strahlungs-elektrischen Wandler** gehören *Fotovoltaikanlagen*. Sie wandeln Sonnenstrahlung direkt in elektrischen Strom um. Solarzellen haben inzwischen eine weite Verbreitung gefunden. Sie speisen Armbanduhren, Taschenrechner und Rundfunkgeräte. Größere Anlagen sind zweckmäßig einsetzbar für Anwendungsbereiche, wo die öffentliche Stromversorgung fehlt: in Bewässerungsanlagen, Trinkwasserpumpsysteme, Ampelanlagen, Parkuhren, Campingeinrichtungen, Wohnbooten, Wochenendhäusern, auf kleineren Inseln und in abgelegenen Gebieten der Dritten Welt. Im Versuchsstadium sind Antriebssysteme für Fahrzeuge.

Je nach eingesetztem Halbleitermaterial für die photoaktive Schicht und der verwendeten Technologie erreicht der Wirkungsgrad (theoretisch) bis zu 30 %, in der Praxis werden gegenwärtig zwischen 5 und 17 % erzielt. Das Arbeitsorgan von Fotovoltaik-Anlagen besteht aus einer Vielzahl parallel und in Serie geschalteter Fotozellen. Sie sind über eine Schutzdiode (zur Verhinderung der Entladung der Batterie über den Solargenerator) und einen Laderegler (zur Vermeidung einer Überladung der Batterie) mit einem Akkumulator verbunden, der die erzeugte Elektroenergie speichert (Abb.28.15.).

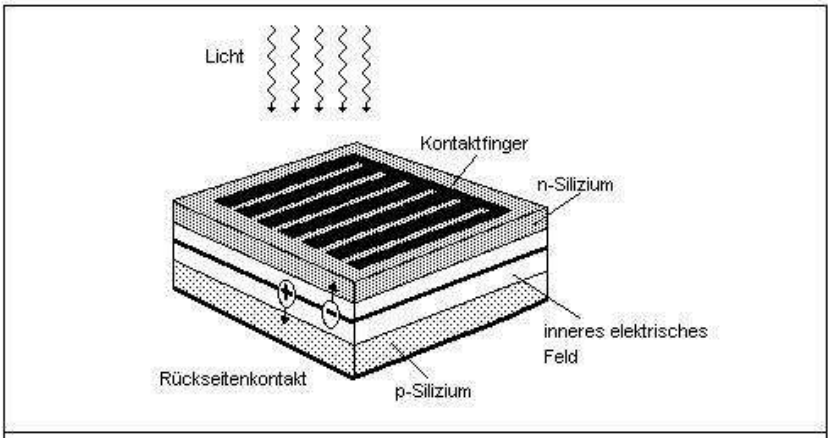


Abb. 28.15. Funktionsprinzip einer Solarzelle

28.4.6. Kern-energetische Wandler

Die Umwandlung von Kernenergie in anderen Energiearten erfolgt in **Kernreaktoren**. Es gibt eine Reihe verschiedener Typen. Sie unterscheiden sich in der Zusammensetzung der Brennstäbe, in den eingesetzten Kühlmitteln, den Betriebstemperaturen und Betriebsdrucken sowie in der Gestaltung der Kühlkreisläufe. Gemeinsam sind ihnen der nach außen strahlungsisolierte Reaktorraum, in dem die Brennelemente angeordnet sind, sowie ein Steuerungssystem zur Beherrschung des Spaltprozesses.

Der *Siedewasserreaktor* besteht aus dem Reaktorraum (AbO) mit den stabförmigen Brennelementen. Er wird von Kühlwasser durchströmt, das die bei der Kernspaltung freigesetzte Energie abtransportiert. Die Betriebstemperatur liegt bei 290°C bei einem Druck von 70 bar. Der entstehende Dampf wird direkt in eine Turbine geleitet. In einem Kondensator wird der Dampf wieder verflüssigt und in den Kreislauf zurückgeführt.

In *Druckwasserreaktoren, dem gegenwärtig verbreitetsten Typ,* wird der Reaktorraum (AbO) von einem Druckbehälter umschlossen, in dem zahlreiche Brennstäbe (Reaktorkern) angeordnet sind. Sie bestehen aus dünnen, mit Uran gefüllten Metallstäben. Die Brennstäbe werden von Wasser umspült, das sowohl als Kühlmittel wie auch als Moderator für die bei der Kernspaltung freigesetzten Neutronen fungiert. Der Betriebsdruck im Reaktorbehälter beträgt 150 bar, wodurch das Wasser bis auf 300°C erhitzt werden kann. Die Energie des hocherhitzten Wassers wird über einen Wärmeaustauscher an einen sekundären Wasserkreislauf übertragen. Zur Steuerung der Kettenreaktion ragen in den Reaktorraum Steuerstäbe aus Kadmium hinein, die durch einen Steuerantrieb zwischen die Brennstäbe gesenkt werden können. Zum Schutz nach außen wird der gesamte Reaktor von einer Betonabschirmung umgeben.

Ein dritter Reaktortyp sind die *Hochtemperaturreaktoren*. In ihnen können Dampftemperaturen bis annähernd 1000°C erreicht werden. Gegenüber den herkömmlichen Leichtwasserreaktoren bestehen die Brennelemente aus tennisballgroßen Kugeln aus einer Graphitmasse, in die Brennstoffpartikel aus Uran und Thorium eingebettet sind. Als Kühlmittel durchströmt Heliumgas durch den Kugelhaufen. Es nimmt die entstehende Wärmeenergie auf und gibt sie an Dampferzeuger ab.

Schnelle Brutreaktoren sind ein Reaktortyp, in dem die Kernspaltung durch schnelle (nicht abgebremste) Neutronen bewirkt wird. Sie erzeugen mehr spaltbares Material als sie verbrauchen. Die Brennelemente bestehen aus dem nichtspaltbaren Uran 238, dem bis zu 20% Plutoniumdioxid als eigentlicher Brennstoff beigemischt ist. Er wird durch die Kernumwandlung des Uran 238 durch schnelle Neutronen „erbrütet“. Als Kühlmittel dient Natrium bei Betriebstemperaturen zwischen 400 und 600°C. Es überträgt seine Energie auf einen Sekundärkreislauf mit ebenfalls Natrium als Energieträger, und erst von diesem wird die Energie an einen Dampferzeuger abgegeben (Abb. 28.16.).

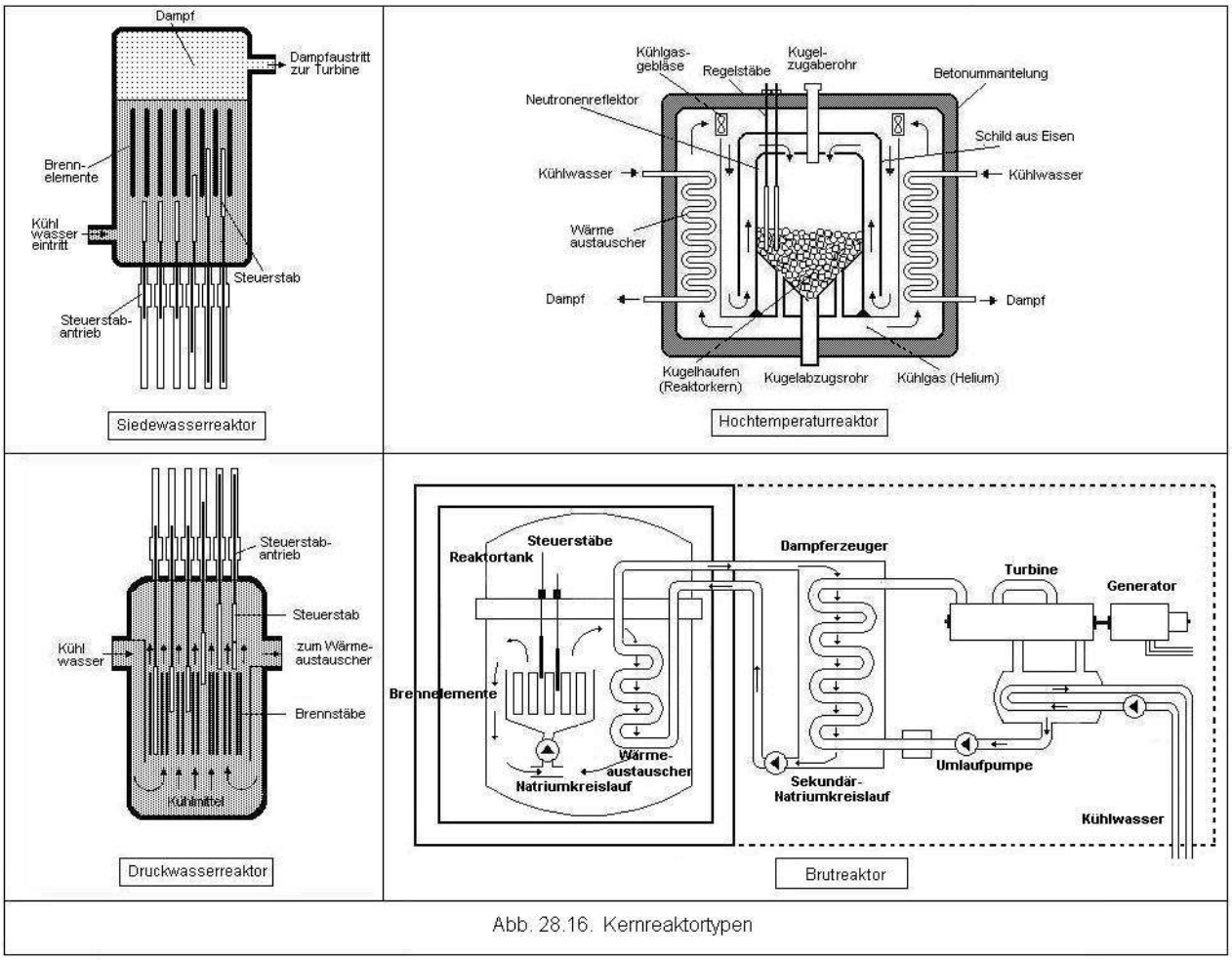


Abb. 28.16. Kernreaktortypen

28.5. Organstruktur

28.5.1. Prinzipieller Aufbau von Energieumformern und Energiewandlern

Auch auf Energieumformer und Energiewandler lässt sich das Organstrukturmodell anwenden. Allerdings gibt es hierbei eine Besonderheit. Wie wir bereits festgestellt haben, lässt der jeweils zu verändernde Energiefluss das verändernde technische System selbst arbeiten. Der energetische Aufwand entspricht den Verlusten. Da dem Gerät, der Maschine oder der Anlage keine gesonderte Operationsenergie zum Antrieb zugeführt wird, existiert in solchen Systemen auch kein Energieteil und damit kein Antriebs- und Übertragungsorgan.

Energieumformer und Energiewandler haben keine Antriebs- und Übertragungsorgane. Das vereinfacht das Organstrukturmodell erheblich.

28.5.2. Arbeitsorgane

Durch die Arbeitsorgane erfolgt die Änderung der Energieart bzw. deren Parameter werden in ihrer Größe oder zeitlich verändert. Das geschieht in jedem Fall in Form der Erzeugung einer neuen Antriebsgröße aus einer Strömungsgröße, die in das System hineinströmt. Diese neue Antriebsgröße verursacht ihrerseits eine gewünschte Strömungsgröße, die nun das System verlässt. Am Beispiel eines Riemengetriebes haben wir diesen Mechanismus bereits erklärt. Das folgende Schema zeigt in verallgemeinerter Form nochmals diesen Vorgang, der auch im mehreren Stufen erfolgen kann (Abb.28.17.).

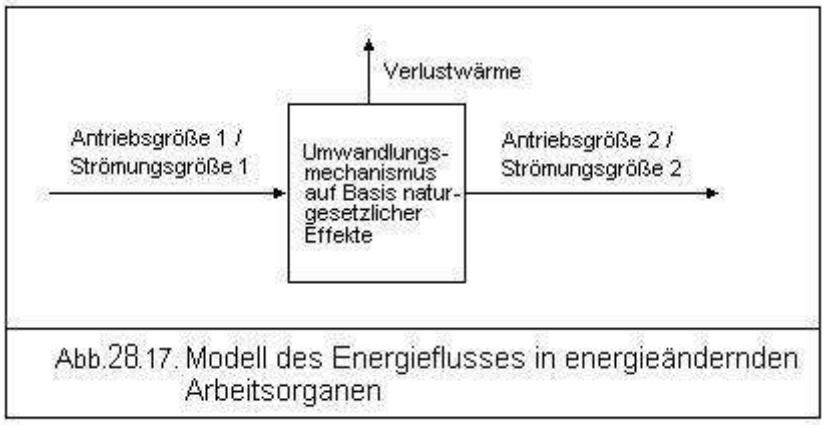


Abb.28.17. Modell des Energieflusses in energieändernden Arbeitsorganen

Da in der vorangegangenen Tabelle Arbeitsorgane wesentlicher Umformer und Wandler aufgezählt wurden und andererseits deren Grundwirkformen in den Abbildungen 24.2. und 24.3 bereits dargestellt sind, soll nun auf die Führungs- und Positionierungsorgane eingegangen werden.

28.5.3. Führungs- und Positionierungsorgane

Laut Definition (siehe 24.2.) ist die Wirkung der *Positionierungsorgane* auf den Arbeitsgegenstand, im augenblicklich betrachteten Bereich also auf den Energiefluss, gerichtet. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um die Zwangsführung des Energieflusses nicht nur im Inneren des Systems, sondern auch beim Ein- und Austritt. Durch die Positionierungsorgane werden die Strömungsgrößen zum Arbeitsorgan geleitet, bzw. nach der Umformung oder Wandlung vom ihm abgeleitet. Allerdings müssen Energiewandler oder -umformer nicht in jedem Fall über solche Organe verfügen. In solchen Fällen übernehmen die Arbeitsorgane auch die Positionierungsfunktion.

Bestimmte Energiearten des In- und Outputs der Energiesysteme erfordern bestimmte Positionierungsorgane. Dazu einige Beispiele:

Inputs und Outputs

I. Rotationsenergie: Wellen

II. Strömungsenergie: Düsen, Leiträder, Ventile

III. Strahlungsenergie: Spiegel, Linsen, Reflektoren, Antennen

IV. Wärmeenergie: Rohrleitungssysteme, Verdampfer, Kondensatoren

V. Elektroenergie: Eisenkerne, Kollektoren, Thyristoren, Siebglieder

Führungsorgane dagegen sichern laut Definition die Zwangsführung des Arbeitsorgans. Auch diese Funktionsorgane sind nicht in jedem Energiewandler vorhanden, weil ihre Aufgabe z.B. oft von Stützorganen übernommen wird. Typische Führungsorgane sind z.B. die Lager umlaufender Wellen in Getrieben, Motoren, Pumpen und Turbinen.

28.5.4. Steuerungs- und Optimierungsorgane

Steuerungs- und Optimierungsorgane sind bei vielen Energiewandlern und -umformern als technische Gebilde, z. B. bei ruhenden oder rotierenden elektrischen Maschinen, gar nicht vorhanden. Dagegen sind moderne Verbrennungsmotoren durchaus mit einem Optimierungsorgan ausgerüstet. Dazu zwei Beispiele:

Die Energieaufnahme eines Elektromotors oder eines Transformators regelt sich von selbst in Abhängigkeit von der Belastung. Mit anderen Worten ausgedrückt, steigt die Stromaufnahme von selbst, wenn dem System eine größere Last abgeben muss. Wie es dazu kommt, ist mit der Wechselwirkung der magnetischen Größen im Inneren der Maschine zu erklären. Obwohl hier perfekt ablaufende Steuermechanismen wirksam sind, ist kein Bauteil eines Elektromotors oder eines Transformators als Steuerelement ausgebildet.

Bei Verbrennungsmotoren liegen die Sachverhalte dagegen ganz anders. Die ökologische Situation und die Ressourcen an Erdöl haben eine Minimierung des Kraftstoffverbrauchs und Schadstoffausstoßes unumgänglich gemacht. Das hat dazu geführt, dass die Steuereinrichtungen solcher Wandler inzwischen einen erheblichen Entwicklungsstand erreicht haben. Jeder moderne Verbrennungsmotor wird von einem Mikrocomputer gesteuert. Dieser erfasst die von den Sensoren gewonnenen Daten wie Motortemperatur, Lufttemperatur,

aktuelle Belastung, Drehzahl und Sauerstoffkonzentration des Abgases und verarbeitet sie. Das Ergebnis der Datenverarbeitung ist die Steuerung der Aktoren zur Bestimmung der Einspritzmenge des Kraftstoffs und des Zündzeitpunktes. Auf diese Weise wird der Motor hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs und Schadstoffaustausches in einem optimalen Bereich betrieben. Hier existiert neben vielen Elementen des Steuerorgans, wie sie in Abb. 6.4. zu finden sind ein Optimierungsorgan, der Mikrocomputer.

Bei einem Elektromotor finden sich also keine Steuerorgane. Wird dagegen eine gesamte Kraftwerksanlage als Systeme betrachtet, so ist mit der Prozessleittechnik ein komplexer Informationsteil mit zahlreichen Optimierungs- und Steuerorganen zu finden.

28.5.5. Stützorgane

Die Stützorgane von Energiewandlern und -umformern sind sehr vielgestaltig. Bei elektrischen oder thermodynamischen Maschinen sind sie als Maschinenkörper, Gestelle, Chassis, Träger, Fundamente usw. ausgebildet. Aber auch Behältersysteme, Reaktormäntel oder gar Leiterplatten sind zu ihnen hinzuzurechnen.

28.6. Beispiele für die Anwendung des Organstrukturmodells

Was liegt bei der allgemeintechnischen Betrachtung von Systemen der Energieänderung näher als die Analyse eines Kraftwerks? Kraftwerke liefern die Antriebsleistung für einen großen Teil des uns umgebenden technischen Geschehens. Etwa in der gleichen energetischen Größenordnung sorgen allerdings auch die Treibstoffhersteller für Bewegung in unserem Land. Wir hatten uns eingangs dieser Kapitel aber bereits darauf verständigt, dass die Herstellung von Treibstoffen vorwiegend eine Aufgabe der Stoffwandlung ist.

Natürlich gibt es auch im „Kleinen“ sehr viele Energieumformer und -wandler, wie etwa Solarzellen, Windkonverter, Gleichrichter oder Messwandler. In großen technischen Dimensionen spielt sich energetisches Geschehen jedoch in den Kraftwerken ab. Wir wählen die Beispiele für die Strukturanalyse energetischer Systeme deshalb aus diesem Bereich.

Für ein Wärmekraftwerk ergibt sich zunächst und etwas vereinfacht folgendes schematische Bild (Abb. 28.18.):

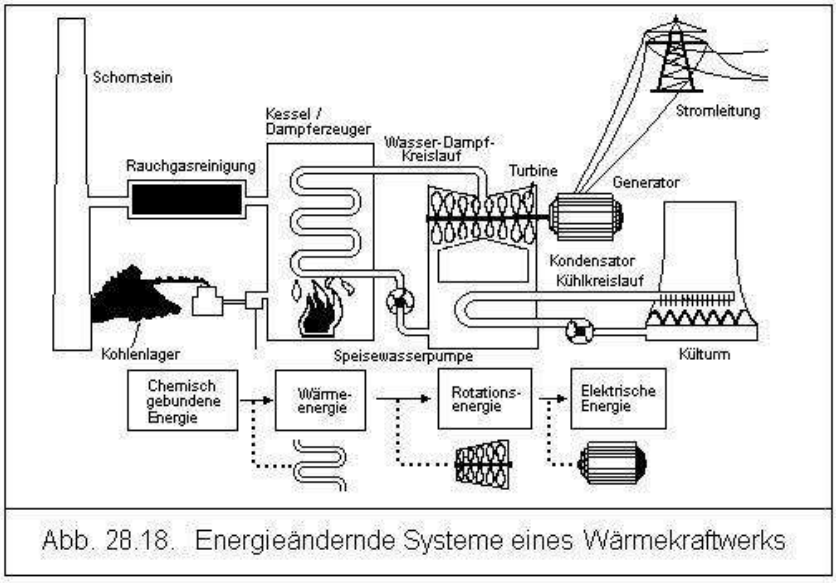


Abb. 28.18. Energieändernde Systeme eines Wärmekraftwerks

In der unteren Reihe sind die drei wesentlichen ein Kraftwerk charakterisierenden energieändernden Systeme symbolisiert. Das darüber liegende Bild lässt die komplexe Vernetzung der Stoff-, Energie- und Datenflüsse erahnen. Im Folgenden sollen der Dampferzeuger, die Dampfturbine und der Generator auf ihre Organstruktur untersucht und dargestellt werden. Dazu werden die Systeme aus ihrem Gesamtzusammenhang herausgelöst. Entscheidend sind danach nur noch die Inputs und Outputs des jeweiligen betrachteten Systems, weil sie dadurch mit ihrer Umgebung in Verbindung stehen.

28.6.1. Organstruktur eines Dampferzeugers

Dampferzeuger befinden sich im Kesselhaus eines Kraftwerks. In der Regel sind Dampferzeuger über 100 m hoch. Sie bestehen aus dem Verbrennungsraum und dem Wärmetauscher. Der Wärmetauscher kann aus Rohrleitungen mit 1000 m Gesamtlänge und mehr aufgebaut sein.

Ein Dampferzeuger ist im Energiefluss eines Kraftwerks das erste System, das die Parameter des Energieflusses wesentlich verändert. Im ihm laufen zwei Vorgänge nacheinander ab:

- die Verbrennung von fossilen Brennstoffen, also die Umwandlung von chemischer Energie in Wärmeenergie
- die Übertragung der Wärme auf Wasser und dessen gleichzeitige Umwandlung in Wasserdampf.

Bei der Verdampfung von Wasser entsteht aus der zugeführten Wärme mechanische Energie in Form hohen Drucks. Diese mechanische Energie ist mit der zugeführten Wärme verknüpft. Der zweite im Verdampfer ablaufende Vorgang ist also gleichzeitig Energieumformung und Energiewandlung. Mit einer Energieumformung haben wir es deshalb zu tun, weil die Wärme der Verbrennungsgase mit einer Temperatur von ca. 1000°C beim Übergang auf den Wasserdampf infolge der Zustandsänderung des Wassers zu Dampf „nur noch“ eine Temperatur von 535 °C hat. Eine Energiewandlung ist er deshalb, weil aus der auf den Dampf übertragenen Wärmeenergie ein außerordentlich hoher Druck (etwa 180 bar) entstanden ist. Dieser Druck setzt den Volumenstrom V_O des Dampfes zur Turbine in Gang.

Mit der Verknüpfung aus Wärme und mechanischer Energie - der erste Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt dieses physikalische Phänomen - wird die darauf folgende Turbine angetrieben.

Obwohl im Dampferzeuger zwei grundsätzlich verschiedene Vorgänge ablaufen, wird er aus konstruktiver Sicht als ein System angesehen. (Abb. 28.19.).

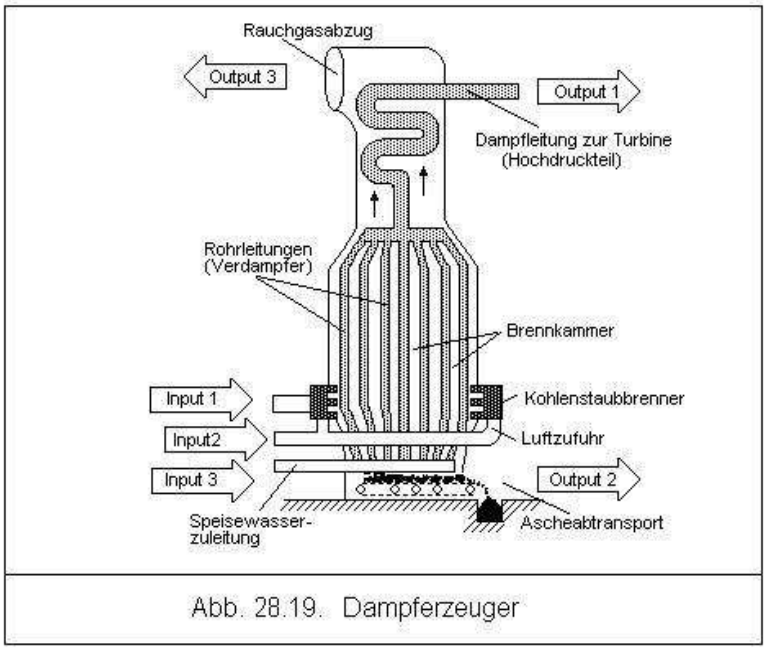


Abb. 28.19. Dampferzeuger

Ein Dampferzeuger hat drei Inputs:

- Brennstoff m_{I1} mit dem Heizwert H, im Beispiel soll es zu Staub gemahlene Braunkohle sein.
- Frischluft m_{I2} mit dem Sauerstoff O_2, die anderen Luftbestandteile sollen unberücksichtigt bleiben.
- Speisewasser m_{I3}.

Die drei Outputs des Verdampfers sind:

- Der Hochdruckdampf einmal als Massenstrom m_{O1}. mit der Strömungsgeschwindigkeit c und gleichzeitig aber auch als Volumenstrom V_{O1}, der vom dazugehörigen Druck p angetrieben wird und der begleitende Wärmestrom Q_{O1} mit der Temperatur T_{O1}.
- Asche, die den Dampferzeuger als Stofffluss m_{O2} verlässt. Die von der Asche aus dem System heraustransportierte Wärmemenge soll vernachlässigt werden.

- Rauchgase, die den Dampferzeuger als Stofffluss m_{O3} verlassen und dabei den Wärmefluss Q_{O2} mit der Temperatur T_{O2} verlassen. Dass diese Wärme zur Zwischenüberhitzung des Dampfes, zur Speisewasservorwärmung und zur Luftvorwärmung verwendet wird, ist für die folgenden Betrachtungen unerheblich.

Die relativ große Anzahl von In- und Outputs zeigt, dass ein Verdampfer ein relativ komplexes technisches System ist. Zum realen System gehört noch der eben erwähnte Speisewasservorwärmer, Zwischenüberhitzer und Luftvorwärmer. Auf diese drei Teilsysteme können wir bei unseren grundsätzlichen Betrachtungen im Folgenden verzichten. Sie dienen dazu, den Wirkungsgrad des Kraftwerkes zu verbessern.

Kohlenstaub und Frischluft als wesentliche Inputs für den ersten Vorgang werden im Verbrennungsraum verwirbelt und verbrennen bei einer Temperatur um 1000°C. Die bei dieser chemischen Reaktion freigesetzte Wärme wird durch den zweiten Vorgang auf einen Energieträger (Wasser, bzw. Wasserdampf) übertragen. Dieser Vorgang erfolgt im Rohrsystem des Verdampfers. Das Speisewasser als 3. Input ist als Nebenfluss zu verstehen.

Der wesentliche Output des Dampferzeugers ist der Hochdruckdampf. Er verlässt mit den bereits genannten Parametern das System, um beim Durchströmen der Turbine seinen Energiegehalt in Rotationsenergie umzuwandeln.

Betrachten wir zusammenfassend die Bilanzen des Systems (Abb. 28.20)

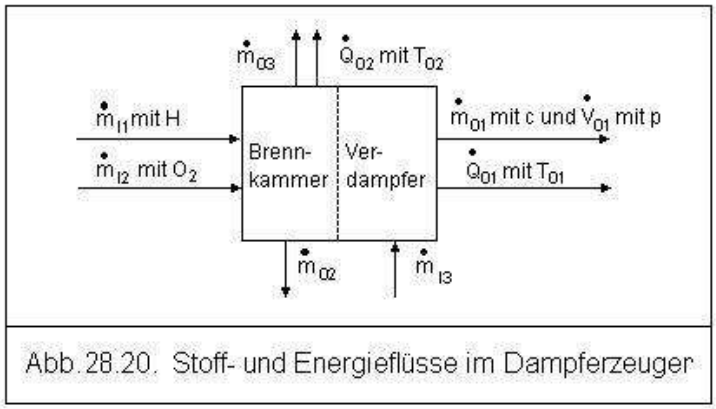


Abb. 28.20. Stoff- und Energieflüsse im Dampferzeuger

Zum Nachweis der *Organstruktur des Dampferzeugers* folgen wir dem Energiefluss. Der zu verbrennende Kohlenstaub wird in den Kohlenstaubbrenner transportiert und dort mit vorgeheizter Luft verwirbelt. Beide Stoffflüsse sind dadurch so aufbereitet, dass eine effektive Verbrennung erfolgen kann. Die Stoffe werden zum Freisetzen der Energie *positioniert*. In der Brennkammer selbst erfolgt dann der erste Vorgang, die Umwandlung von chemischer Energie in Wärme. Also erfüllt die Brennkammer die *erste Bearbeitungsfunktion.* Durch den intensiven Kontakt der Verbrennungsgase zum Rohrsystem des Verdampfers geht die freigesetzte Wärme auf das kühlere Speisewasser im Rohrsystem über, es findet ein systeminterner Energietransport statt. Die Temperatur des Energieflusses nimmt ab, bei gleichzeitiger Zustandsänderung des Wassers. Damit ist die *zweite Bearbeitungsfunktion* eingeleitet. Mit der Zustandsänderung des Wassers entsteht aus der Wärmeenergie die mechanische Komponente des Energieflusses. Die zweite Energieumwandlung ist vollzogen. Schließlich verlässt der Energiefluss in Form von Hochdruckdampf über den Hochdruckteil des Dampferzeugers das System, um in der Turbine in Rotationsenergie umgewandelt zu werden. Der Hochdruckteil *positioniert* den Energiefluss als Systemoutput. Das Speisewasser erfüllt die Funktion eines Energieträgers und ist im weitesten Sinne als Bearbeitungswerkzeug (Wirkmedium) zu verstehen. In diesem Sinne erfüllt die Speisewasserzuleitung eine *Führungsfunktion*.

Die energetischen Vorgänge im Verdampfer laufen nicht spontan ab, sondern seine Leistung muss dem Bedarfsfall entsprechend gesteuert werden. Die Steuerfunktion ist wegen der vielen In- und Outputs des Systems sehr komplex. In jedem Fall wirken die Elemente des Steuerorgans auf den Kohlenstaub-, Frischluft- und Speisewasserfluss ein. Die zahlreichen vorhandenen Sicherheitseinrichtungen an einem Dampferzeuger werden in der folgenden Organstruktur vernachlässigt.

Die Kompliziertheit des Dampferzeugers zeigt sich darin, dass er mehrere Bearbeitungsfunktionen erfüllt, obwohl er aus konstruktiver Sicht nur ein System ist. Das spiegelt sich in der Organstruktur dieses Systems wider (Abb. 28.21.).

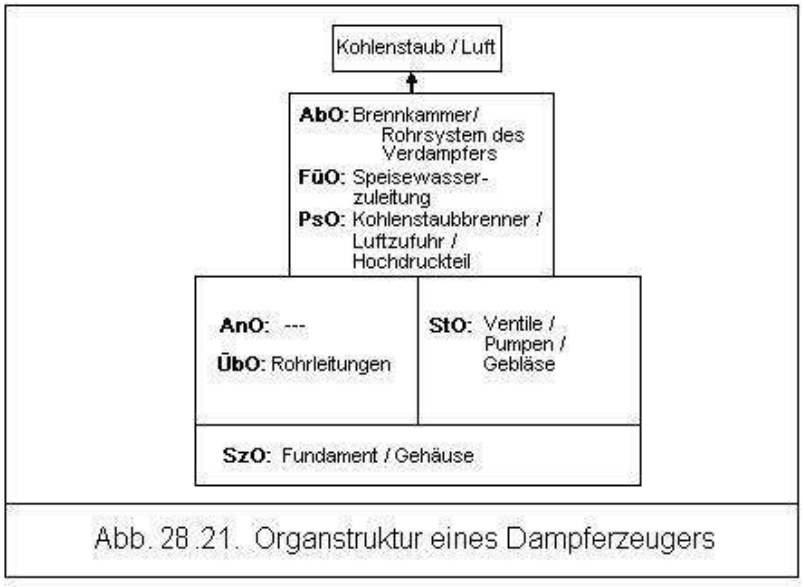


Abb. 28.21. Organstruktur eines Dampferzeugers

28.6.2. Organstruktur einer Dampfturbine

Eine Dampfturbine ist ein technisches System mit der Funktion, die von Hochdruckdampf transportierte thermodynamische Verknüpfung von Wärme und mechanischer Energie (hier als Druck) in mechanische Rotationsenergie umzuwandeln. Wie aus der vorangegangenen Abbildung der Energiekette ersichtlich ist, stellt sie die Verbindung zwischen Dampferzeuger und Generator her. Dampfturbinen gehören zu den wesentlichen Systemen von Kraftwerken. Sie finden aber auch Anwendung als Pumpen- und Schiffsantrieb.

Der Input einer Dampfturbine ist ein Hochdruckdampfstrom. Dieser strömt als Energieträger, von hohem Druck p_I angetrieben, mit den Volumenstrom V_I und der Temperatur T_I in das System ein. Der Massenstrom m_I des Dampfes wird zur Leistungssteuerung der Turbine mit einem Ventilsystem gesteuert. Durch das darauf folgende Düsensystem erhöht sich die Strömungsgeschwindigkeit c des Dampfmassenstromes m. Mit dem Erreichen des ersten Laufrades wird ein erster Energiebetrag des Dampfstromes auf das Laufrad und damit auf die Turbinenwelle übertragen. Der naturwissenschaftliche Hintergrund hierbei ist, dass bei Strömungsmaschinen die arbeitenden Schaufelkräfte vorwiegend aus der Geschwindigkeits- und Richtungsänderung des strömenden Mediums, in diesem Falle des Dampfes, hervorgerufen werden. Der Absolutdruck des strömenden Mediums spielt hierbei keine Rolle. Wie aus der Abbildung zu erkennen ist, passiert nach Verlassen des ersten Laufrades der Dampfstrom m das folgende Leitrad. Dieses ändert durch die Form seiner Schaufeln die Richtung des Dampfstromes und erhöht infolge der Düsenwirkung der Leiträder seine Geschwindigkeit. Dabei entspannt sich der Dampf von Stufe zu Stufe. Das nächste Laufrad kann durchströmt werden (Abb. 28.22.).

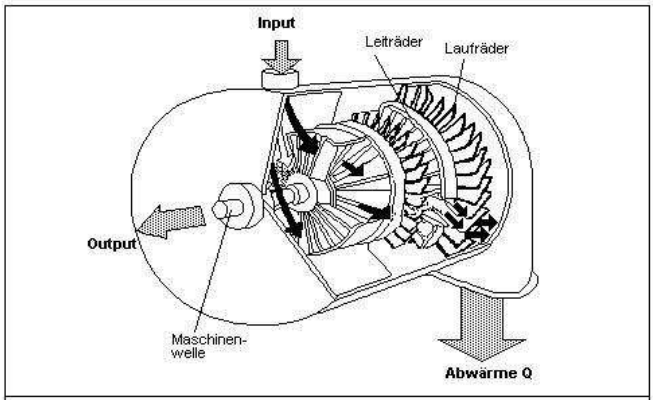


Abb. 28.22. Dampfturbine

Auf diese Weise wird in jeder Stufe der Turbine ein Teil der potentiellen Energie des Dampfes als kinetische Energie über die Schaufel an die Turbinenwelle übertragen. Die Temperatur des Dampfes nimmt dabei von

Stufe zu Stufe ab. Der Dampfstrom m verlässt mit der Abwärme Q das System. Durch seine Kühlung entsteht ein Unterdruck, der die Strömungsgeschwindigkeit des Abdampfes erhöht und die energetische Ausnutzung des ursprünglich thermisch hochgespannten Dampfes nimmt zu.

Betrachten wir zunächst die Bilanzen des Systems (Abb. 28.23.).

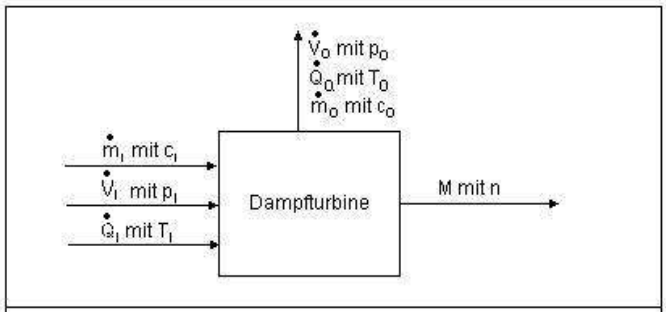


Abb.28.23. Stoff- und Energieflüsse in einer Dampfturbine

Zur Erhellung der Organstruktur des Systems folgen wir dem Weg des Dampfstromes, dessen Energiegehalt im Laufe des Vorgangs zu Rotationsenergie wird. Die umzuwandelnde Verknüpfung aus Wärme- und mechanischer Energie tritt mit dem Dampfstrom über ein Ventilsystem in die Turbine ein. Mit diesem Ventilsystem wird die Leistung der Maschine *gesteuert*. Das darauf folgende Düsensystem erfüllt mit der Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes und der Aufprägung der erforderlichen Richtung eine *Positionierungsfunktion*. Gleiches gilt für jedes Leitrad.

Die *Bearbeitungsfunktion* vollzieht sich an der Turbinenschaufel, wobei infolge der Geschwindigkeitsabnahme und Richtungsänderung des Dampfstromes Kräfte entstehen. Diese Kräfte werden durch die konstruktiver Ausführung des Laufrades, das somit das Arbeitsorgan ist, über dessen Radien an die Turbinenwelle als Drehmoment M übertragen. Mit der erforderlichen Drehzahl n verlässt der gewünschte Energiefluss das System. Die Rotationsenergie wird über die Turbinenwelle aus dem System heraustransportiert, dabei zwangsgeführt, also positioniert, aber nicht mehr verändert.

Die *Führungsfunktion* in diesem System erfüllt die Lagerung der Turbinenwelle, die damit gleichzeitig die Freiheitsgrade der Laufräder einschränkt.

Das Turbinengehäuse fixiert alle Bestandteile des Systems in der geforderten Lage und erfüllt damit die *Stützfunktion*.

Das allgemeine Strukturmodell technischer Systeme repräsentiert eine Dampfturbine folgendermaßen (Abb. 28.24.):

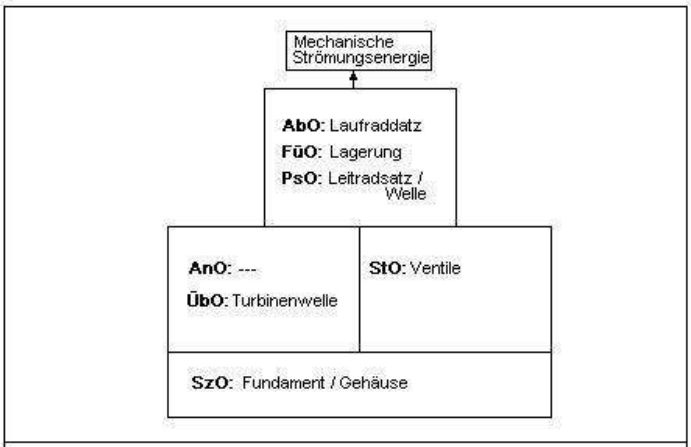


Abb. 28.24. Organstruktur einer Dampfturbine

28.6.3. Organstruktur eines Drehstromsynchrongenerators

Drehstromsynchrongeneratoren sind die Maschinen, die die weltweite Versorgung mit Elektroenergie sichern. Sie weisen unabhängig davon, ob sie von einer Wasser-, Dampf- oder Gasturbine angetrieben werden, einen ähnlichen Aufbau und eine gleichartige Struktur auf.

Die technologische Funktion des Drehstromgenerators besteht darin, die aus einer Turbine strömende mechanische Rotationsenergie in Dreiphasenwechselstrom umzuwandeln. Die aus dem Generator strömende Elektroenergie wird über das Elektroenergieversorgungsnetz verteilt und steht der Industrie, dem Handwerk und den Kommunen zur Verfügung.

Der Input des Generators ist Rotationsenergie. Diese strömt unter Antrieb des in der Turbine erzeugten Drehmoments M_I mit der Drehzahl n_I in das System ein. Anders ausgedrückt, wird die Rotationsenergie über die Maschinenwelle zum Polrad transportiert, das mit der Drehzahl der Turbinenwelle rotiert. Das Polrad selbst ist ein Elektromagnet. Dieser wird von der auf der Maschinenwelle befindlichen Erregermaschine gespeist. Die Erregermaschine ist ein Gleichstromgenerator, dessen Leistung über die Schleifringe und Bürsten das Magnetfeld des Polrads aufbaut. Mit dem Polrad wird die mechanische Rotationsenergie in ein mechano-magnetisches Drehfeld umgeformt. Dieses rotierende Gleichfeld durchflutet nacheinander jede der drei Wicklungen des Ständers. Die Wicklungen sind diametral auf dem Umfang des Ständers angeordnet. Ihre magnetischen Achsen zeigen zur Mitte des Ständers und befinden sich zueinander in einem Winkel von 120°. Dieser Winkel hat, wie sich noch zeigen wird, für die erzeugte Stromart Konsequenzen (Abb. 28.25).

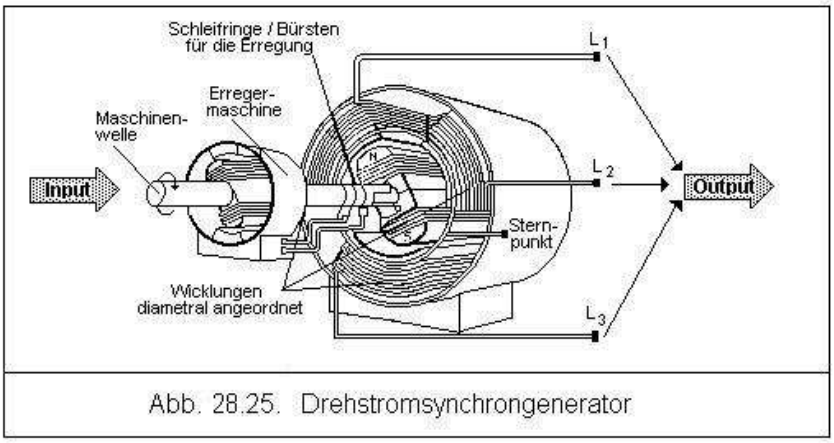


Abb. 28.25. Drehstromsynchrongenerator

Der Prozess der Energiewandlung erfolgt auf der Grundlage des Induktionsgesetzes durch die Übertragung der Rotationsenergie über die Form des rotierenden Polradfeldes auf die Induktionsspannungen in allen drei Spulen des Generators. Infolge der geometrischen Anordnung der Ständerwicklung werden bei jeder Umdrehung des Polrades drei Wechselspannungen u_O, in jeder der Spulen eine, induziert. Diese Spannungen sind zeitlich gegeneinander verschoben, nämlich um 120°.

Die erzeugte Energie verlässt das System in Form von Dreiphasenwechselstrom i_O mit der Netzfrequenz f und dem Leistungsfaktor cos φ erst bei Belastung. Beim Vorgang treten Stromwärmeverluste und magnetische Verluste auf.

Betrachten wir die Bilanz des Systems (Abb.28.26.):

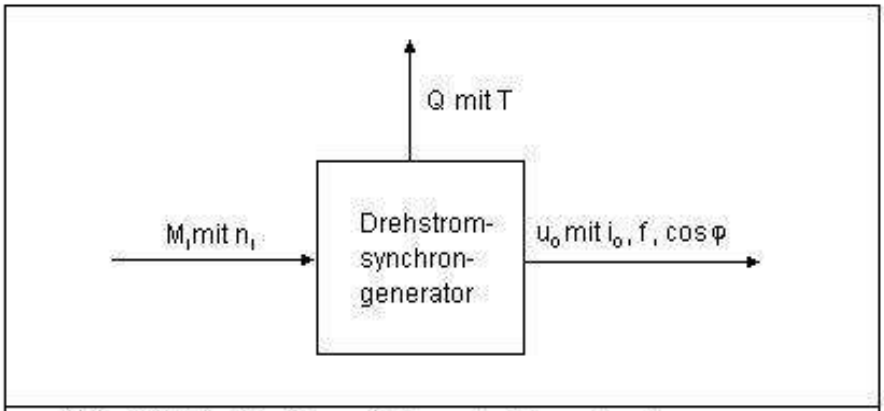


Abb. 28.26. Stoff- und Energieflüsse in einem Drehstromsynchrongenerator

Wie die Bilanz deutlich macht, fließen beim Generator keine Stoffflüsse, wie etwa durch eine Turbine oder einen Verdampfer.

Um die Organstruktur des Systems darzustellen, folgen wir wiederum dem Arbeitsgegenstand, dem Energiefluss.

Die umzuwandelnde Rotationsenergie tritt über die Maschinenwelle in den Generator ein und wird auf das Magnetfeld des Polrades transportiert. Die Rotationsenergie wird somit auf ein Magnetfeld übertragen und hat die zur Umwandlung erforderliche Position erreicht - die *Positionierungsfunktion* ist erfüllt.

Die *Bearbeitungsfunktion* vollzieht sich in den Wicklungen des Ständers. Hier erreicht die mechanische Rotationsenergie, auch wenn hier ein Magnetfeld rotiert handelt es sich noch um mechanische Energie, ihre neue Qualität als Elektroenergie. Die drei induzierten zeitlich gegeneinander verschobenen Spannungen treiben entsprechende Ströme über die Anschlussklemmen aus dem System heraus.

Tatsächlich laufen bei der Leistungserzeugung im Generator komplexe elektromagnetische Vorgänge ab, deren Erläuterung im Zusammenhang mit der Organstruktur allerdings nicht notwendig ist. Das bleibt eine Domäne der Elektrotechnik.

Die Lagerung der Generatorwelle erfüllt ebenso wie bei der Turbine eine Führungsfunktion, denn sie schränkt die Bewegungen der Welle einschließlich des Polrades ein. Der Stator, der aus dem Generatorgehäuse und den Wicklungen mit dem dazugehörigen Eisenkern besteht, fixiert auch die Wellenlagerung und realisiert eine *Stützfunktion*.

In der Erregermaschine wird ein geringer Teil (etwa 0,5 %) der einströmenden Energie abgezweigt und zur Erzeugung des Magnetfeldes im Polrad aufgewendet. Dieser Energiebetrag geht nicht auf die vom Generator abgegebene Energie über. Der Anteil wird zu Wärme. Es handelt sich hierbei auch nicht um Operationsenergie, denn mit der Erregerleistung wird die Maschine nicht angetrieben. Vielmehr ist die Erregerleistung als Hilfsenergie aufzufassen, wobei sie auch zur Steuerung der Generatorleistung dient. Damit ist die Erregermaschine mit den dazugehörigen Steuerelementen als Steuerorgan des Generators aufzufassen.

Für einen Drehstromsynchrongenerator ergibt sich folgende Organstruktur (Abb.28.27.).

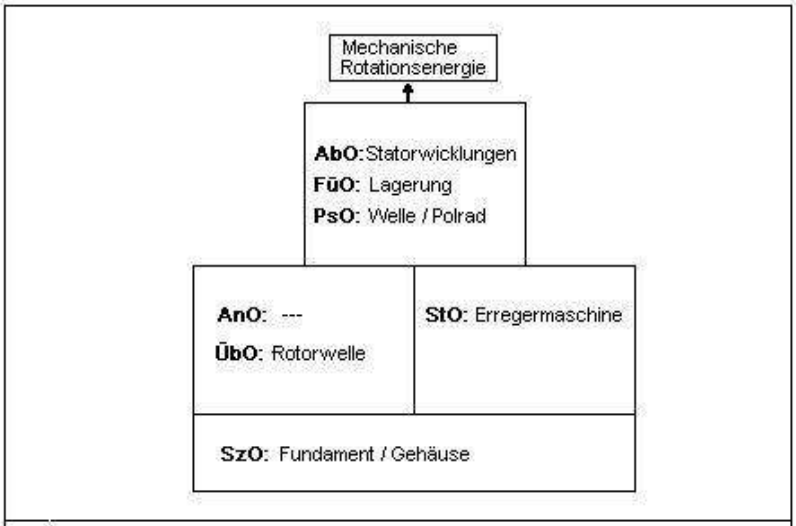


Abb. 28.27. Organstruktur eines Drehstromsynchrongenerators

Literatur

28.1. U. Schmidt: Leistungselektrik; Berlin 1987
28.2. W. Fritzsch: Dynamische Modelle fertigungstechnischer Prozesse; Berlin 1975
28.3. G. Schilling / G. Tischer : Einführung in die Produktionstechnik Bd.4 - Energetik; Berlin 1963
28.4. H. Spanneberg: Ruhende elektrische Maschinen - Transformatoren und Wandler; Berlin1989
28.5. Autorenkollektiv: Fachkunde Elektrotechnik; Haan-Gruiten 1990
28.6. G. Fehmel / H. Flachmann/ O. Mai: Elektrische Maschinen; Würzburg 1992
28.7. M. Quaas / H.J. Hildebrand (Herausgeber): Energie aktuell; Leipzig 1975
28.8. H.D. Naumann: Energie ohne Umwege; Leipzig 1970
28.9. K. Kreß / H. Mikelskis / H. Müller-Arnke / W. Reichenbacher: Energie - Regenerative Energiequellen und alternative Energietechnologien; Frankfurt (Main) 1984
28.10. W. Bennert / U.J. Werner : Windenergie; Berlin 1989
28.11. M. Meliß: Erneuerbare Energien verstärkt nutzen; Bonn 1993
28.12. J. Seidel: Kernenergie - Fragen und Antworten; Düsseldorf 1990
28.13. C.H. Ziseniß: Beleuchtungstechnik für den Elektrofachmann: Heidelberg 1991
28.14. W. Bennert / U-J. Werner: Windenergie; Berlin 1989
28.15. Autorenkollektiv: Technische Systeme; Leipzig 1976

29. Informationsverarbeitungssysteme

29.1. Allgemeine Charakteristik

Die technischen Systeme der Informationsverarbeitung haben die Aufgabe, den Arbeitsgegenstand Information (s. Allgemeine Technologie Teil 1, Kap. 7.2.) durch Einwirkung auf seinen materiellen Träger zu bearbeiten und ihn dadurch in seiner Form, seiner Struktur oder seinem Ort zu verändern, bzw. ihn zu speichern. Dabei bleibt die semantische Komponente der Information außerhalb der Betrachtung, weil der Mensch nicht Strukturelement der informationsverarbeitenden Systeme ist und technische Systeme nicht mit ideellen Abbildern operieren.

Informationsverarbeitungssysteme treten zum einen als Teilsysteme automatisierter Maschinen auf - als Informationsteil in Gestalt von Steuerungsorganen und Optimierungsorganen. In ihnen ist der Informationsfluss nicht der Hauptfluss (Fluss des Arbeitsgegenstandes), sondern Hilfsfluss. Er hat hier die Aufgabe, den Fluss des Arbeitsgegenstandes innerhalb des Maschinensystems (der sowohl stoffliche oder auch energetische Arbeitsgegenstände umfassen kann) zu steuern. Die dabei wirkenden Teilsysteme sind sehr vielfältiger Art und unterschiedlicher Komplexität. Es können vollständige Funktionsorgane oder aber nur Funktionsgruppen oder Funktionselemente des Steuerungssystems sein. Wir bezeichnen sie deshalb in Anlehnung an die Terminologie der Automatisierungstechnik als Funktionseinheiten, weil sie jeweils bestimmte technologische Vorgänge im Hilfsfluss des Systems realisieren.

Als selbständige Funktionssysteme, die alle Funktionsorgane eines solchen Systems aufweisen, begegnen uns Informationsverarbeitungssysteme z.B. in Form von Computern und Kommunikationssystemen (z.B. Fernsehgeräte, Fotoapparate, Druckmaschinen). Bei ihnen ist der Arbeitsgegenstand die Information und der Informationsfluss ist der Hauptfluss. Der Energieteil dieser Systeme stellt die notwendige Operationsenergie bereit, und der Informationsteil steuert den Prozess mittels der Software.

Wir berücksichtigen die Existenz zweier Erscheinungsformen der Informationsverarbeitungssysteme (d.h. zum einen als Teilsystem stoff- und energieändernder Systeme zu existieren und zum anderen als selbständiges Funktionssystem aufzutreten) durch eine entsprechende Gliederung der folgenden Darstellung dadurch, dass zum einen - aufbauend auf die technologische Systematik der informationsändernden Vorgänge - eine Übersicht über typische Funktionseinheiten im Teilbereich der Steuerungs- und Optimierungsorgane gegeben wird und sodann ausgewählte Funktionssysteme der Informationsverarbeitung in ihrer Struktur untersucht werden (Abb.29.1.).

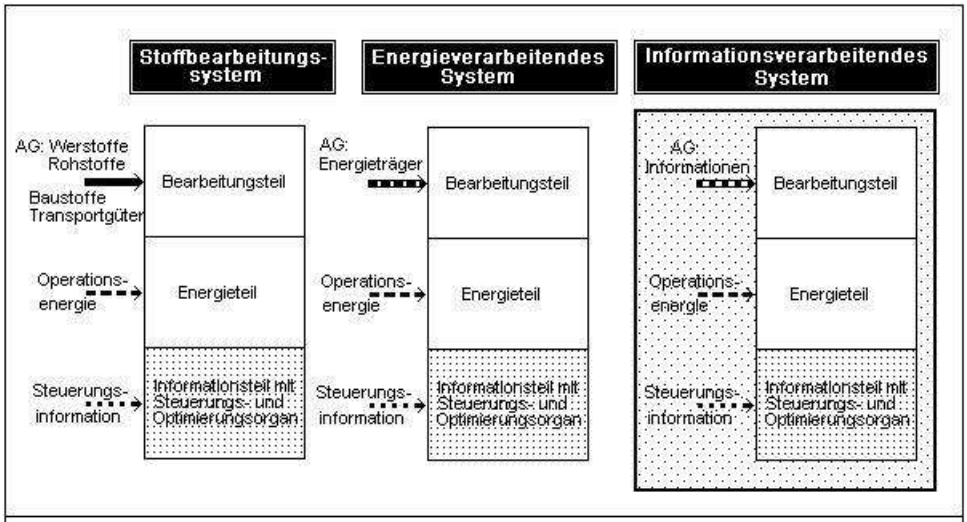


Abb. 29.1. Strukturelle Spezifik von informationsverarbeitenden Funktionssystemen und Steuerungssystemen automatischer Maschinen

Diese doppelte Erscheinungsform informationsverarbeitender Systeme verlangt, bei der Strukturanalyse jeweils zu entscheiden, ob ein zu analysierendes System als eigenständiges Funktionssystem oder als Element eines übergeordneten Systems betrachtet wird. Dabei kann das Element ein in sich durchaus sehr kompliziertes System darstellen. Das Kriterium für die Zuordnung ist die zu realisierende technische oder technologische Funktion.

Charakteristisch für Informationsverarbeitungssysteme ist weiterhin, dass für immer wiederkehrende technologische Grundfunktionen universell einsetzbare und konstruktiv in sich abgeschlossene Baugruppen in Form von Kassetten oder Einschüben verwendet werden. Mit dem schnell zunehmenden Integrationsgrad - insbesondere der elektronischen Bauelemente - werden immer mehr Funktionseinheiten durch wenige integrierte Schaltungen realisiert und Steckkarten mit einer Vielzahl von Grundfunktionen eingesetzt.

29.2. Übersicht über die Hauptgruppen und deren Merkmale

Die allgemeintechnische Systematik der informationsverarbeitenden Systeme steckt noch in den Anfängen. Das hat seine Ursache vor allem darin, dass die Informationsverarbeitungstechnik erst in den letzten Jahrzehnten durch die durchgängige Automatisierung weiter Bereiche der Produktionstechnik und durch die explosionsartige Verbreitung informationsverarbeitender Funktionssysteme (Computertechnik, Kommunikationstechnik, Datenverarbeitungstechnik) in allen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens einen Entwicklungsstand erreicht hat, der sie als gleichberechtigten eigenständigen Technikbereich neben die stoffverarbeitende und die energieändernde Technik stellt.

Die in der Literatur angewandten Gliederungssysteme basieren naturgemäß auf den Bedürfnissen der Automatisierungstechnik und entsprechen daher nur teilweise den Kriterien allgemeintechnischer Betrachtung. Für die *allgemeintechnische Systematisierung* der informationsverarbeitenden Systeme liefert die von G. FRÜCHTEL vorgeschlagene Gliederung der Informationsverarbeitungsvorgänge (Lit. 29.1.) (vgl. auch Kap. 10.7.) eine Erfolg versprechende Grundlage. Im Einzelnen ist sie allerdings bisher nur ungenügend ausgearbeitet. Wenn wir im Folgenden trotzdem diesen Systematisierungsansatz vorstellen, so als Denkmodell für künftige detaillierte Untersuchungen (Abb. 29.2.).

Die Aufteilung der Gesamtheit informationsändernder Systeme in Typen erfolgt danach zunächst mittels des Kriteriums „Art der Veränderung der Information“. Daraus ergibt sich die Gliederung in informationsumformende Systeme, informationswandelnde Systeme sowie Transport- und Speichersysteme. Letztere werden im Kap. 30 (Transport-, Umschlag- und Lagersysteme) mit dargestellt. Für die informationsumformenden Systeme gilt, dass sie lediglich eine Veränderung des Signalträgers zum Ziel haben, die Signalstruktur und den Informationsinhalt (d.h. die Informationsparameter) aber unverändert lassen. Informationswandelnde Systeme sind dagegen solche, die den Signalcharakter oder den Informationsinhalt verändern.

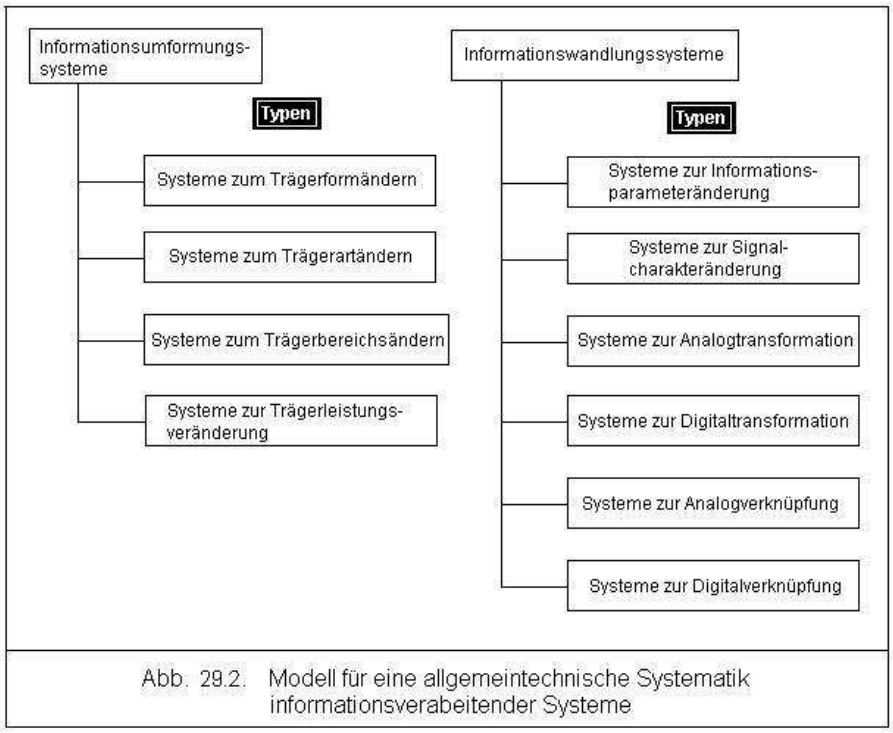


Abb. 29.2. Modell für eine allgemeintechnische Systematik informationsverabeitender Systeme

Informationsumformungssysteme können mittels der verschiedenen Merkmalsvektoren des Informationsträgers (Trägerform, Trägerart, Trägerbereich, Trägerleistung) weiter untergliedert werden. Abb.29.2. zeigt die Gliederung nach diesem Kriterium.

Trägerformänderungssysteme verändern Signalparameter innerhalb einer Trägerart oder bilden sie auf eine physikalische Größe einer anderen Trägerart ab. Zu diesem Typ gehören bei Automatisierungssystemen die Mess- und Stellsysteme, bei Datenverarbeitungsanlagen die Systeme für Ein- und Ausgabevorgänge.

Systeme zur Trägerartänderung haben die Aufgabe, Signale aus der dynamischen Form in die statische Trägerform sowie umgekehrt statische Signale in dynamische Trägerformen zu überführen. Das geschieht durch Einlesen und Auslesen. Diese Systeme sind die einzigen, die auch statische Signalträger bearbeiten, während bei allen anderen Typen informationsverarbeitender Systeme der Arbeitsgegenstand (der Signalträger) immer in der dynamischen Form vorliegt. Sie stehen in jeweils enger Wechselwirkung zu Speichersystemen.

Systeme zur Trägerbereichsänderung vergrößern oder verkleinern den Wertebereich der Trägererscheinungsform unter Beibehaltung der Trägerleistung. Das geschieht z.B. durch Impedanzanpassung oder Pegelanpassung.

Systeme zur Trägerleistungsveränderung erfassen alle Systeme, mit denen die Potential- bzw. Flussgröße des Informationsträgers durch Energiezu- oder -abführung vergrößert oder verkleinert wird. In diesen Typ sind die Signalverstärker und die Signaldämpfungssysteme einzuordnen.

Informationswandlungssysteme können durch das Kriterium „ Art der Veränderung der Information“ untergliedert werden in:

- Systeme zur Informationsparameteränderung. Sie ändern das Signal im Amplituden- und Zeitbereich
- Systeme zur Signalcharakteränderung. Ihre Funktion besteht im Wertebereich in der Umwandlung analoger in diskrete Signale und im Zeitbereich in der Umwandlung kontinuierlicher in diskontinuierliche Signale oder umgekehrt.
- Systeme zur Analogtransformation (z.B. Analog-Digital-Umsetzer)
- Systeme zur Digitaltransformation (z.B. Digital-Analog-Umsetzer)
- Systeme zur Analogverknüpfung
- Systeme zur Digitalverknüpfung (z.B. Dekodierer, Multiplexer, Digital-Komparatoren, Mikroprozessoren).

Die in der aktuellen informationstechnischen Literatur anzutreffenden Ordnungssysteme und die dabei angewandten Kriterien hat WORCH (Lit. 29.2., Kap. 3.2.1.) zusammengestellt und analysiert. Als Gliederungskriterien werden unter anderem genannt:

- die in der Informationskette zu realisierenden Funktionen,
- die Struktur der Steuerungssysteme (Funktionseinheiten zur Informationsgewinnung, Funktionseinheiten zur Informationsverarbeitung, Funktionseinheiten zur Informationsnutzung)
- die Art der zu verarbeitenden Informationsträger (pneumatische, hydraulische, elektrische Funktionseinheiten)
- die Art der Signaloperationen (Systeme zur Signalerzeugung, -wandlung, -umsetzung, -kodierung, -übertragung, -speicherung).

Für die weitere Darstellung der Funktionseinheiten der Informationsverarbeitung wollen wir uns auf eine Gliederung stützen, wie sie sich aus den Funktionen innerhalb der Informationskette und den einzusetzenden Funktionsträgern ergeben. Aus allgemeintechnischer Sicht haben sich insbesondere R. WORCH (Lit. 29.2.) und P. BARTH / H.D. MAERTENS (Lit. 29.4.) dieser Konzeption bedient.

Entsprechend der Struktur der Informationskette (Abb. 29.3.) lassen sich unterscheiden:

- Funktionseinheiten zur Informationsgewinnung
- Funktionseinheiten zur Informationsspeicherung
- Funktionseinheiten zur Informationsverarbeitung
- Funktionseinheiten zur Informationsnutzung

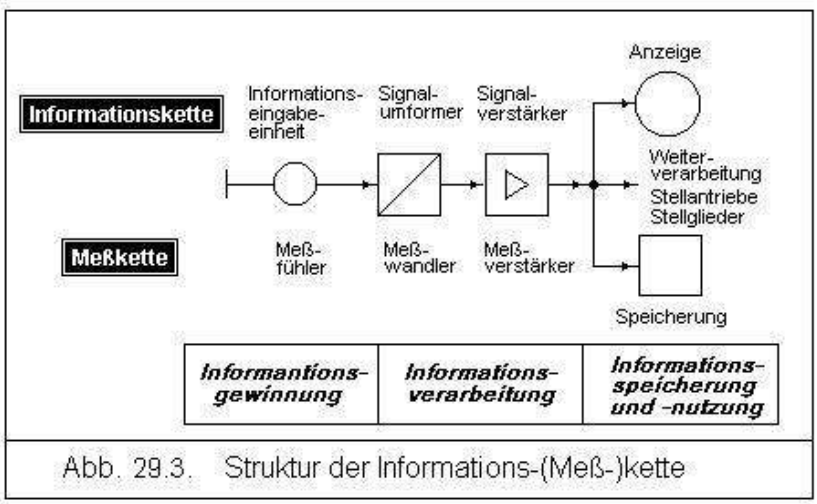


Abb. 29.3. Struktur der Informations-(Meß-)kette

29.3. Funktionseinheiten der Informationsgewinnung, -verarbeitung und - nutzung in automatischen Systemen

Bei der weiteren Untergliederung der drei Klassen in Typen und Gruppen informationsverarbeitender Systeme werden je nach der Art des Informationsträgers elektrische, hydraulische und pneumatische Systeme unterschieden. Für die meisten technologischen Grundvorgänge existieren diese drei Arten parallel. Sie weisen bei gleicher Struktur jeweils eine durch die Eigenart des Informationsträgers bedingte unterschiedliche konstruktive Gestaltung auf. Jede dieser Arten informationsverarbeitender Systeme erfüllt die konkreten Forderungen der jeweiligen Steuerungsaufgabe unterschiedlich gut. Entsprechend erfolgt ihr Einsatz differenziert.

Pneumatische Steuerungssysteme sind durch die Nutzung von Druckluft zur Steuerung und zum Antrieb von Zylindern und Motoren gekennzeichnet. Hauptanwendungsgebiete sind automatische Systeme in der Montage, der Handhabung, der Verpackung und in Chemieanlagen. Sie besitzen eine hohe Betriebssicherheit (auch bei harten Umgebungsbedingungen), sie sind unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Feldern und Strahlungseinflüssen, sie sind explosionssicher und arbeiten in einem gefahrlosen Druckbereich, die Geräte sind einfach im Aufbau und lassen sich deshalb mit geringem Aufwand warten.

Die Einsatzfelder werden allerdings begrenzt durch die geringe Geschwindigkeit der Signalübertragung und -verarbeitung, sowie durch den begrenzten Umfang der Informationsverarbeitung und -speicherung. Typische pneumatische Komponenten von Steuerungssystemen sind Regler, Messumformer, Sensoren und Stelleinrichtungen.

Pneumatische Systeme lassen sich aus einer relativ geringen Zahl immer wiederkehrender Grundelemente aufbauen:

- Steuerwiderstände in Form von Kapillaren, Blenden, Düsen und Kegeldrosseln;
- Elastische Elemente z.B. Membranen, Wellrohre, Rohrfedern;
- Volumenelemente (mit festen und veränderlichen Volumina);
- Leitungen;
- Strahlelemente (Strahldüsen, Fangdüsen).

Für den Einsatz pneumatischer Systeme zur Informationsverarbeitung werden typische Wirkprinzipien genutzt:

- das Düse-Prallplatte-System
- das Düse-Kugel-System
- das Strahldüse-Fangdüse-System
- das Einlassdüse-Auslassdüse-System

Hydraulische Steuerungssysteme nutzen Flüssigkeiten (vor allem sog. Hydrauliköl) als Informationsträger zur Steuerung von Kräften und Bewegungen. Sie zeichnen sich durch platz- und gewichtsparende Bauteile aus, mit denen große Kräfte bei kleinen Abmessungen übertragen werden können. Sie ermöglichen schnelle

und genau zu positionierende Bewegungen bei großem Stellbereich ohne zusätzliche mechanische Getriebe, sie erlauben eine einfache Überlastsicherung durch Begrenzen von Kräften, Momenten und Leistungen, sie weisen eine hohe Funktionssicherheit bei geringem Wartungsaufwand auf. Nachteilig sind die auftretenden Leckverluste an Öl und die Neigung zur Aufheizung der Öle durch Strömungsverluste. Die Leistungsverluste können durch mehrfache Energiewandlung sehr hoch sein.

Typische Funktionseinheiten hydraulischer Systeme sind Pumpen (Druckstromerzeuger), Hydromotoren und Ventile.

Hauptanwendungsgebiete sind hydraulische Antriebe in Werkzeugmaschinen, Hebezeugen und Industrieroboter.

Elektrische Steuerungssysteme. Sie zeichnen sich durch praktische Trägheitslosigkeit, hohe Zuverlässigkeit und Anpassbarkeit an alle Automatisierungsaufgaben aus.

Elektrische Funktionseinheiten sind Bestandteil aller Automatisierungseinrichtungen. Für die immer wiederkehrenden Grundfunktionen wie Messen, Verstärken, Rechnen, Speichern existieren universell einsetzbare Funktionsgruppen. Die fortschreitende Integration elektronischer Bauelemente hat dazu geführt, dass in zunehmendem Maße immer mehr Funktionen mittels einer integrierten Schaltung realisiert werden können.

Funktionsklassen. Entsprechen den durch Automatisierungssysteme zu realisierenden Funktionen (Abb. 29.3.) lassen sich für alle Arten von automatischen Systemen im wesentlichen folgende Klassen von Funktionseinheiten unterscheiden:

- Funktionseinheiten zur Informationsgewinnung (Meßeinrichtungen, Eingabeeinheiten)
- Funktionseinheiten zur Informationsverarbeitung (Signalwandler, Signalverstärker, Recheneinheiten)
- Funktionseinheiten zur Informationsnutzung (Stellantriebe und Stellglieder)
- Funktionseinheiten zur Informationsspeicherung

29.3.1. Messeinrichtungen

Am Anfang jeder Steuerstrecke stehen Funktionseinheiten zur Informationsgewinnung: Messeinrichtungen. Sie erfassen die wichtigsten Prozessgrößen in Art, Größe und Verlauf. Messeinrichtungen weisen eine allgemeine Struktur auf: Messfühler (Sensoren), Messwandler, Messverstärker und Anzeige-(Registrier-)einrichtungen. Der Messfühler erfasst die zu messende Größe (z.B. Druck, Temperatur, Kraft ....).

Es gibt Messeinrichtungen, die ohne Operationsenergie auskommen und solche, denen die notwendige Energie für die Signalgewinnung zugeführt werden muss.

Eine Übersicht über die wesentlichen zu erfassenden Prozessgrößen, Abbildungsgrößen und typische Messmittel gibt Tabelle 29.1.

Für die Vielfalt der zu erfassenden Prozessgrößen sind eine große Zahl von Sensortypen entwickelt worden, die die unterschiedlichsten physikalischen Effekte nutzen. Die Einteilung der Messeinrichtungen erfolgt zweckmäßigerweise in elektrische und nichtelektrische Funktionseinheiten.

Elektrische Messeinrichtungen (Abb. 29.4.). Typische Messmittel (Sensoren) für Wege, Winkel und Abstände sind Schiebepotentiometer, Drehpotentiometer, Feldplattensensoren, induktive Wegsensoren und Tauchankersensoren. Als Sensoren für Geschwindigkeiten werden Tachogeneratoren, induktive Geschwindigkeitsmesser und Radar-Geschwindigkeitssensoren eingesetzt. Temperaturen werden mittels Thermoelementen und Widerstandsthermometern gemessen. Für Kräftemessungen stehen Dehnungsmeßstreifen, Kraftmeßdosen und piezoelektrische Druckmesser zur Verfügung.

Meßgröße	Abbildungsgröße	Typische Meßmittel (Sensoren)
Kraft	Weg / Dehnung	Kraftmeßdose mit Differential-drossel / Dehnungsmeßstreifen
Temperatur	elektrischer Widerstand elektrische Spannung	Winderstandsthermometer Thermoelement Strahlungspyrometer
Druck	Weg / Winkel / Kraft elektrischer Widerstand	Membranumformer / U-Rohr-Manometer / Ringwaage / Federmanometer Meßumformer
Durchfluß / Volumen	Differenzdruck / Kraft	Drosselgeräte mit Meßumformern Staudruckdurchflußmesser
Füllstand	Weg / Winkel Kraft / Masse Druck	Schwimmerstandsmesser / Strahlenschranken/ Seilsonden Kraftmeßdosen / Auftriebskörper / Behälterwaagen Manometer / Differenzdruckmeß-umformer
Stückzahl	elektrischer Strom /Spannung / Impulszahl	Lichtschranken

Tabelle 29.1. Übersicht wichtiger Meßgrößen der Automatisierungstechnik

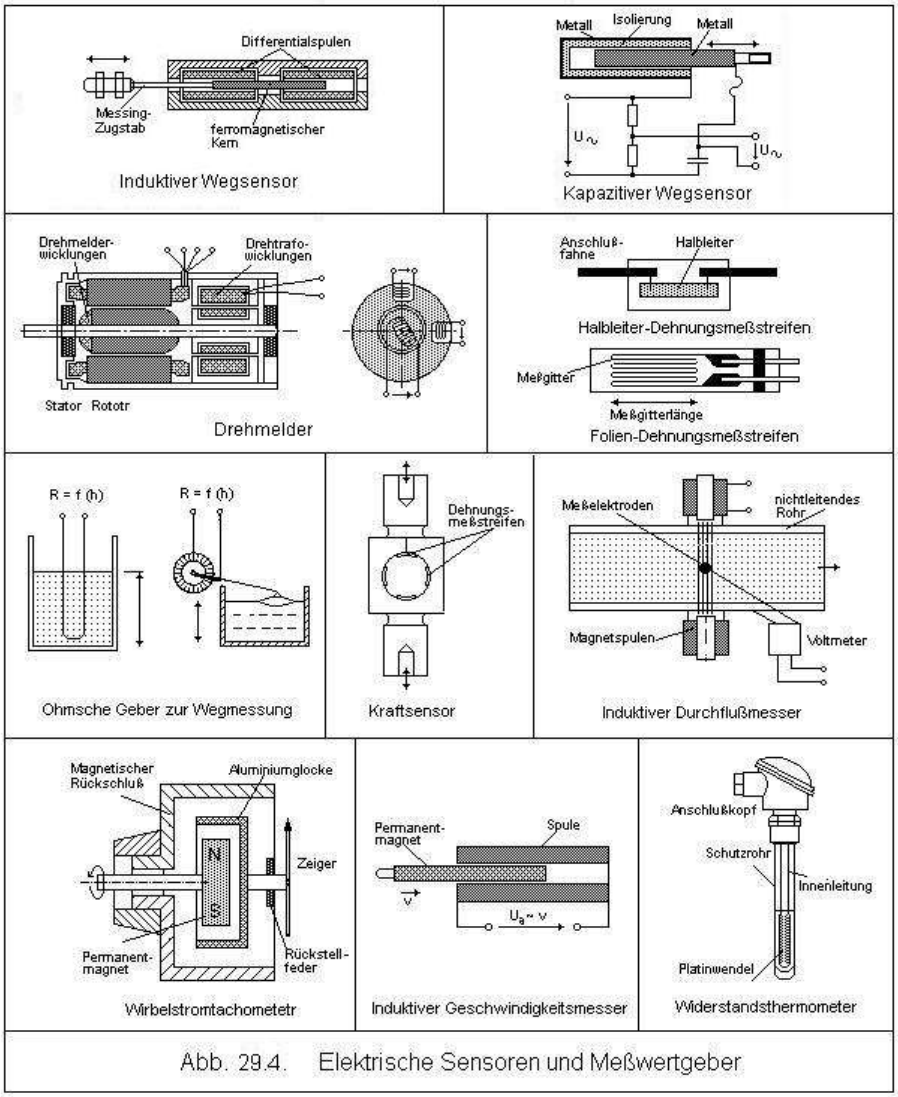


Abb. 29.4. Elektrische Sensoren und Meßwertgeber

Nichtelektrische Messeinrichtungen (Abb. 29.5.). Nichtelektrische Messeinrichtungen nutzen mechanische, pneumatische, hydraulische, optische und Strahlungs-Prinzipe für die Erfassung von Messgrößen. Sie zeichnen sich im Allgemeinen durch Einfachheit, Robustheit und Wirtschaftlichkeit aus. Ihre Genauigkeit ist allerdings begrenzt. Die Messwerte müssen vielfach elektrisch verstärkt und weiterverarbeitet werden.

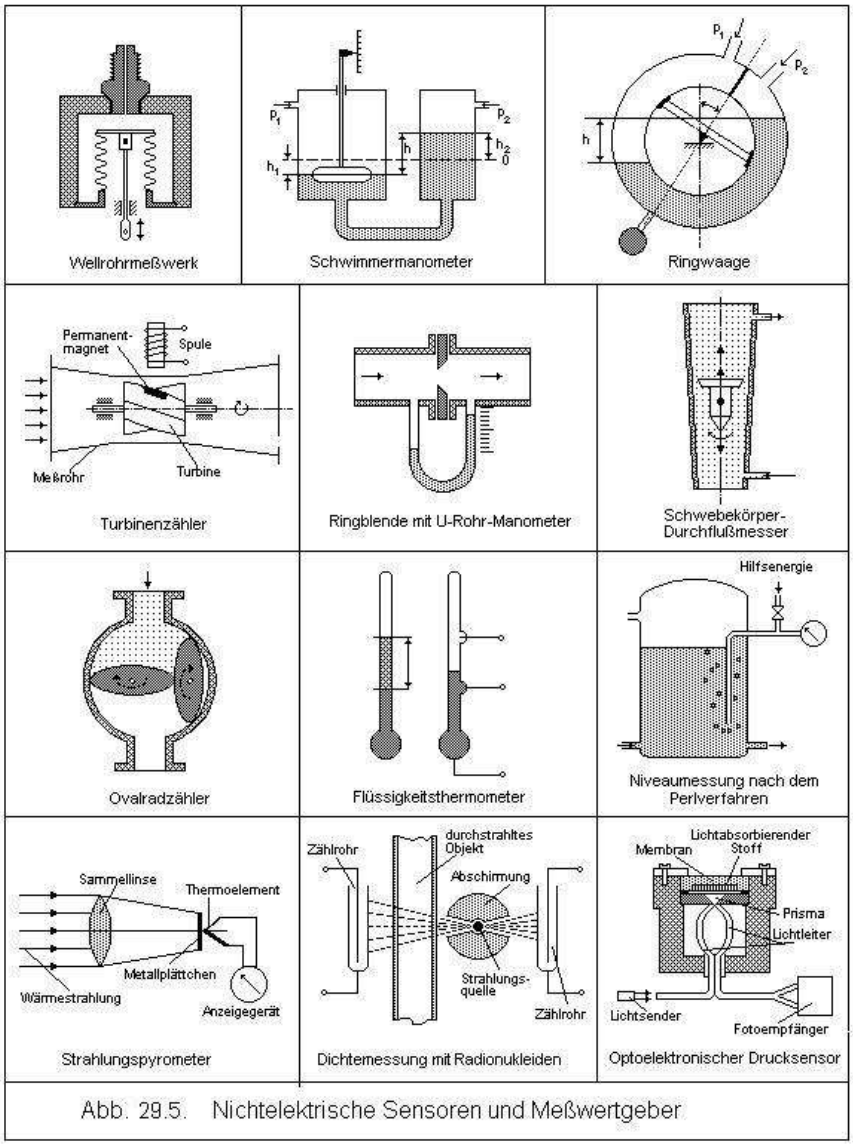


Abb. 29.5. Nichtelektrische Sensoren und Meßwertgeber

Für Temperaturmessungen werden Ausdehnungsthermometer, Kontaktthermometer und Strahlungspyrometer eingesetzt. Kräfte und Drücke werden mittels Wellrohrmesswerk, Tauchglocken-, U-Rohr- oder Schwimmermanometer, Ringwaage und optoelektronischen Drucksensoren gemessen. Für Durchflussmengen stehen Ovalradzähler, Turbinenradzähler und Schwebekörperdurchflussmesser zur Verfügung. Für Wegmessungen lassen sich, allerdings mit hinreichender Genauigkeit nur für relativ kleine Messbereiche, Düse-Prallplatte-Einheiten nutzen. Für Dichtemessungen sind Sensoren mit Radionukleïden einsetzbar.

29.3.2. Messwandler

Die im technologischen Prozess zu messenden Größen sind in der Mehrzahl nichtelektrische Größen. Zur weiteren Verarbeitung und Nutzung werden sie im Allgemeinen in elektrische Größen umgewandelt, dazu dienen Messwandler. Messwandler haben die Aufgabe, ein Eingangssignal, das von einem Messgerät oder einer Eingabeeinheit geliefert wird, in ein für die Weiterverarbeitung geeignetes Ausgangssignal umzuwandeln. Innerhalb der Messwandler wird zwischen Messumformern und Messumsetzern unterschieden. Messumformer arbeiten mit analogen Eingangs- und Ausgangssignalen, Messumsetzer mit digitalen Signalen (Abb. 29.6.).

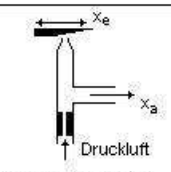
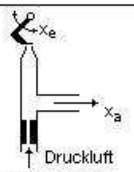
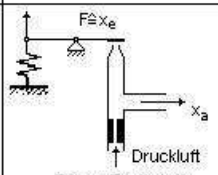
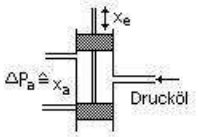
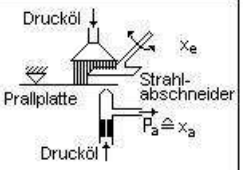
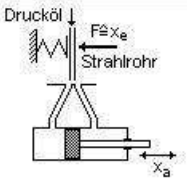
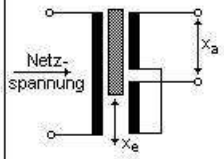
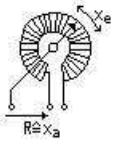
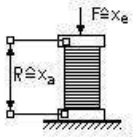
Umformung in	Wege	Winkel	Kräfte
Pneumatische Größen (Druck)	 Düse-Prallplatte	 Düse-Blende	 Düse-Prallplatte
Hydraulische Größen (Druck)	 Schieber		
Elektrische Größen (Spannung, Strom, Widerstand)	 Differentialtrafo	 Ringwiderstand	 Kohlesäule

Abb. 29.6. Meßumformer

Messeinrichtungen weisen eine allgemeine Struktur auf: Messfühler (Sensoren), Messwandler, Messverstärker und Anzeige-(Registrier-)einrichtungen. Der Messfühler erfasst die zu messende Größe (z.B. Druck, Temperatur, Kraft ....).

Es gibt Messeinrichtungen, die ohne Operationsenergie auskommen und solche, denen die notwendige Energie für die Signalgewinnung zugeführt werden muss.

Eine Übersicht über die wesentlichen zu erfassenden Prozessgrößen, Abbildungsgrößen und typische Messmittel gibt Tabelle 29.1.

29.3.3. Verstärker

Aufgabe der Verstärker in automatisierten Systemen ist die Umwandlung einer Eingangsleistung in eine höhere Ausgangsleistung. Das ist immer dann nötig, wenn die von einer Messeinrichtung gelieferte Signalleistung zu gering für die Weiterverarbeitung ist. Verstärker benötigen immer eine Hilfsenergie, um die erforderliche Leistungsverstärkung hervorzubringen (Abb. 29.7.).

Eingangs- bzw. Ausgangsgröße eines *elektrischen Verstärkers* kann eine elektrische Spannung oder ein Strom sein. Grundelemente elektronischer Verstärker sind bipolare Si-Transistoren oder unipolare Metalloxid-Feldeffekt-Transistoren. Die bekanntesten Verstärkergrundschaltungen sind die Emitterschaltung und die Differenzverstärkerschaltung. Die letztere hat die größte Bedeutung in der Automatisierungstechnik, weil sie den Signalvergleich bei gleichzeitiger Verstärkung ermöglicht und sich für die Gleichstromspannungsverstärkung besonders gut eignet.

In mechanischen Steuerungen werden vielfach *pneumatische Verstärker* eingesetzt. Sie sind sehr zuverlässig und erlauben z. T. hohe Ausgangsleistungen. Ihr Wirkprinzip stützt sich auf das Düse-Prallplatte-System. Die Prallplatte wird im Allgemeinen mit einer auslenkbaren Membran verbunden (Membranverstärker).

In hydraulischen Steuerungen nutzt man *hydraulische Verstärker* zur Signalverstärkung. Mittels eines Strahlrohres oder eines Doppelkolbens wird das von einer Druckpumpe geförderte Hydrauliköl in einen Stellzylinder geführt. Es lassen sich mit relativ geringen Eingangssignalkräften große Ausgangskräfte erzeugen. Hydraulische Steuerungen sind in Werkzeugmaschinen, Flugzeugen und Chemieanlagen verbreitet.

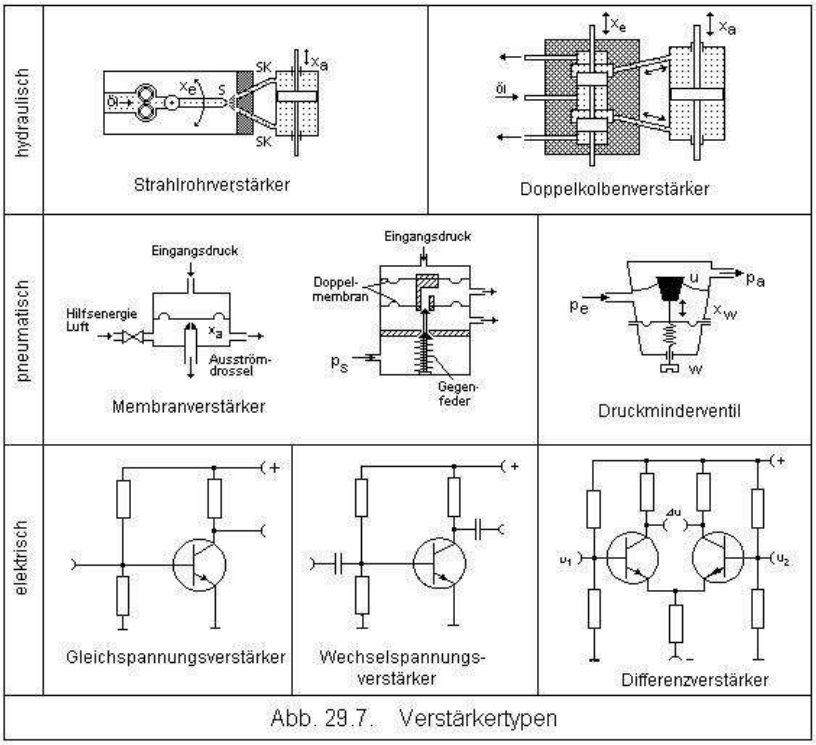


Abb. 29.7. Verstärkertypen

29.3.4. Eingabeeinheiten

Für die Steuerung und Regelung eines technologischen Prozesses müssen jeweils Führungsgrößen (w) vorgegeben werden. Das geschieht durch Eingabeeinheiten, die die notwendigen Informationen von außen bereitstellen und als Signale in das System einspeisen. Durch den Vergleich der Regelgröße mit der Führungsgröße kann der Prozess in gewünschter Weise beeinflusst werden.

Je nach der Art der Regelung (Festwertregelung, Führungsregelung, Zeitplanregelung) kommen verschiedene Arten von Eingabeeinheiten zum Einsatz (Abb. 29.8.).

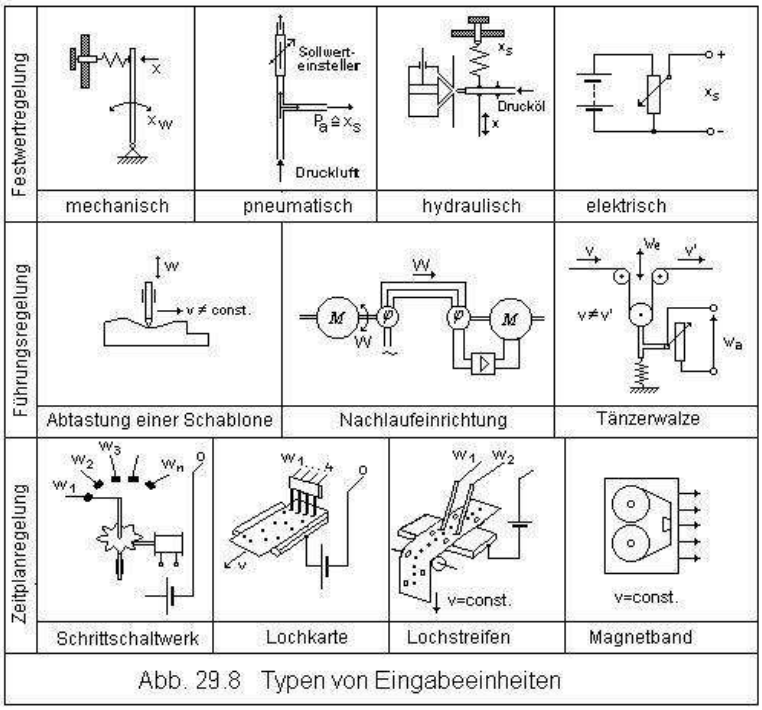


Abb. 29.8 Typen von Eingabeeinheiten

Die Einführung der Mikrorechentechnik in die Automatisierungstechnik hat zu einem wesentlich geänderten System von Eingabe- und Ausgabeeinheiten in der Mensch-Maschine-Kommunikation geführt. Dazu gehö-

ren Tastaturen, bildschirmorientierte Eingabeeinheiten (Softkeys) und Anzeigeeinrichtungen (LED-Anzeigen, LCD-Anzeigen, Digitalanzeigen, Bildschirmeinheiten).

29.3.5. Recheneinheiten

Recheneinheiten sind Funktionseinheiten, die arithmetisch-logische Operationen an analogen oder digitalen Signalen ausführen können. Dabei handelt es sich um Operationen wie Sollwert-Istwert-Vergleiche (größer, kleiner, gleich u. ä.) und logische Verknüpfungen (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division, Integration, Differentiation). Funktionseinheiten, die Vergleichsglieder als Bestandteil der Recheneinheit enthalten nennt man Regler.

Vergleichsglieder sind die wichtigste Recheneinheit in Reglern. Sie bestimmen die Regelabweichung vom Sollwert und veranlassen die Korrektur. Beispiele für den Vergleich von Wegen, Drehzahlen, Kräften, Drücken, Spannungen und Strömen sind in Abb.29.9. dargestellt.

Nach dem erfolgten Vergleich des Istwertes (w) mit der Regelgröße (x) und der dabei gebildeten Regelabweichung (x_w), wird das Ergebnis im Regler weiter verarbeitet. Nach ihrer Funktionsweise unterscheidet man

- Schaltende Regler (Zweipunktregler, Mehrpunktregler);
- analoge Regler;
- digitale Regler.

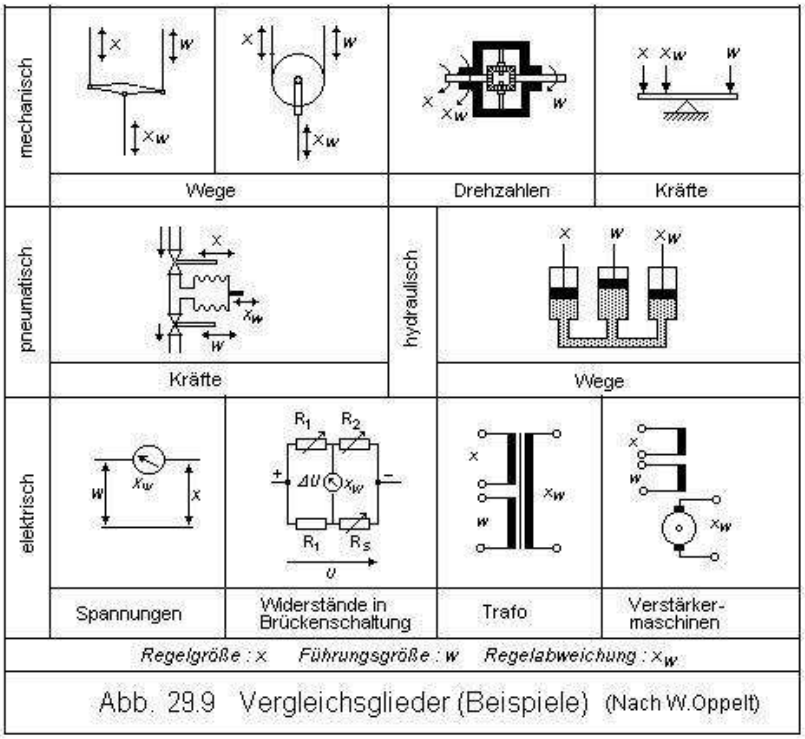


Abb. 29.9 Vergleichsglieder (Beispiele) (Nach W.Oppelt)

Schaltende Regler verändern die Stellgröße unstetig durch Schalten in zwei oder mehreren Stufen. Mehrpunktregler können positive und negative Regelabweichungen verarbeiten. Schaltende Regler finden trotz der Fortschritte, die die Mikroelektronik für die Steuerungstechnik gebracht hat, wegen ihrer Einfachheit, Robustheit und Wirtschaftlichkeit verbreitete Anwendung, insbesondere in der Temperatur-, der Füllstands- und Druckregelung und bei einfachen Haushaltsgeräten.

In *analogen Recheneinheiten* geschieht die Verarbeitung Regelabweichung durch proportionale Verstärkung, Integration oder Differentiation des Signals. Daraus leiten sich die Bezeichnungen für P-, I-, PI- und PID-Regler ab. Sie verändern die Stellgröße stetig und sind im Allgemeinen mit Operationsverstärkern ausgerüstet. PID-Regler sind Universalregler. Sie enthalten einen Operationsverstärker zur Bestimmung der Regeldifferenz (Summierer) und Bildung des Stellsignals, einen Integrierer, einen Differenzierer und am Ausgang einen weiteren Operationsverstärker für die Summation der drei Teilsignale.

Digitale Regler beeinflussen die Stellgröße in einer feinen Stufung. Sie werden meist in Mikroprozessoren realisiert. Das analoge Eingangssignal wird von ihnen in diskrete Werte aufgelöst (Abb.29.10.).

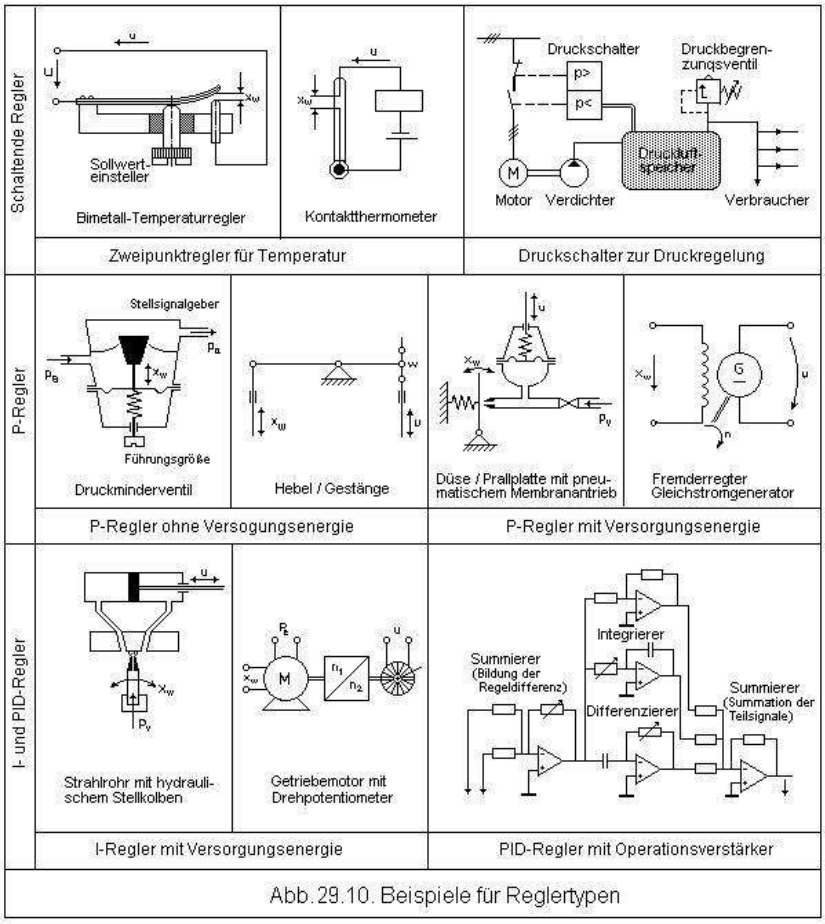


Abb. 29.10. Beispiele für Reglertypen

29.3.6. Stellantriebe

Stellantriebe sind Funktionseinheiten mit der Aufgabe, Stellglieder zu betätigen. Es werden unterschieden:

- Stelleinrichtungen für Festkörperbewegung (Elektromotoren, pneumatische und hydraulische Stelleinheiten für Werkzeugmaschinen, Baumaschinen, Landtechnik),
- Stelleinrichtungen für Stoffströme (Motorventile, Pumpen, Förderbänder in der Verfahrens- und Verarbeitungstechnik),
- Stelleinrichtungen für Energie- und Informationsströme (Thyristoren, Verstärker)

Die wichtigste Gruppe sind *elektrische Stellantriebe*. Es handelt sich dabei um Gleichstrommotore, Drehstrommotore, Schrittmotore und lineare Direktantriebe. Gleichstrommotore werden in der Maschinensteuerung dort eingesetzt, wo die Drehzahl in weiten Bereichen steuerbar sein muß (Vorschubantriebe, Hauptantriebe von Werkzeugmaschinen).

Neben elektrischen Stellantrieben werden insbesondere bei extremen Einsatzbedingungen (Schmutz, Feuchtigkeit, Hitze, aggressive Chemikalien) auch pneumatische und hydraulische Stellantriebe eingesetzt. Pneumatische Antriebe werden als Membran- oder Kolbenantriebe ausgeführt. Dabei wirkt der Druck als Stellgröße auf eine Membran oder einen Kolben, die mit einer Rückstellfeder verbunden sind (Masse-Feder-System). Die durch den Druck ausgelöste Auslenkung der Membrane bzw. des Kolbens überträgt die Wegänderung auf das nachgeschaltete Stellglied. Hydraulische Stellantriebe sind Kolbenantriebe. Bei ihnen wird die Forderung nach absoluter Dichtheit erhoben, um Umweltschädigungen durch austretendes Hydrauliköl zu vermeiden (Abb.29.11.).

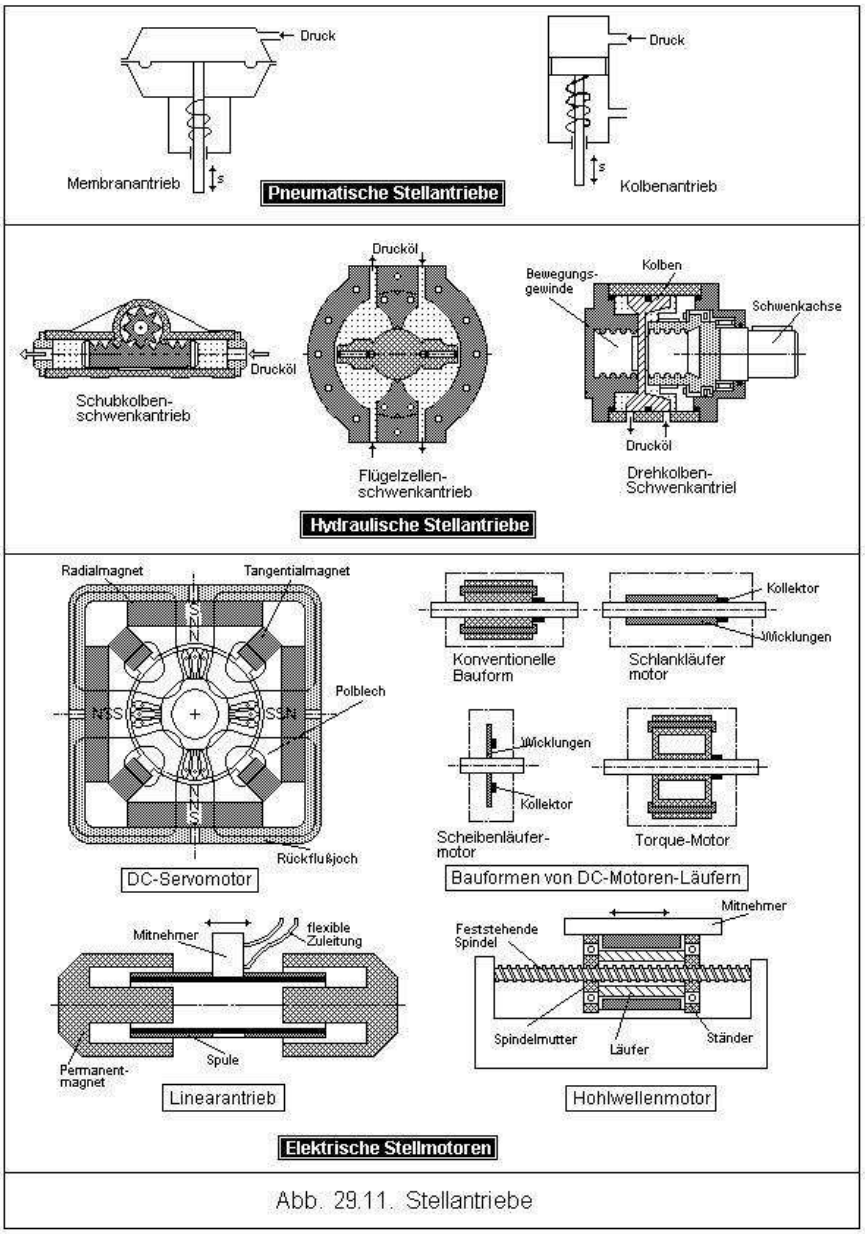


Abb. 29.11. Stellantriebe

29.3.7. Stellglieder

Stellglieder sind Funktionseinheiten, die eine unmittelbaren EinFluss auf die Steuerung von Prozessgrößen (Stoffströme, Energieströme, Positionierung des Arbeitsorgans u. a.) nehmen. Im Prinzip stellen sie veränderliche Widerstände in den Stoff- und Energieströmen dar.

Wichtige *Stellglieder für Stoffströme* sind Ventile, Drosseln und Schieber. Ventile beeinflussen Richtung, Durchflussmenge und Druck fließfähiger Medien (Wasser, Öl, Druckluft). Es werden danach Wege-, Sperr-, Drossel- und Druckventile unterschieden. Sie können mechanisch, pneumatisch oder elektromagnetisch betrieben werden. Stellklappen verändern den Stoffstrom durch eine veränderlich im Rohrquerschnitt angebrachte Scheibe. Durch die Form der Klappe kann die Strömungsführung und die aufzuwendende Stellkraft beeinflusst werden.

Energieströme können durch Stelltransformatoren, Stellwiderstände und Relais gesteuert werden. Transformatoren und Widerstände werden überwiegend durch elektromotorische Stellantriebe betätigt. Relais und elektronische Stellglieder brauchen keinen Stellantrieb (Abb. 29.12.).

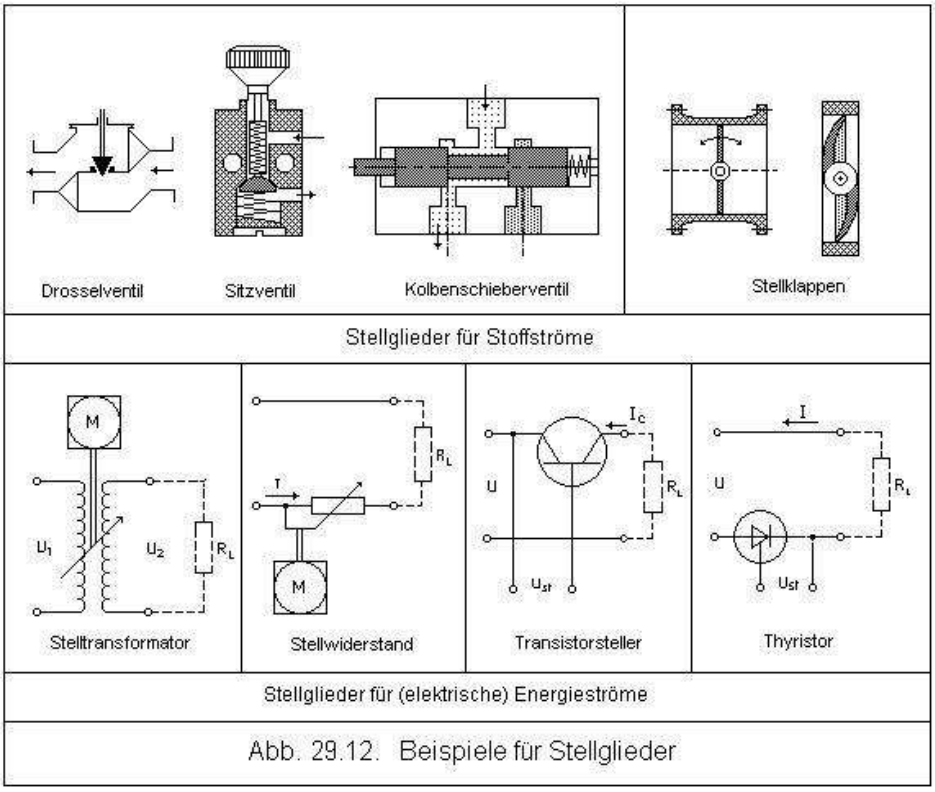


Abb. 29.12. Beispiele für Stellglieder

29.4. Funktionssysteme der Informationsverarbeitung

29.4.1. Automatisierungssysteme

Als Automatisierungssysteme bezeichnen wir hier informationsverarbeitende Systeme, die im Zusammenwirken mit stoffbearbeitenden und energieändernden Systemen deren technologischen Prozessablauf steuern. Sie greifen über den Informationsfluss steuernd (und z. T. optimierend) in den Stoff- und Energiefluss dieser Systeme ein und bestimmen ihn entsprechend vorgegebenen Parametern. Unter allgemeintechnischem Aspekt sind sie als Steuerungsteil der automatisierten Bearbeitungssysteme (bzw. als Steuerungsorgan oder als Optimierungsorgan) zu verstehen, weil der durch sie realisierte Informationsfluss als Hilfsfluss auf den Fluss des stofflichen oder energetischen Arbeitsgegenstandes wirkt.

Diese Automatisierungssysteme können aber auch als selbständige Funktionssysteme analysiert werden. Das ermöglicht eine detaillierte Betrachtung ihrer technischen Funktionen und der sie realisierenden Teilsysteme (s. Kap. 10.1.). Beispiele für solche Automatisierungssysteme, die sowohl als Funktionsorgane wie als Funktionssysteme betrachtet werden können, sind Messwerke, Meßwandler, Verstärker, Stellglieder, Regler und Systemwandler für Signalträger verschiedener Energieformen.

29.4.2. Informationsverarbeitungssysteme

Informationsverarbeitungssysteme, die als selbständige Funktionssysteme ausgelegt sind, sind ausnahmslos auf elektronischer Basis konzipiert. Sie dienen vor allem als Kommunikationssysteme sowohl in der Wirtschaft wie im Individualbereich. Die wichtigsten Typen solcher Systeme sind:

- Mikrofon, Lautsprecher
- Plattenspieler, Tonbandgeräte, Compact-Disc-Spieler (CD-Geräte),
- Rundfunk- und Fernsehgeräte
- Rundfunksender, Fernsehsender
- Telefon, Fernschreiber, Faxgeräte
- Rechner / Computer

Mikrofone und Lautsprecher sind allgemeintechnisch Informationsumformungssysteme (elektro-akustische Wandler). Sie transferieren durch Schallenergie getragene Informationen in elektrische Signale und umgekehrt.

Bei den *Mikrofonen* unterscheidet man nach dem angewandten Wirkprinzip Kohle-, Kondensator-, elektrodynamische und piezoelektrische Mikrofone (Abb. 29.13.). Das elektrodynamische (Tauchspul-) Mikrofon nutzt das Induktionsprinzip. Die Umwandlung der Schallwellen erfolgt über eine auf einer schwingenden Membran befestigten Spule, die im Magnetfeld eines Dauermagneten eine Spannung erzeugt. Beim Kohlemikrofon ändert die Membranschwingung den elektrischen Widerstand des Kohlegrießelements und steuert so den hindurchfließenden Strom. Beim Kondensatormikrofon bilden die Metallmembran und die Gegenelektrode einen Kondensator, dessen Kapazität durch den Druck der auftreffenden Schallwellen verändert wird. Im piezoelektrischen Kristallmikrofon werden die durch den Schalldruck ausgelösten Membranschwingungen durch den Piezokristall in elektrische Spannungen umgewandelt.

Lautsprecher wandeln niederfrequente elektrische Wechselspannungen in Schallwellen um. Sie stellen im Prinzip die Umkehrung der Mikrofone dar. Man unterscheidet elektromagnetische, elektrodynamische und elektrostatische Lautsprecher. Bei dem verbreiteten elektrodynamischen Lautsprecher befindet sich im ringförmigen Luftspalt eines Dauermagneten eine elastisch aufgehängte Schwingspule. Die vom durchfließenden Tonfrequenzstrom ausgelösten Schwingungen überträgt sie auf eine Membran. Elektrostatische Lautsprecher nutzen das Kondensatorprinzip zur Wandlung der modulierten elektrischen Schwingungen in Schallschwingungen. Das Arbeitsorgan wird von einer elektrisch leitenden Membran gebildet, die durch ein Dielektrikum von der feststehenden durchlöcherten Gegenelektrode getrennt ist. Fließt durch sie die modulierte Gleichspannung, so schwingt sie im Rhythmus der Tonfrequenz.

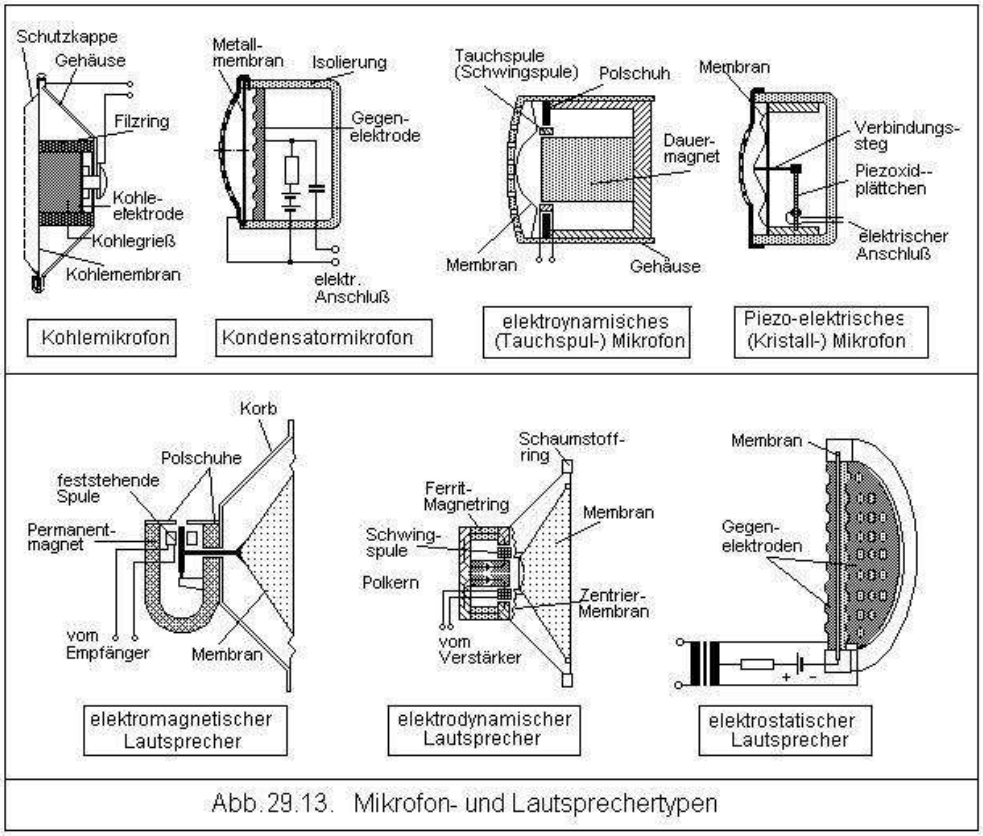


Abb. 29.13. Mikrofon- und Lautsprechertypen

Plattenspieler sind elektroakustische Geräte zur Wiedergabe von auf Schallplatten gespeicherter Musik und Sprache. Der auf einem Plattenteller angeordnete Tonträger wird über ein Laufwerk (Elektromotor mit Getriebe) in eine konstante Drehung versetzt. Über einen mit einem Abtastsystem ausgestatteten schwenkbaren Tonarm, dessen Abtastspitze (Saphir oder Diamant) in der spiralförmigen Schallplattenrille geführt wird, werden die durch die Rillenauslenkungen hervorgerufenen Schwingungen in elektrische Wechselspannungen umgewandelt, anschließend verstärkt und über einen Lautsprecher als hörbarer Schall abgestrahlt (Abb. 29.14.).

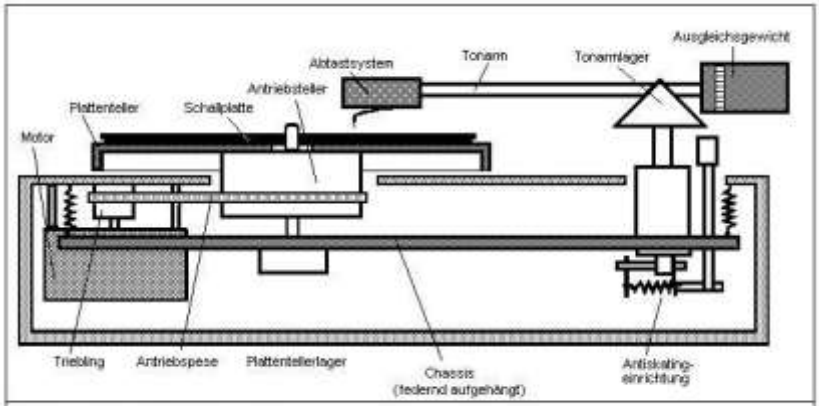
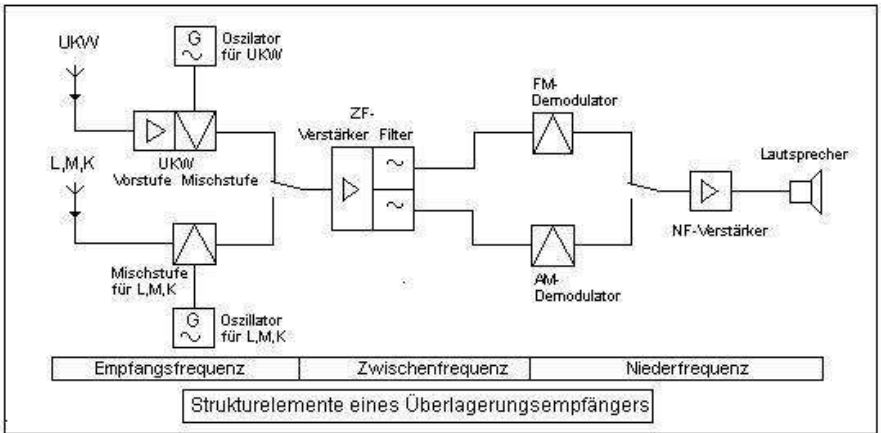


Abb. 29.14 Plattenspielgerät

Rundfunkgeräte empfangen über eine Antenne modulierte hochfrequente Schwingungen und machen sie über Lautsprecher hörbar (d.h. sie sind im Prinzip elektro-akustische Signalwandler). Sie sind heute als Überlagerungsempfänger (Superheterodynempfänger) aufgebaut. In ihnen wird die Empfangsfrequenz zunächst verstärkt und mit einer in einem Oszillator erzeugten Hilfsfrequenz „gemischt" (Amplitudenmodulation). Die so entstandene Zwischenfrequenz wird weiter verstärkt, demoduliert und im Lautsprecher als Schallsignal abgestrahlt (Abb.29.15.).



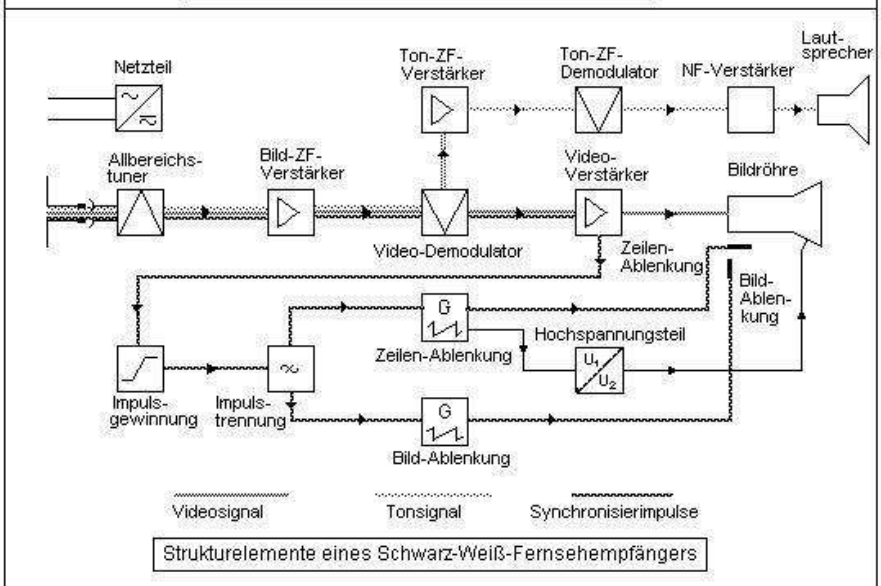


Abb. 29.15. Strukturelemente von Rundfunk- und Fernsehempfänger

Fernsehempfänger sind ebenfalls als Überlagerungsempfänger aufgebaut. Schwarz-Weiß-Fernseher besitzen einen Tonteil, einen Bildteil und einen Ablenkteil. Farbfernseher verfügen zusätzlich über einen Farbteil. Eingangs sorgt ein Tuner für die Abstimmung auf den gewünschten Sender. Ein Netzteil (AnO) liefert die nötigen Betriebsspannungen für die elektronischen Funktionseinheiten. Die über die Antenne ankommenden Bild-, Ton- und Synchronsignale werden nach einer Vorverstärkung in die Zwischenfrequenz übergeführt und demoduliert. Bild-, Ton- und Synchronsignale werden danach getrennt weiterverarbeitet. Das Tonsignal erzeugt im Lautsprecher die Tonwiedergabe. Das Videosignal übernimmt die Helligkeitssteuerung der Bildröhre. Das Synchronsignal steuert die Zeilen und Bildwechselablenkung. Beim Farbfernseher übernimmt ein Decoder die Rückgewinnung der drei Farbkomponentensignale zur Aussteuerung der Farbfernsehröhre (Abb.29.15.).

29.5. Organstruktur

Die vergleichende theoretische Verallgemeinerung einer ausreichenden Zahl von Organstrukturuntersuchungen informationsverarbeitender Systeme steht noch aus. Die folgenden Aussagen können deshalb nur erste Anhaltspunkte geben.

Zunächst zeigt die Organstruktur informationsverarbeitender Systeme eine Reihe gravierender Besonderheiten gegenüber den anderen Klassen technischer Systeme auf. Sie resultierenden vor allem daraus, dass

- der Informationsfluss als Fluss des Arbeitsgegenstandes an dynamische energetische Träger (elektrischer Strom, Druckluft, Hydraulikflüssigkeit) gebunden ist,
- die elektronischen Informationssysteme im allgemeinen aus hochintegrierten und miniaturisierten Funktionseinheiten aufgebaut sind und
- das Arbeitsorgan vielfach sehr komplex aufgebaut und multivalent wirksam ist.

29.5.1. Arbeitsorgan

Aufgabe des Arbeitsorgans informationsverarbeitender Systeme ist die gezielte Veränderung von Signalen. Das betrifft im Einzelnen die Veränderung des Signalträgers, der Signalstruktur, des Informationsinhalts und die Veränderung des Ortes der Information bzw. ihre Speicherung. Wie im Zusammenhang mit den technologischen Bearbeitungsverfahren dargestellt (s. Allgemeine Technologie Bd.1, Kap. 7), erfolgen diese Veränderungen immer über die Einwirkung auf die materiellen (stofflichen oder energetischen) Informationsträger. Das bedeutet, dass die Grundwirkform des Arbeitsorgans vor allem durch die Trägerart bestimmt wird und dass für die verschiedenen Trägerarten (elektrisch, pneumatisch, hydraulisch, mechanisch usw.) jeweils charakteristische Grundwirkformen existieren (Abb.29.16.).

Die informationellen Arbeitsorgane sind in der Mehrzahl der Fälle sehr komplex strukturierte Gebilde, durch die die jeweiligen Teilvorgänge eines technologischen Grundverfahrens zeitlich parallel oder seriell realisiert werden.

Das Arbeitsorgan kann aus einem System mehrerer zusammenwirkender Funktionselemente bestehen, insbesondere wird das Arbeitsorgan in elektronischen Systemen vielfach aus einer Vielzahl parallel oder seriell wirkender Elementarzellen gebildet (z.B. elektronische Informationsspeicher, Dekodierer).

Für Arbeitsorgane informationsverarbeitender Systeme gilt in besonderem Maße das Relativitätsprinzip, nach dem je nach der gewählten Betrachtungsebene das zu analysierende System sowohl als selbständiges Funktionssystem, als Arbeitsorgan oder auch als Element eines Arbeitsorgans erfasst werden kann.

Arbeitsorgane mit komplexer Struktur sind häufig multivalent, d.h. sie können verschiedenartige technologische Grundvorgänge durchführen. Bei den elektronischen Mikroprozessoren erreicht die Multivalenz ihre offensichtlichste Ausprägung.

Typische Gruppen von Arbeitsorganen sind Messwerke, Messwandler, Verstärker und Stellglieder.

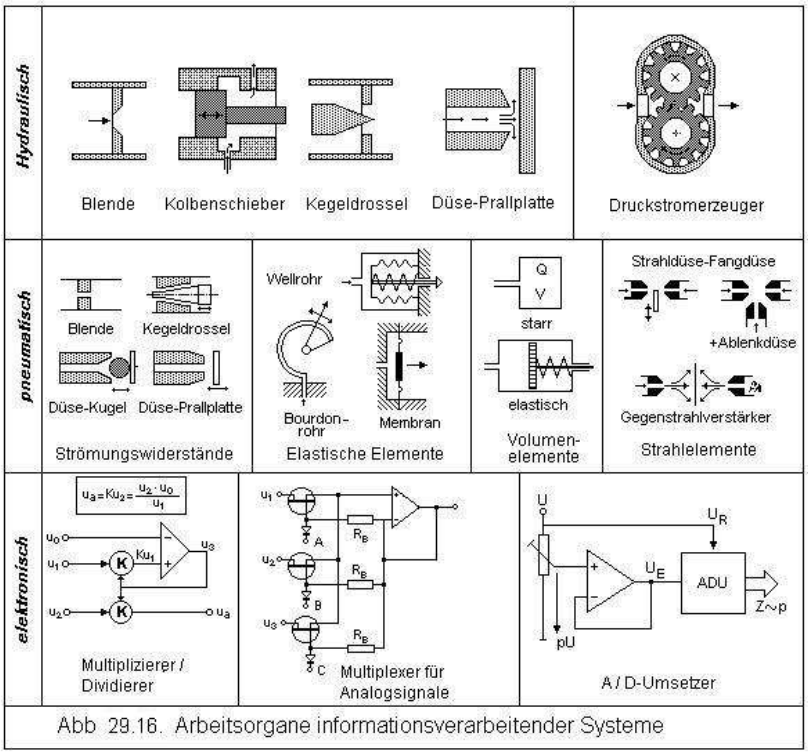


Abb 29.16. Arbeitsorgane informationsverarbeitender Systeme

29.5.2.. Charakteristik der anderen Funktionsorgane

Gesonderte *Antriebsorgane* für die Bereitstellung der Operationsenergie treten nur in pneumatischen und hydraulischen Systemen in Form von Gebläsen, Kompressoren oder Hydraulikpumpen auf.

Das *Übertragungsorgan* wird durch Leitungen realisiert, die die Fortleitung der in der Übertragungsform befindlichen Signalträger ermöglichen. Das sind in elektrischen und elektronischen Systemen Kabelleitungen oder Leitungsbahnen gedruckter Schaltungen, in pneumatischen und hydraulischen Systemen Rohrleitungen.

Das *Stützorgan* wird durch Gehäuse, Gestelle und Platinen gebildet, die die übrigen Teilsysteme aufnehmen.

29.5.3. Allgemeines Organstrukturmodell

(Abb. 29.17.).

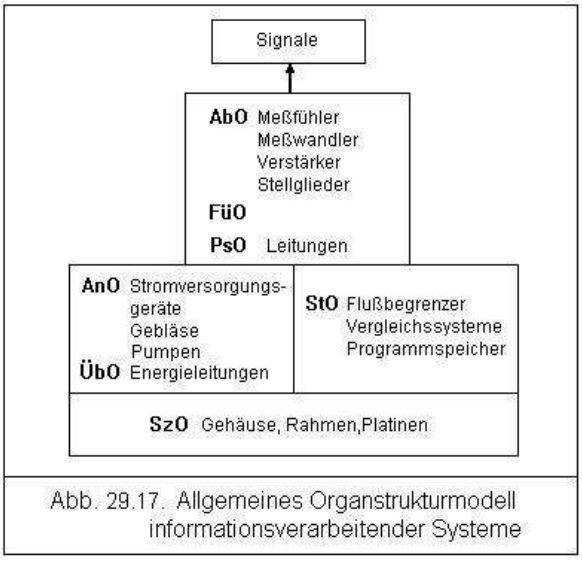


Abb. 29.17. Allgemeines Organstrukturmodell informationsverarbeitender Systeme

29.6. Ausgewählte Beispiele

29.6.1. Hydraulische Steuerung mit Doppelkolbenverstärker

Hydraulische Steuerungen werden verbreitet in Werkzeugmaschinen, Krananlagen, Baumaschinen und landwirtschaftlichen Maschinen (z.B. für Spanneinrichtungen, Ladevorrichtungen, Vorschubeinheiten) eingesetzt. Sie können mit geringen Verstellkräften große Ausgangskräfte erzeugen, sind platzsparend, lassen großen Steuergeschwindigkeiten und hohe Positioniergenauigkeit zu. Hydraulische Steuerungen besitzen als charakteristische Teilsysteme Verstärker, die eine schwache Eingangssignalleistung in eine größere Ausgangssignalleistung so weit zu verstärken, dass sie in den nachfolgenden informationsverarbeitenden Systemen oder als Ansteuerenergie für Stelleinrichtungen weiterverarbeitet werden können.

Das im Folgenden zu analysierende hydraulischen Steuerungssystem mit Doppelkolbenverstärker (Abb.29.18.) wird in Systemen mit hydraulischer Operationsenergie zur Signalverstärkung eingesetzt. Er ist dort Teil des Steuerungsorgans, weil er zusätzliche Energie als Trägerenergie für den Signalfluss zuführt. Betrachten wir ihn als selbständiges Funktionssystem, so ist er allgemeintechnisch als informationsumformendes System zur Trägerleistungsveränderung einzuordnen.

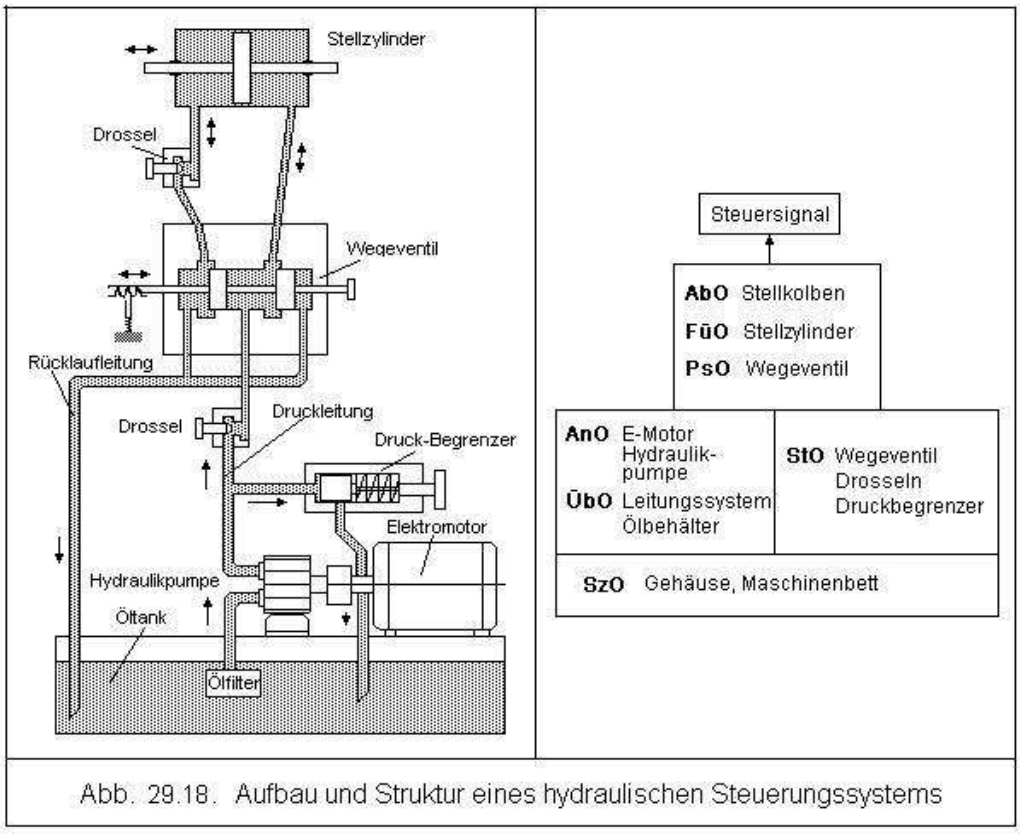


Abb. 29.18. Aufbau und Struktur eines hydraulischen Steuerungssystems

Das *Arbeitsorgan* wird von dem Steuerkolben gebildet. Er realisiert die Steuerungsfunktion durch das verstärkte Steuersignal. Der Kolben wird durch den Steuerzylinder geführt (FüO).

Die Operationsenergie wird durch eine elektromotorisch angetriebene Hydraulikpumpe bereitgestellt (AnO). Sie saugt das Öl aus dem Tank und drückt es in die Hydraulikleitungen (ÜbO) und gelangt schließlich wieder in den Behälter zurück.

Als Elemente des *Steuerungsorgans* sind das Wegeventil, die Drosselventile (Stromventile) und das Druckbegrenzungsventil einzuordnen.

29.6.2. Personalcomputer

Personalcomputer sind hierarchisch strukturierte Informationsverarbeitungssysteme. Sie bestehen aus einem System von Einzelgeräten, die integrativ zusammenwirkenden und eine gerätetechnische Einheit bilden.

Ihre wesentlichen Teilsysteme sind:

- die zentrale Recheneinheit (CPU)
- Speichereinheiten, und zwar Lese-Schreib-Speicher mit wahlfreiem Zugriff (RAM) und Programmspeicher (Nur-Lese-Speicher ROM)
- Eingabe- und Ausgabeeinheiten für digitale Signale ((parallele und serielle E-/A-IC)
- Quarzgenerator als Taktgeber zur Synchronisation der Zeitabläufe
- Gefäßsysteme und Stromversorgung.

Die in einem Gehäuse zusammengefasste **Zentraleinheit** stellt das Herzstück jedes Computers dar. Auf einer *Hauptplatine* (motherboard) befinden sich die wichtigsten elektronischen Komponenten des Computers: der Mikroprozessor, der Arbeitsspeicher und der Cache-Speicher, der Systembus, der Taktgeber, die Echtzeituhr und sog. Erweiterungskarten (Interfacekarten), mit denen der Computer mit den Peripheriegeräten kommuniziert (Abb. 29.19.). Darüber hinaus befinden sich auf der Hauptplatine eine Reihe von Steckplätzen für Erweiterungskarten, die zusätzliche Funktionen erlauben (Speichererweiterungen, Videokarte, Graphikkarte, Soundkarte) und den Anschluss von Zusatzgeräten über Schnittstellen (CD-ROM-Laufwerke, Magnetbänder, Scanner, Faxkarten, Modems) ermöglichen.

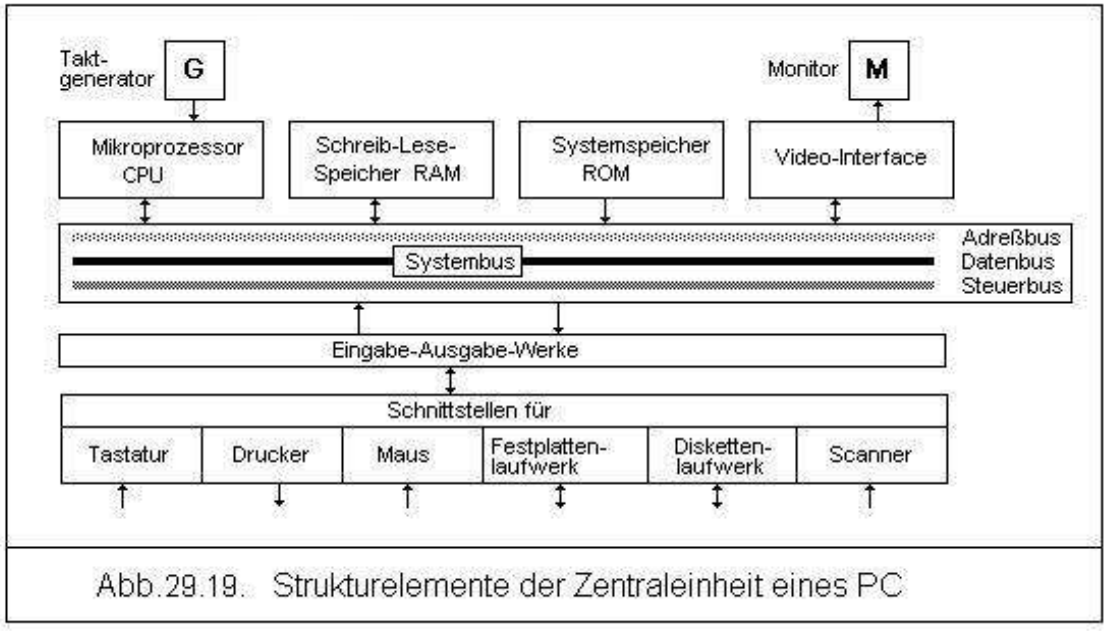


Abb.29.19. Strukturelemente der Zentraleinheit eines PC

Die bestimmende Funktionseinheit ist der *Mikroprozessor* (Central Processing Unit, CPU). Er verarbeitet die Daten in Form elektronischer Impulse. Er besteht aus mehreren Millionen Transistorenschaltungen. Er kann 64 Datenbits parallel verarbeiten. In neueren PCs unterstützen Coprozessoren die Bildschirmdarstellung, die Tastatureingabe und den Sound.

Der Mikroprozessor ist in sich strukturiert (Abb. 29.20.). Die einzelnen Einheiten übernehmen jeweils bestimmte Teilfunktionen. Er ist über den Bus, das sind die Schaltkreise der Hauptplatine, mit dem Arbeitsspeicher verbunden. Am Datenein- und -ausgang empfängt ein BIU (bus interface unit) Daten und Programmanweisungen vom Arbeitsspeicher und verteilt sie. Ein Weg (der Datenbus) führt zu einem 8 Kbyte großen Daten-Cache, in dem die Daten bis auf Abruf zwischengelagert werden können. Ein zweiter Weg (der Steuerbus) führt zu einem Code-Cache, in dem Programmanweisungen für den Prozessor gespeichert werden. Die Verzweigungs-Kommandoeinheit (branch preditor unit) stellt fest, welche der beiden ALUs die Anweisungen schneller verarbeiten kann. Der Puffer zum vorzeitigen Abrufen von Instruktionen erhält aus der Verzweigungskommandoeinheit einen Code, der von der Dekodierungseinheit in ALU-verständliche Anweisungen übersetzt wird. Die Gleitkommaeinheit tritt in Aktion, wenn Zahlen mit Nachkommastellen vorkommen. Die Ausführungseinheit umfaßt die ALUs und die Registriereinheit. In ihr erfolgt die eigentliche Verarbeitung der Daten durch arithmetische und logische Operationen. Über den Daten-Cache und das BIU laufen die verarbeiteten Daten in den Arbeitsspeicher zurück. Die Arbeitsgeschwindigkeit des Prozessors wird wesentlich durch die Taktfrequenz bestimmt. Gegenwärtig (2002) liegt der Standard bei 1,4 GHz.

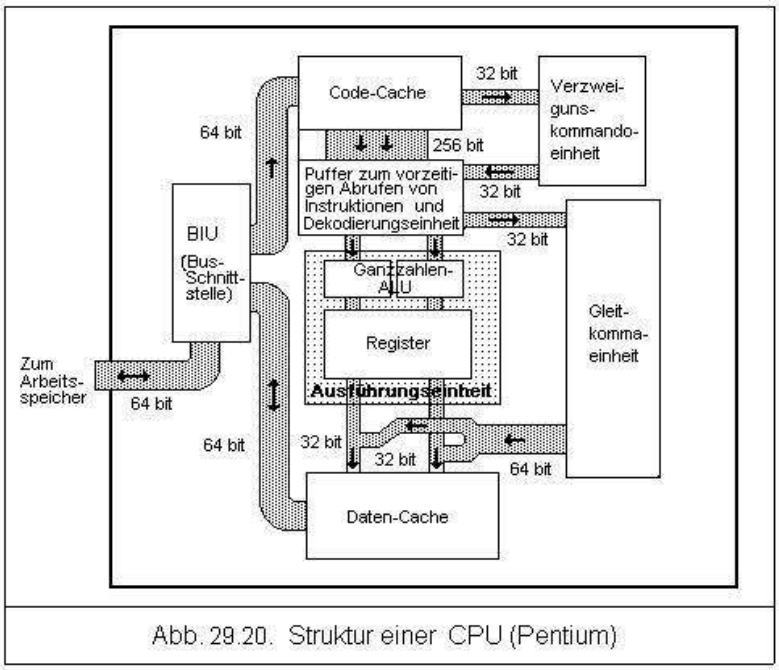


Abb. 29.20. Struktur einer CPU (Pentium)

Die Verbindung der Zentraleinheit zu den Peripheriegeräten erfolgt über das Eingabe-Ausgabe-Werk und die sog. *Schnittstellen* (Interfaces). Sie bestehen aus einer elektronischen Steuereinheit, dem Kontroller, und einer genormten Steckverbindung.

Die Übertragung von Daten, Adressen und Steuersignalen läuft über den *Systembus*. Er besteht aus drei Leitungssystemen, dem Datenbus, dem Adressbus und dem Steuerbus. Der Datenbus leitet die Informationen zu und von den Speicherstellen, der Steuerbus übermittelt die Steuersignale und der Adressbus realisiert die Verbindungen zu den Speicherplätzen und den Schnittstellen. Der Bus wird von einem speziellen Schaltkreis, dem Buskontroller, überwacht.

Die *Stromversorgung* besteht im Wesentlichen aus einem Transformator, der Gleichspannungen von 3 und 12 Volt für die Versorgung der Hauptplatine und der Diskettenlaufwerke liefert.

Bei den **Speichereinheiten** unterscheidet man in Schreib-Lese-Speicher (RAM) und Festwertspeicher (ROM). Schreib-Lese-Speicher ermöglichen, die Daten und Programme über eine Adresse beliebig oft einzuschreiben und wieder auszulesen. Festwertspeicher enthalten Daten und Programme, auf die wahlfrei zugegriffen, die aber nicht mehr verändert werden können. Neben magnetischen Speichermedien kommen zunehmend magneto-optische und CD-ROM-Laufwerke zum Einsatz

Die verbreitetsten Formen von Speichereinheiten sind Diskettenlaufwerke (Floppy-Disk-Speicher), Festplattenspeicher (CD-ROM-Laufwerke) und Bandsicherungslaufwerke (Abb.29.21.). *Diskettenlaufwerke* bestehen aus einem Schreib-Lese-Kopf, der von einem Schlitten geführt und einem Schrittmotor bewegt wird. Die Diskette enthält eine mit Eisenoxyd beschichtete Polyesterfolie als Datenträger, der in eine mit Vlies ausgekleidete Kunststoffhülle eingeschlossen ist. Sie wird in einen Schacht eingeführt und auf der Hauptantriebsspindel (etwa 600 U/min) fixiert. Über das Zugriffsfenster in der Diskettenhülle erfolgt das Ein- und Auslesen der Daten.

Festplattenlaufwerke sind Festplattenspeicher mit hohen Speicherkapazitäten (bis zu vielen Gbyte) und schneller Zugriffszeit. Sie bestehen aus einer Platine, die die ankommenden Signale empfängt und über den Festplatten-Controler und eine Steuerlogik in Steuerbefehle für die Schreib-Lese-Köpfe und den Antrieb der Speicherplatten transformiert. Die Datenträger sind mit magnetischem Material beschichtete Aluminiumplatten (bis zu 8), die auf einer von einem Elektromotor angetriebenen Welle mit mehreren tausend U / min rotieren. Das eigentliche Arbeitsorgan, das System der Schreib-Lese-Köpfe, schwebt über der Oberfläche der sich drehenden Platten und wird von einer Steuereinheit mit außerordentlich hoher Präzision in die gewünschten Positionen gebracht. Die Speichereinheit ist zum Schutz vor Staubteilchen in einem geschlossenen Metallgehäuse untergebracht.

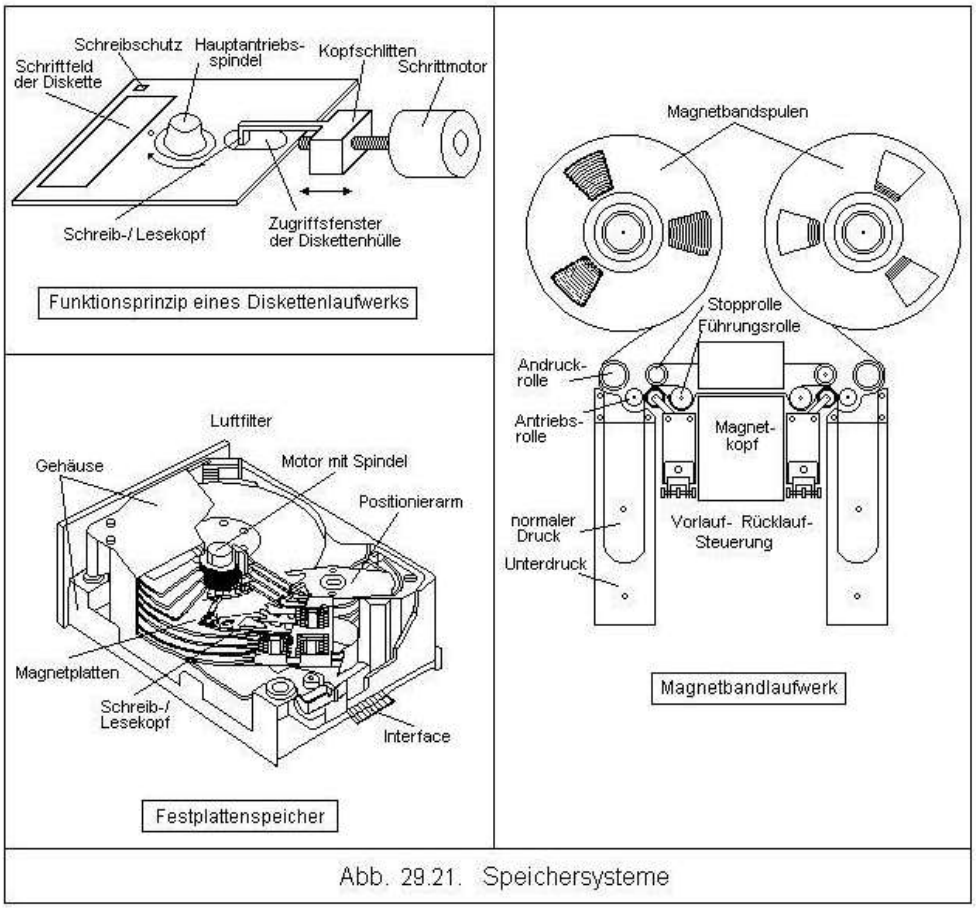


Abb. 29.21. Speichersysteme

Bandsicherungslaufwerke ähneln in Aufbau und Funktion einem Kassettenrecorder. Sie können große Datenmengen speichern, haben aber eine hohe Zugriffszeit. Sie werden deshalb hauptsächlich für die Sicherung kompletter Datensätze von Festplatten eingesetzt.

CD-ROM-Laufwerke sind optische Speicher. Der Informationsträger, die CD-ROM, ist eine Kompakt-Disk, die eine zwischen zwei transparente Plastikschichten eingebettete reflektierende Aluminiumschicht enthält. Die Daten werden von einem Laserstrahl in Form winziger Löcher (Pits) in vorgeprägte Spuren der Schicht eingebrannt. Die Platten können bis zu 600 Mbytes aufnehmen (~150 000 Schreibmaschinenseiten). Die Speicherdauer ist unbegrenzt, und die Platten können leicht ausgetauscht werden. Sie können allerdings nicht gelöscht werden, sind also Nur-Lese-Speicher. Das Laufwerk besteht aus einem Motorantrieb für die Rotation der Scheiben und einem Motor mit einer Führung für die Positionierung des Lasers. Das Einlesen der Informationen erfolgt ebenfalls durch einen fein fokussierten Laserstrahl. Die Disk wird mittels einer motorgetriebenen Schublade ein- und ausgeführt.

Neuerdings wurden auch *magneto-optische Laufwerke* entwickelt, die das Löschen der Informationen und eine Wiederbeschreibung der Disk ermöglichen.

Eingabeeinheiten sind allgemeintechnisch betrachtet Informationstransformationssysteme, deren Funktion in der Dateneingabe in den Computer, deren Umsetzung in eine computerverständliche Sprache und der Steuerung des Betriebssystems und der Anwendungssoftware bestehen. Zu dieser Gruppe technischer Systeme gehören Tastaturen, Cursorsteuergeräte, Graphiktableaus und Scanner (Abb.29.22.).

Die *Tastatur* ist das wichtigste Medium, mit dem der Dialog zwischen Mensch und Computer realisiert wird. Sie hat die Aufgabe, dem Computer Daten (in Form von Text, Zahlen oder Symbolen) zuzuführen und Anweisungen für die Steuerung des Betriebssystems und der Anwendersoftware zu übermitteln. Die Tastatur besteht aus einer Reihe von Tastenblöcken (Alphanumerischer Tastenblock, Funktionstastenblock, Cursorblock mit Pfeiltasten, Zehnertastatur). Unter den Tasten befindet sich eine Platine mit gitterförmig angeordneten Kontakten und Leiterbahnen. Mit Tastendruck wird ein Kontakt geschlossen, der einen Scancode erzeugt und ein bestimmtes Zeichen in einem numerischen Zeichensystem (meist ASCII-Code) aufruft.

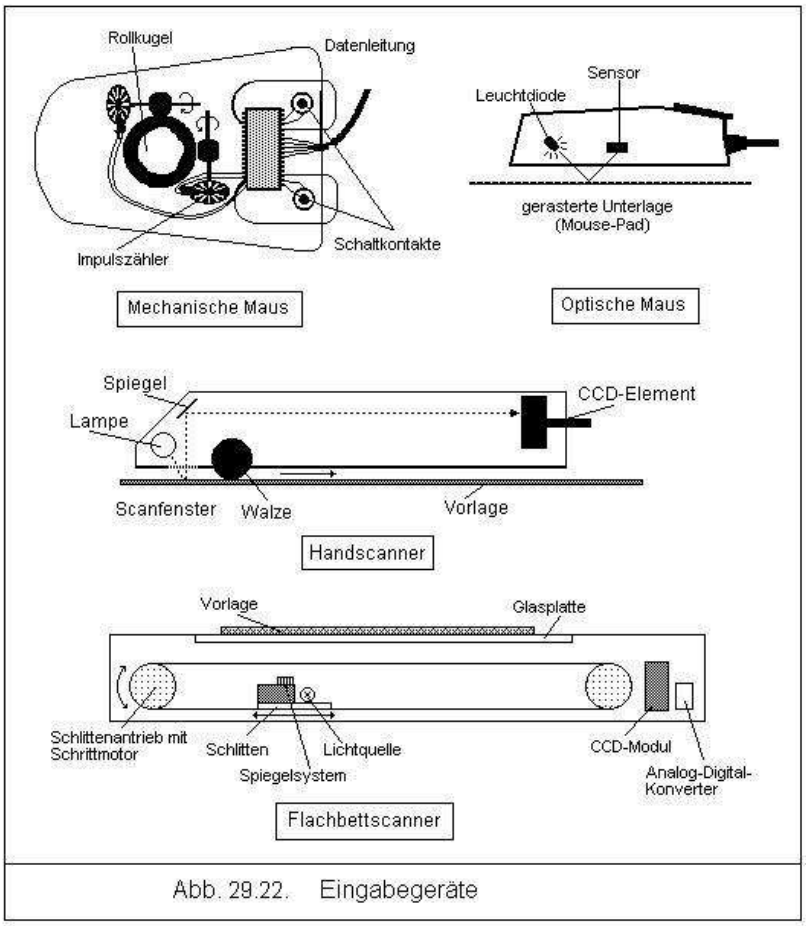


Abb. 29.22. Eingabegeräte

Cursorsteuergeräte (Maus, Trackball, Touchscreen) sind weitere verbreitete Eingabegeräte. Sie ermöglichen, einen Cursor über den Bildschirm zu bewegen und damit eine Bedienfunktion auszulösen.

Eine weitere Form ist der *Joystick*. Die Steuereinheit trägt einen „Steuerknüppel“, der sich frei bewegen lässt und so Steuersignale erzeugt die auf den Cursor (oder bei Computerspielen auf das sich bewegende Objekt) übertragen werden.

Die *Maus* ist über die serielle Schnittstelle mit dem Rechner verbunden. Ihre Funktion besteht in der Projektion eines Zeigers (Cursor) auf den Bildschirm, der durch Verschieben der Maus auf ein bestimmtes Bildschirmelement geführt werden kann. Jede Maus besitzt zwei oder drei Tasten, denen bestimmte Funktionen zugeordnet sind. Mittels eines Tastendruckes (Anklicken, Ziehen) werden an dem gezeigten Element Aktionen ausgelöst (z.B. Markieren von Textstellen, Erzeugen von Bildelementen, Aufrufen kontextbezogener oder objektorientierter Menüs). Im Prinzip ist die Maus je nach dem angewandten Wirkprinzip ein mechano-elektrischer bzw. ein opto-elektrischer Wandler. Bei den mechanischen Mäusen wird das Arbeitsorgan von dem Elementenpaar Rollkugel / Impulszähler gebildet, das die mechanische Bewegung in elektrische Signale umsetzt. Optische Mäuse werden auf einer speziellen Unterlage geführt, die mit einem farbigen Gittermuster bedruckt ist. Es reflektiert das von einer Leuchtdiode ausgehende Licht über ein Spiegelsystem auf einen Sensor, der die optischen Impulse in elektronische Größen umwandelt und in Pfeilbewegungen umsetzt.

Der *Trackball* ist im Prinzip eine auf dem Rücken liegende Maus. Die auf der Oberseite angeordnete Kugel wird vom Nutzer bewegt und steuert so die Cursorbewegung. Die Aktionen werden ebenfalls durch Tasten ausgelöst.

Graphiktableaus sind Eingabeeinheiten, die insbesondere in CAD-Programmen zur Erstellung und zum Bearbeiten von Zeichnungen verwendet werden. Sie bestehen aus einem mit Sensoren ausgestatteten berührungsempfindlichen Tablett, über das mittels eines elektronischen Schreibstifts (Pen) Zeichnungen und handschriftliche Texte in den Computer eingegeben werden können

Scanner tasten Text- und Abbildungsvorlagen mit einer lichtempfindlichen Einheit optisch ab und erzeugen ein Bitmuster-Abbild, das im Computer mittels des sog. Twain-Standards verarbeitet werden kann. Es gibt drei Grundtypen von Scannern: Einzugsscanner, Flachbettscanner und Handscanner. Sie unterscheiden sich

im Wesentlichen in der Relativbewegung zwischen Scankopf und Abbildungsvorlage. Ein Flachbettscanner besteht aus einem Gehäuse mit einem Glasfenster auf der Oberseite, auf der die Vorlage positioniert werden kann. Ein beweglicher Schlitten mit einer Lichtquelle (Leuchtröhre) beleuchtet sie. Das Licht wird durch ein System beweglicher Spiegel reflektiert und auf ein Modul mit CCD-Zellen gelenkt, das die unterschiedliche Strahlungsintensität in elektrische Impulse umwandelt. Ein Analog-Digital-Konverter wandelt sie in digitale Größen um, die vom Scannerprogramm weiterverarbeitet werden können. Der Schlitten wird durch einen Schrittmotor bewegt.

Ausgabegeräte dienen der direkten Kommunikation zwischen Mensch und Computer. Es handelt sich im Wesentlichen um Monitoren und Drucker.

Monitore gehören zur Grundausstattung eines PC. Sie dienen der Sichtkontrolle der laufenden Arbeiten. In Funktion und Aufbau entsprechen sie einem Farbfernsehgerät.

Drucker (Abb.29.23.) stellen Zeichen (alphanumerische Zeichen und Graphiken) durch Punktraster dar. Nach der Art der Rastererzeugung unterscheidet man Nadeldrucker, Tintenstrahldrucker, Thermodrucker und Laserdrucker. Beim Nadeldrucker schlagen 9 bis 48 Nadeln in mehreren Reihen aus einem Schreibkopf gegen ein Farbband und das zu beschreibende Papier. Tintenstrahldrucker schießen Tintentröpfchen aus haarfeinen Kanälen des Druckkopfes thermisch oder piezoelektrisch auf das Papier. Das Prinzip des Laserdruckers besteht darin, dass ein Laserstrahl über einen akusto-optischen Wandler und einen schnell rotierenden Polygonspiegel auf einer rotierenden selenbeschichtete Fotoleiter-Trommel durch entgegengesetzte elektrische Aufladung ein Bitmuster erzeugt. Die positiv geladenen Farbteilchen des Toners haften auf den nicht geladenen Stellen und werden durch Umdruck auf das Papier übertragen.

Plotter sind Zeichenmaschinen. Sie werden zur möglichst exakten Darstellung von technischen Zeichnungen eingesetzt. Im Gegensatz zu den Druckern erzeugen sie keinen Punktraster, sondern durchgehende Linien mit einem elektronisch durch x- und y-Achsen geführten Zeichenstift. Die Bewegungen erfolgen meist mit Schrittmotoren.

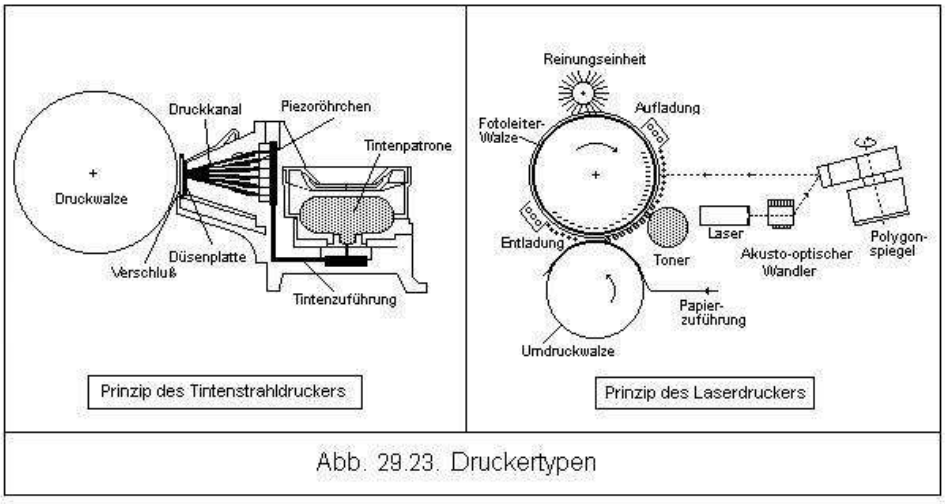


Abb. 29.23. Druckertypen

Für die **Organstrukturanalyse** betrachten wir den Personalcomputer bei aller Komplexität und der Vielfalt seiner Einzelsysteme als Funktionssystem. Alle Teilsysteme einschließlich der Peripheriegeräte werden als Funktionsorgane erfasst, auch wenn sie separat betrachtet ebenfalls als Funktionssysteme analysiert werden können (Abb.29.24.).

Das *Arbeitsorgan* wird durch den Mikroprozessor repräsentiert. Er wandelt die Ausgangsinformationen in die Resultatinformationen um. Es erscheint zweckmäßig auch die Ausgabesysteme, Monitor und Drucker im Bereich des Arbeitsorgans anzuordnen. Die Funktion des *Führungsorgans* übernimmt das Bussystem. Die Positionierung des Arbeitsgegenstandes Information (insbesondere die Dateneingabe, ihre Zwischenspeicherung und ihr Abruf zur Verarbeitung) wird durch die Speichereinheiten, die Laufwerke und den Scanner realisiert. Wir können sie deshalb als Teilsysteme eines Positionierungsorgans betrachten.

Die Energieversorgung von Hauptplatine und Diskettenlaufwerken erfolgt durch ein Tranformator- und Gleichrichtersystem, das Gleichstrom von 5 und 12 V abgibt (AnO). Stromversorgungsanschlüsse (ÜbO) versorgen die Teilsysteme.

Als S*teuerungsorgane* kann man die Tastatur und die Maus ansehen, weil sie Befehle auslösen und Zeichen übermitteln.

Zum *Stützorgan* gehören das Gehäuse und die Platinen als Träger für die elektronischen Schaltungen.

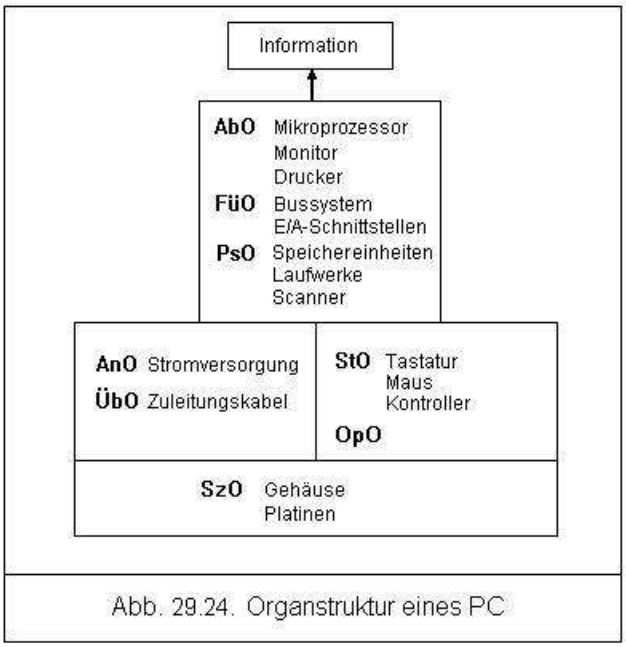


Abb. 29.24. Organstruktur eines PC

Literatur

29.1 G. Früchtel: Zur Technologie der Informationsverarbeitung - Vorgangssystematisierung, Wirkprinzipien und Vorgangsmodellierung aus allgemeintechnologischer Sicht; Dissertation (B), Martin-Luther-Universität Halle- Wittenberg 1988

29.2 R. Worch: Informationsändernde technische Vorgänge aus allgemeintechnischer Sicht; Habilitationsschrift, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1993

29.3 H. Töpfer / W. Kriesel (Herausgeber): Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik; Berlin 1988

29.4 P. Barth / H.-D. Maertens: Grundwissen für Lehrer - Automatisierung; Berlin 1985

29.5 P. Barth / S. Bohnsack: Grundwissen für Lehrer - Mikrorechentechnik -Programmierung; Berlin 1987

29.6 Autorenkollektiv: Automatisierungstechnik in der Fertigung (Grundlagen, Komponenten und Systeme); Haan-Gruiten 1996

29.7 Autorenkollektiv: Nachrichtentechnik (Signalübertragung und Signalverarbeitung); Haan-Gruiten 1991

29.8 Autorenkollektiv: Fachkunde Informationstechnik und Industrieelektronik; Haan-Gruiten 1994

29.9 G. Kuhlmann u. a.: Computerwissen für Einsteiger (Hardware-Voraussetzungen für Standardsoftware); Hamburg 1991

29.10 Dickschus: Rund um den PC (Das Grundwissen über Hard- und Software); Haar bei München 1992

29.11 Autorenkollektiv: Lehrbuch der Automatisierungstechnik; Berlin 1967

29.12 E. Naumann / K. Schuricht: Sensoren - technische Sinnesorgane? Leipzig 1987

30. Transport-, Umschlag- und Lagersysteme

30.1. Allgemeine Charakteristik und Übersicht über die Hauptgruppen

Im Rahmen der „Allgemeinen Technologie“ werden die ortsändernden Vorgänge nach den unterschiedlichen Arten von Arbeitsgegenständen in Stoff-, Energie- und Informationstransportoperationen aufgegliedert. Dementsprechend unterscheiden wir Stofftransportsysteme, Energietransportsysteme und Informationstransportsysteme. Ihre Aufgabe besteht darin, die jeweiligen Transportobjekte (d.h. Transportgüter, Energieträger und Informationsträger) vom Ort ihres Anfalls zum Ort des Bedarfs zu transportieren. Die Transportwege können zwischen zwei Bearbeitungssystemen, zwischen Bearbeitungssystem und Depot, zwischen Produktionsbetrieben oder auch zwischen Erzeuger und Verbraucher liegen.

Die Vielfalt der zu transportierenden Objekte und der Transportbedingungen hat eine große Zahl sehr unterschiedlicher Transportsysteme hervorgebracht. Um einen ersten Überblick über diese Vielfalt zu gewinnen, schlagen wir - gestützt auf die technologische Gliederung der Transportoperationen - als Einteilungskriterien die Art des Transportgutes sowie die auf die Gestaltung der Transportsysteme wesentlichen Einfluss ausübenden Erscheinungsformen der Transportgüter und die Funktion der Systeme im Transportprozess vor. Innerhalb der einzelnen Gruppen müssen dann jeweils spezifische Kriterien die weitere Untergliederung bestimmen. Auf der Basis der genannten Kriterien entsteht folgende Übersicht (Tabelle 30.1.)

Art und Erscheinungsform des Transportgutes	Funktion im Transportprozeß		
	Ortänderung	Eingabe und Entnahme	Speicherung
Stofftransportsysteme			
für Stückgüter	Transportsysteme	Umschlagsysteme	Stückgutlager
für Fließgüter	Transportsysteme	Umschlagsysteme	Fließgutlager
Energietransportsysteme			
für potentielle Energie	Transportsysteme	Umschlagsysteme (analog den Fließgutsystemen)	Fließgutspeicher
für kinetische Energie	Energietransportkanäle	Einspeise- und Entnahmesysteme	Energiespeichersysteme
Informationstransportsysteme			
für Informationen in Speicherform	wie Stückguttransportsysteme	wie Stückgutumschlagsysteme / Aufzeichnungs- und Wiedergabesysteme	Festwertspeicher
für Informationen in Übertragungsform	Informationskanäle	Informationseingabe- und -ausgabesysteme	Arbeitsspeicher

Tabelle 30.1. Übersicht über Transportsysteme

30.2. Stofftransportsysteme (TUL-Systeme)

Der technologischen Untergliederung des Stofftransports in die Unterklassen Transport, Umschlag und Lagerung folgend (s. Kap.11), unterscheiden wir Transporttechnik, Umschlagtechnik und Lagertechnik. Sie sind unter volkswirtschaftlichem Aspekt Stoffbereitstellungsprozesse, durch die die stoffgebundenen Eigenschaften der Transportgüter nicht verändert, sondern ort-zeitgebundene Eigenschaften hervorgebracht werden (z.B. Verfügbarkeit in weiterverarbeitenden Systemen, Verbrauchernähe, Ausgleichen des Marktbedarfs nach Menge und Sortiment).

Für die Gesamtheit der Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse setzt sich in der Fachliteratur zunehmend der Begriff TUL-Prozesse durch. Die TUL-Technik umfasst demnach Transporttechnik, Umschlagtechnik und Lagertechnik. Allgemein wird sie durch folgende Operationen an Arbeitsgegenständen charakterisiert:

- sie nimmt Güter aktiv oder passiv auf
- sie bewegt Güter zwischen Aufgabeort und Zielort
- sie bewahrt Güter unter Sicherung ihrer Eigenschaften auf
- sie gibt Güter aktiv oder passiv ab.

Es wird zwischen außerbetrieblichen und innerbetrieblichen TUL-Systemen unterschieden. Der außerbetriebliche Transport erfolgt über das öffentliche Wegenetz, der innerbetriebliche Transport innerhalb der Knoten dieses Netzes (Produktionsbetriebe, Güterbahnhöfe, Häfen, Warenlager).
TUL-Systeme sind funktionell selbständige Systeme. Bestimmte konstruktiv in ein Bearbeitungssystem (Stoffformungs- bzw. Stoffwandlungssystem) eingebundene Teilsysteme, die Transport-, Umschlag- und Lagerfunktionen ausüben (wie die Beschickungsbunker von Betonwerken, die Förderschnecke eines Extruders, das Förderband einer Masselgießmaschine, der Hängeförderer eines Galvanisierungsbades u. ä.) werden deshalb nicht zur TUL-Technik gerechnet.

30.2.1. Transportsysteme

Der Transportbegriff wird hier im Zusammenhang mit den Transportsystemen im engeren Sinne gebraucht (s. Kap. 11.1.), d.h. er bezieht sich nur auf den Teil der TUL-Prozesse, die der eigentlichen Ortsveränderung dienen.

Die Gütertransportsysteme bestehen grundsätzlich aus dem Antriebssystem und dem Transportbehälter. Beide Teilsysteme können in einem Transportmittel vereinigt sein, wie bei Lastkraftwagen, Motorfrachtschiffen und Frachtflugzeugen, oder als selbständige aber miteinander im Transportprozess gekoppelte Antriebs- und Ladeeinheiten ausgelegt sein, wie bei den Straßenzugmaschinen mit Anhängern, den Güterzügen der Eisenbahn oder den Schubschiff-Verbänden der Binnenschifffahrt.

Die wichtigsten Leistungsparameter der Transportsysteme sind:

- die Nutzmasse bzw. der Nutzraum
- die Fahrgeschwindigkeit und
- die Umschlageignung.

Allgemein werden die Transportsysteme nach der Art des benutzten Transportweges in Straßen-, Eisenbahn- und Wassertransportanlagen unterschieden. Des Weiteren sind (vorwiegend im innerbetrieblichen Transport) stationäre Transportanlagen (wie Bandförder- und Rohrleitungssysteme) im Einsatz.

30.2.1.1. Straßentransportsysteme

Straßentransportsysteme sind Lastkraftwagen und Zugmaschinen mit Anhängern. Lastkraftwagen sind zwei- oder mehrachsige Motorfahrzeuge mit fester oder kippbarer Ladefläche. Bei ihnen sind Antriebssystem und Laderaum in einem Fahrzeug vereinigt. Bei den Zugmaschinen werden Straßenzugmaschinen mit Anhängern und Sattelzugmaschinen mit Sattelaufliegern unterschieden. Im Fernverkehr werden schwere Züge mit bis zu 40 t Nutzlast eingesetzt. Im Kurzstreckenverkehr überwiegen Lastkraftwagen mit bis zu 5 t Nutzlast.

Die *Fahrzeugarten* im Güterkraftverkehr lassen sich nach der Ausgestaltung des Laderaumes bzw. der Ladefläche unterscheiden:

- Pritschenfahrzeuge haben eine feste Ladefläche und sind mit klappbaren Bordwänden, z. T. mit Plangestellen und Planen ausgerüstet.
- Fahrzeuge mit kippbarem Aufbau (Kastenkipper) sind besonders für Schüttguttransporte geeignet. Die Kippvorrichtung kann die Ladeeinheit nach hinten, nach zwei oder drei Seiten kippen. Sie wird über Öldrucksystem oder Zahnstangengewinde mit Motorkraft betätigt.
- Fahrzeuge mit Kofferaufbau werden für die Beförderung von Lebensmitteln, hochwertigen Industriegütern, Möbeln, Textilien usw. eingesetzt.
- Tankfahrzeuge (für den Transport flüssiger und staubförmiger Güter)
- Aufliegerzüge bestehen aus Zugmaschine und Anhängerfahrzeugen. Die Zugmaschinen sind zwei- oder mehrachsige Motorfahrzeuge meist ohne zusätzliche Ladefläche. Sie werden in Verbindung mit verschiedenen Anhängerfahrzeugen eingesetzt. Sie dienen vor allem für den Containertransport. Der Vorteil der Aufliegerzüge gegenüber normalen Anhängerfahrzeugen besteht in kürzeren Zuglängen, größerer Wende- und Manövrierfähigkeit, größerer Nutzmasse und universeller Einsatzmöglichkeit der Zugmaschine bei Verwendung unterschiedlicher Aufliegerfahrzeuge.
- Tieflader (für Schwerguttransporte). Die Anhängerfahrzeuge besitzen eine Vielzahl von Achsen und können bis zu 250 t Nutzlast aufnehmen. (Abb.30.1.)

Die *Grundstruktur der Straßentransportsysteme* wird durch den Laderaum (bzw. die Ladefläche), das Tragwerk, das Fahrwerk und das Triebwerk gebildet. Der Laderaum ist das eigentliche Arbeitsorgan. Er nimmt die zu transportierenden Güter auf. Seine Ausgestaltung entscheidet wesentlich über die Einsatzmöglichkeiten des Güterfahrzeugs. Zum Arbeitsorgan muss allerdings auch das Fahrwerk gerechnet werden, denn erst durch das Zusammenwirken von Laderaum und Fahrwerk kann der Transportvorgang realisiert werden. Das Triebwerk repräsentiert Antriebs- und Übertragungsorgan. Es besteht aus dem Motor und den Teilsystemen für die Kraftübertragung auf das Fahrwerk. Die Motorleistung hängt von der Fahrzeuggröße und der Gesamtmasse des Transportsystems ab. Das Steuerungsorgan umfasst alle Teilsysteme, die der Lenkung des Fahrzeugs und der Motorsteuerung und -überwachung dienen. Das Tragwerk ist das Stützorgan des Systems. Es wird durch den Rahmen gebildet, der im Allgemeinen aus stabilen Längsträgern besteht, die durch Quer- und Diagonalverstrebungen fest verbunden sind. Es verbindet die anderen Baueinheiten des Güterfahrzeugs zu einem Ganzen, nimmt alle statischen und dynamischen Kräfte auf und überträgt sie auf die Achsen und Räder.

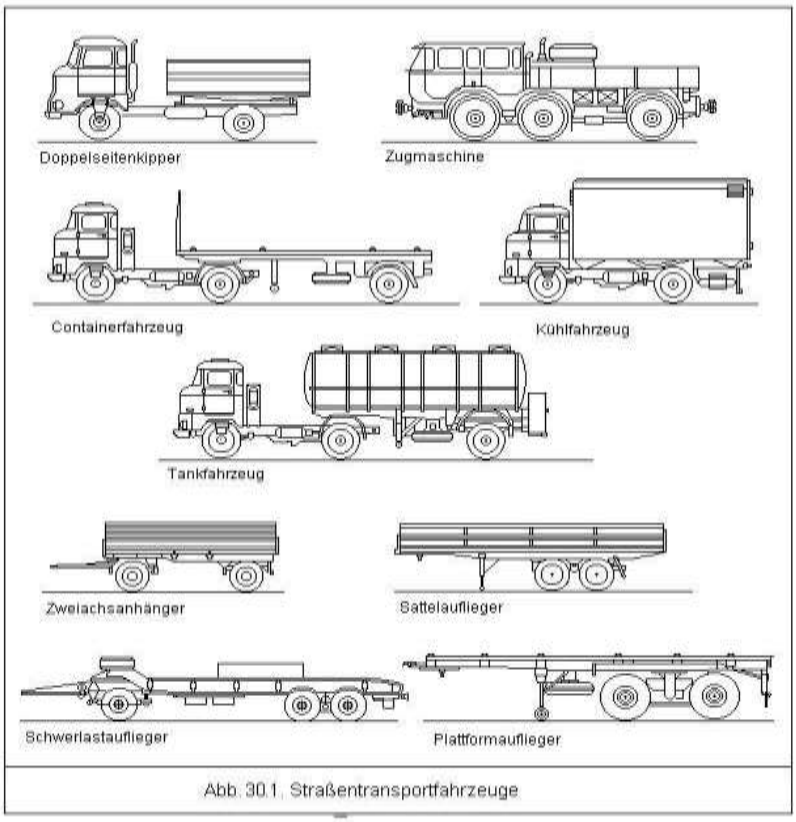


Abb. 30.1. Straßentransportfahrzeuge

30.2.1.2. Eisenbahntransportsysteme

Bei den Eisenbahntransportsystemen sind im Wesentlichen 2 Gruppen von Transportmitteln zu unterscheiden: die Triebfahrzeuge und die Güterwagen.

Als *Triebfahrzeuge* werden Diesellokomotiven und Elektrolokomotiven eingesetzt. Diesellokomotiven sind mit einem oder zwei Viertaktdieselmotoren ausgerüstet, die bis zu 300 kW Leistung erreichen können. Die Kraft wird durch ein Getriebe (mechanisch, hydraulisch oder elektrisch) auf das Treibrad übertragen. Bei den dieselelektrischen Lokomotiven ist der Dieselmotor mit einem Generator gekoppelt, der den Strom für die Fahrmotoren der Treibachsen liefert. Elektrolokomotiven entnehmen die Energie über Stromabnehmer der Fahrleitung. Jede Achse wird über ein Getriebe durch einen elastisch aufgehängten Fahrmotor angetrieben. Gegenüber Diesellokomotiven besitzen elektrische Triebfahrzeuge eine Reihe von Vorteilen: sie erreichen höhere Wirkungsgrade, haben eine geringere Masse, erreichen hohe Laufleistungen und zeichnen sich durch ein hohes Anzugsvermögen aus. Hervorgehoben werden muss auch ihre größere Umweltfreundlichkeit. Nachteilig sind ihre Bindung an Fahrleitungswege und höhere Investitionskosten des Gesamtsystems (Abb. 30.2a).

Die *Strukturelemente der Triebfahrzeuge* sind das Fahrgestell, zu dem der Rahmen (als Stützorgan) und das Laufwerk (mit den in zwei oder mehreren Drehgestellen zusammengefassten Radsätzen, Achslagern, Bremsen und Tragfedern als Arbeitsorgan) und der Lokomotivkasten. Letzterer nimmt den Maschinenraum (mit

Motor und Getriebesystem als Antriebs- und Übertragungsorgan) und den Führerstand (mit allen für die Leistungssteuerung und den Fahrbetrieb nötigen Steuerungssystemen als Steuerungsorgan) auf.

Die *Güterwagen* dienen der Aufnahme der zu transportierenden Güter. Es werden 4 Typen unterschieden:

Gedeckte Güterwagen. Sie werden für den Transport witterungsempfindlicher Güter eingesetzt. Sie haben einen kastenförmigen Aufbau mit Überdachung. Für ihre Be- und Entladung sind an den Seitenwänden Schiebetüren angeordnet. Dazu kommen vor allem Flurfördermittel und Gabelstapler zum Einsatz. Für temperaturempfindliche Güter sind Kühlwagen im Einsatz.

Offene Güterwagen. In ihnen werden witterungsunempfindliche Stückgüter und Schüttgüter transportiert. Sie haben Seiten- und Stirnwände. Die Be- und Entladung kann durch Kräne, bei Wagen mit Seitentüren auch durch Flurförderer erfolgen.

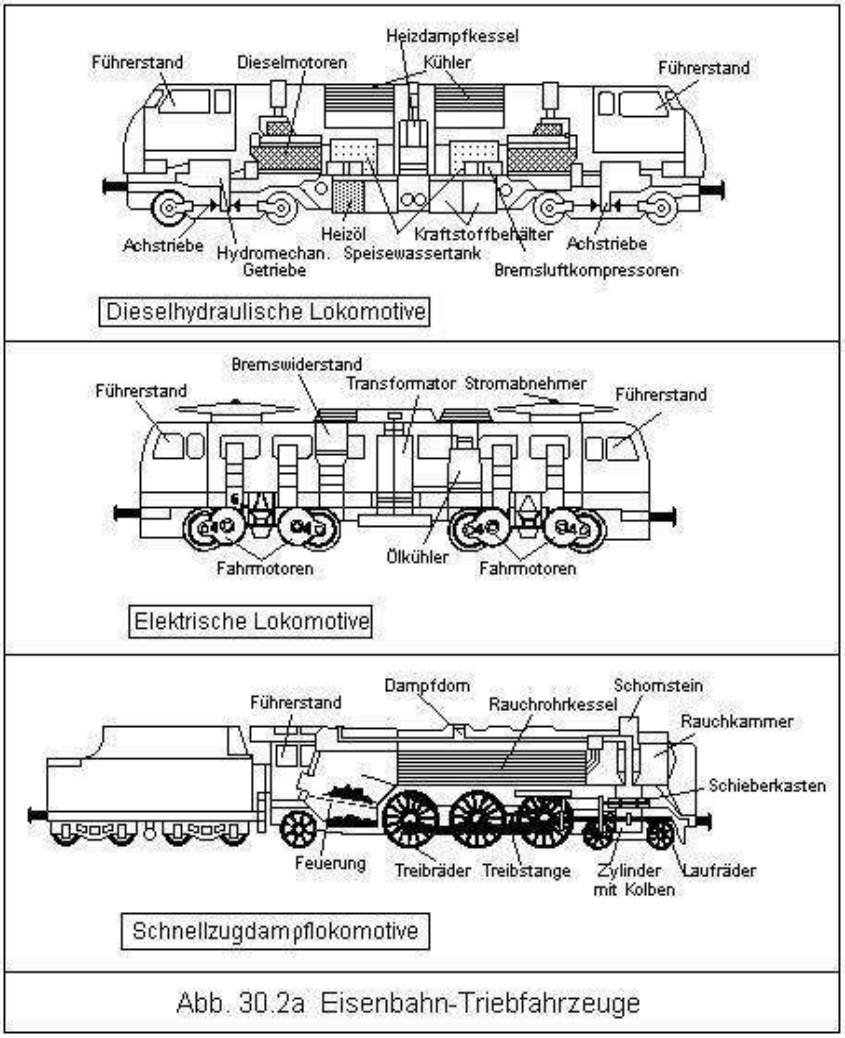


Abb. 30.2a Eisenbahn-Triebfahrzeuge

Flachwagen haben keine oder nur sehr niedrige Bordwände mit Rungen. Sie werden bevorzugt für den Transport größerer Ladeeinheiten und hoher Einzelmasse genutzt (z.B. Großcontainer, Stahlkonstruktionen).

Behälterwagen. Sie werden speziell für staubförmige (Zement, Baukalk), flüssige (Erdöl, Benzin, Heizöl, flüssige Chemikalien) und gasförmige (Ammoniak, Propan) Güter benötigt. (Abb.30.2b.)

Die Hauptbaugruppen der Güterwagen sind das Laufwerk, der Rahmen und die Aufbauten. Das Laufwerk wird von den Radsätzen mit Achsen, Bremsen und zugehörigen Tragfedern gebildet. Es bildet gemeinsam mit den Aufbauten das Arbeitsorgan. Der Rahmen fungiert als Stützorgan und verbindet das Laufwerk und die Aufbauten. Er nimmt auch die Zugeinrichtungen (Kupplungen für die Wagenverbindungen) und die Stoßeinrichtungen zur Abfederung der Stoßkräfte zwischen den Wagen auf. Sie sind dem Übertragungsorgan zuzuordnen. Die Aufbauten bestimmen die Transportmöglichkeiten für bestimmte Güter.

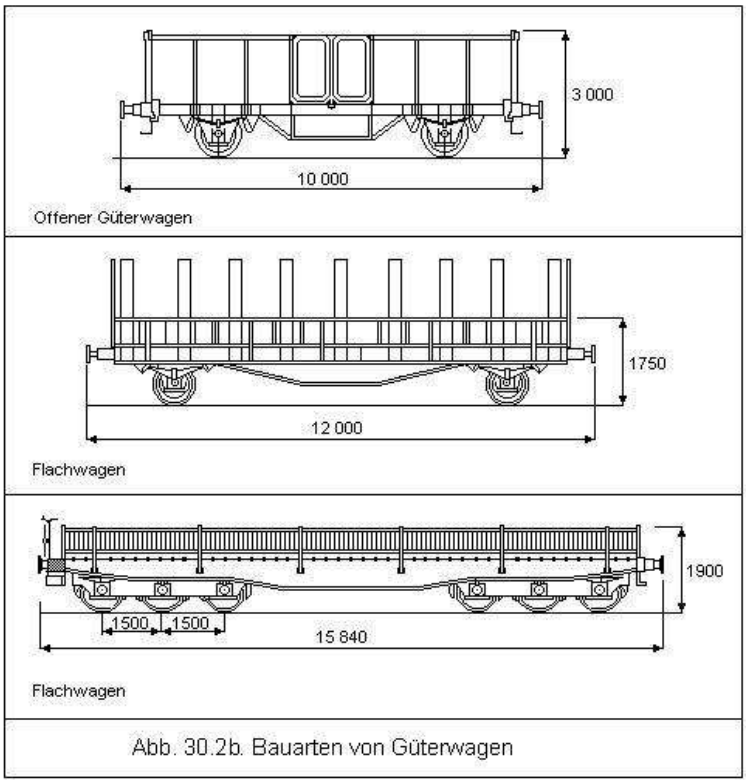


Abb. 30.2b. Bauarten von Güterwagen

30.2.1.3. Wassertransportsysteme

Wassertransportsysteme sind Binnenschiffe und Seeschiffe. Sie dienen dem Transport großer Mengen von Schüttgütern (z.B. Kohle, Erze, Düngemittel, Baustoffe, Getreide, Futtermittel) und von Containern mit Industriegütern über größere Entfernungen.

Frachtschiffe sind im Prinzip schwimmfähige Hohlkörper, deren charakteristische Form durch die Bodenbeplattung, die seitlichen Bordwände, durch Vorder- und Hintersteven, die Oberdecksbeplattung und die Aufbauten bestimmt wird. Im Innenraum werden sie vertikal durch Querschotten und horizontal durch Decks untergliedert. Die Bodenbeplattung ist meist als Doppelboden ausgebildet und nimmt Ballastwasser-, Brauch- und Trinkwasser- sowie Treibstoffzellen auf. Der Kiel ist der unterste starke Längsverband des Schiffes. An ihn schließen sich die anderen Bauelemente des Schiffsrumpfes an. In der Verlängerung des Kiels befinden sich Vorder- und Hintersteven. Der Hintersteven ist Tragelement für das Ruder und Lagerelement für die Schraubenwelle. Die Bordwände bilden die äußere druckfeste Hülle des Schiffes. Durch Längs- und Querträger erhält die Außenhaut die nötige Steifigkeit. Der Schiffsrumpf wird durch Schotte in wasserdichte Abteilungen untergliedert, die die Schwimmfähigkeit eines lecken Schiffs gewährleisten sollen. Die Aufbauten sind die oberhalb des Decks liegende gedeckten Teile des Schiffsrumpfes. Zur Ausrüstung der Frachtschiffe gehören Lademasten als Träger der beweglichen Ladebäume.

Die Hauptkenngrößen zur Charakterisierung der Frachtschiffgröße sind:

- das Deplacement in t (es gibt die Masse der Wasserverdrängung des Schiffes an, d.h. die Gesamtmasse des Schiffes, seiner Ausrüstung und seiner Ladung)
- die Tragfähigkeit in t
- der Laderauminhalt in m^3
- die Hauptabmessungen (Länge, Breite, Höhe und Tiefgang).

Die wesentlichen *Strukturelemente der Frachtschiffe* sind (Abb.30.3.):

- der Laderaum; er nimmt die Transportgüter auf und ist damit das Arbeitsorgan.
- die Antriebsanlage; sie besteht aus der Maschine (Dieselmotor oder Gasturbinen), der Schraubenwelle und der Schiffsschraube. Funktionell bildet der Motor das Antriebsorgan und die Schraubenwelle das Übertragungsorgan. Die Schiffsschraube muss als vortriebslieferndes System zum Arbeitsorgan gerechnet werden.

- die Ruderanlage; sie sichert die Manövrierfähigkeit des Schiffes und ist Teil des Steuerungsorgans. Man unterscheidet passive Ruder, die nur bei fahrendem Schiff und laufender Antriebsschraube wirken, und aktive Ruder, die die zur Ruderwirkung benötigte Strömung selbst erzeugen.
- die Steuerungssysteme; zu ihnen gehören die Rudermaschine und die Kommandobrücke mit den Steuerungsanlagen für die Maschine und die Ruderanlage. Sie bilden zusammen das Steuerungsorgan. In gewissem Sinn kann auch das Ankergeschirr zum Steuerungsorgan gerechnet werden, weil es das Schiff an einem vorgesehenen Platz festhält und sichert und auch als Manövrierhilfe eingesetzt werden kann.
- die Aufbauten; sie dienen der Unterbringung der Besatzung und zur Unterbringung von Ladungsteilen.

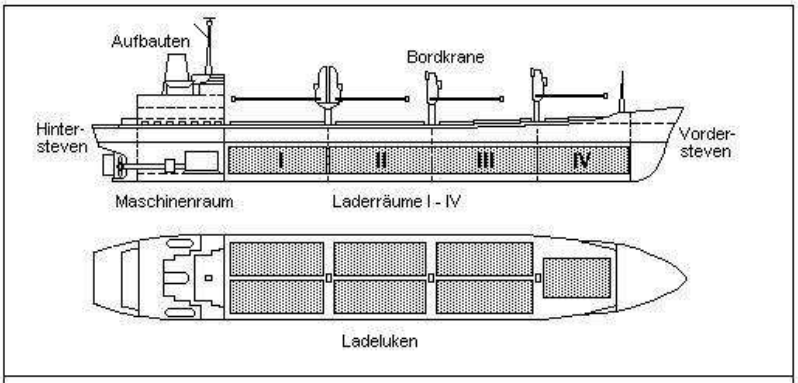


Abb. 30.3. Grundaufbau eines Seefrachtschiffes

Die *Seefrachtschiffe* dienen dem Transport von Gütern über See. Nach der Art der transportierten Güter unterscheidet man Stückgut- und Schüttgutschiffe. Bei den *Stückgutschiffen* haben die Zunahme der Güterströme und der wachsende Anteil bestimmter Güterarten die Entwicklung spezialisierter Frachtschifftypen gefördert. Die traditionellen Stückgutfrachter haben sich in den letzten Jahrzehnten stark gewandelt. Sie sind universelle Schiffe, die für den Transport verschiedener Ladeeinheiten eingesetzt werden. Ihre Ausrüstung wird durch die Unterteilung des Laderaumes in Zwischendecks, große Lukenöffnungen zur Verbesserung der Umschlagmöglichkeiten und bordeigene Hebezeuge (Leichtgut- und Schwergutladegeschirre für Kolli von 3 bis 120 t). Containerschiffe sind spezialisierte Stückgutschiffe, die ausschließlich international genormte Container transportieren. Auch das Oberdeck wird bei diesem Schiffstyp als Containerstellplatz genutzt. Eigene Hebezeuge hat dieser Schiffstyp im Allgemeinen nicht. Der Umschlag der Container erfolgt in speziell eingerichteten Kaianlagen. Bei Roll-on-Roll-off-Schiffen (Ro/Ro-Schiffe) werden die Ladeeinheiten (Fahrzeuge, Container, Paletten, Kisten) durch spezielle Transportsysteme (Gabelstapler, Portalhublader, Trailer) an Bord gebracht. Die einzelnen Zwischendecks sind durch Rampen oder Fahrstühle miteinander verbunden. Besondere Ladegeschirre braucht dieser Schiffstyp nicht. Zu seinen Vorzügen gehört die Unabhängigkeit von landseitigen Umschlageinrichtungen. Kühlschiffe sind für den Transport verderblicher Lebensmittel (Fleisch, Fisch, Südfrüchte) im Einsatz. Ihr Laderaum wird durch mehrere Zwischendecks in gut isolierte Kühlkammern unterteilt. Die Laderaumtemperaturen sind je nach den Anforderungen der Kühlgüter regelbar.

Schüttgutschiffe transportieren unverpackte Massengüter (Erze, Kohle, Düngemittel, Getreide). Ihr Laderaum besitzt keine Zwischendecks und ist oben und unten zur Bordwand hin abgeschrägt, um die Trimmarbeiten gering zu halten. Eigene Umschlaganlagen sind bei diesem Schiffstyp meist nicht vorhanden.

Tanker werden in ihrem Aufbau durch die Eigenschaften flüssiger Güter bestimmt. Der Laderaum ist durch Quer- und Längsschotte in einzelne Ladetanks unterteilt. Supertanker sind bis zu 400 000 t Ladefähigkeit gebaut worden. Die Be- und Entladung der Tanker erfolgt mittels Rohrleitungs- und Pumpensystemen. Neben den Erdöltankern sind spezialisierte Chemikalientanker- und Flüssiggastanker im Einsatz.

Binnenfrachtschiffe befördern Güter auf den Binnenwasserstraßen und (bestimmte Typen) in Küstengewässern. Ihr Grundaufbau entspricht dem der Seeschiffe. Auf Grund der geringen Beanspruchungen auf den Binnengewässern sind sie wesentlich leichter gebaut. Ihre Größe wird durch die Fahrwasserverhältnisse (Wassertiefe, Schleusenabmessungen) begrenzt. Ebenso werden an ihre Manövrierfähigkeit wegen der engen und kurvenreichen Wasserstraßen hohe Anforderungen gestellt.

Der Binnenschifftransport bietet gegenüber anderen Verkehrsträgern wesentliche Vorteile. Er bewältigt große Lasteinheiten, die Leermasse der Schiffe ist im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern sehr gering (15 - 20%, im Vergleich zu Eisenbahnwaggons 30 - 40% und Lastkraftwagen 50 - 70%), der spezifische Kraftstoffverbrauch von Wasser-, Schienen- und Straßentransport verhält sich wie 1 : 10 : 100 und der Arbeitskräftebedarf ist klein. Nachteilig sind die jahreszeitliche Beeinflussung des Transports durch schwankende Wasserstände und Eisgang und die geringen Transportgeschwindigkeiten.

Man unterscheidet

- Motorgüterschiffe sind für den Transport von Stück- und Schüttgütern eingerichtet. Sie werden durch Dieselmotoren angetrieben. Der Laderaum ist nicht geteilt. Ihre Tragfähigkeit liegt im zentraleuropäischen Raum zwischen 500 und 1500 t.
- Motortankschiffe besitzen Spezialausrüstungen mit Ladetanks für Erdölprodukte und flüssige Chemikalien
- Schubschiffe verfügen über keinen eigenen Laderaum. Ihre hohe Antriebsleistung (bis 300 kW) ermöglicht gute Transportgeschwindigkeiten. Sie bilden mit 2 bis 4 Schubprähmen gut manövrierfähige Schubverbände.
- Schubprähme sind pontonartige, antriebs- und besatzungslose Frachtschiffe. Sie haben einen ungeteilten Laderaum und doppelte Boden- und Seitenbeplattung. Ihre Tragfähigkeit liegt durchschnittlich bei 450 t.

30.2.1.4. Stationäre Transportsysteme.

Zu den stationären Transportsystemen gehören Rohrleitungssysteme (Pipelines) und Bandanlagen.

Rohrleitungen werden dann vorteilhaft eingesetzt, wenn pumpfähige Transportgüter in großen Mengen über längere Zeiträume kontinuierlich zu gleichbleibenden Orten gefördert werden sollen. Das bekannteste Rohrleitungssystem dieser Art sind die Wasserversorgungs- und Abwasserleitungsnetze. Des Weiteren sind Fernleitungen für Erdöl und Erdgas wichtige Transportlinien. Unter bestimmten Bedingungen können auch Schüttgüter (z.B. Kohle und Erze) durch Aufschwemmen in Flüssigkeiten pumpfähig und damit für den Rohrleitungstransport geeignet gemacht werden. Die Rohrleitungen bestehen aus miteinander verschweißten Stahlrohren, die je nach den Durchsatzanforderungen bis zu 1400 mm Durchmesser haben können. Bei den Fernleitungssystemen wird der Gutstrom durch Pumpen und Verdichter bewegt. Die Anzahl der Pumpstationen und ihre Abstände hängen von der erwünschten Strömungsgeschwindigkeit, dem Rohrdurchmesser und der Gesamtlänge des Rohrsystems ab. Die Transportgeschwindigkeit liegt im Allgemeinen zwischen 10 km/h (Erdöl) und 35 km/h (Erdgas).

Rohrleitungssysteme haben den Vorteil, dass sie einen stetigen Transportstrom mit hoher Zuverlässigkeit, geringen Transportverlusten, witterungsunabhängig, ohne aufwendige Umschlagoperationen und mit geringem Arbeitskräfteaufwand realisieren können. Der Investitionsaufwand ist allerdings sehr hoch, und er legt den Transportweg langfristig fest. Störungen am Rohrleitungssystem können den Transport vollständig blockieren. Leckagen bergen die Gefahr von Umweltverschmutzungen. Der Wartungsaufwand für die Anlagen ist relativ hoch.

Bandanlagen werden für den Transport witterungsunempfindlicher Schüttgüter und für relativ kurze Förderstrecken (bis zu 4 km)eingesetzt. Sie sind hauptsächlich in Tagebauen, in Baustoff- und Metallurgiebetrieben sowie in Umschlag- und Lagerbetrieben zu finden. Durch hintereinanderschalten mehrerer Bandanlagen lassen sich auch größere Entfernungen überwinden.

30.2.2. Umschlagsysteme

Umschlagsysteme haben die Aufgabe, Güter von einem Arbeitsmittel auf ein anderes zu übertragen. Sie werden als Arbeitsmittel definiert, die durch aktives Aufnehmen, Bewegen und anschließendes aktives Abgeben von Gütern Umschlagoperationen ausführen. Hauptformen des Güterumschlags sind der Umschlag in Güterumschlagbetrieben (Güterbahnhof, Hafen), die Nahtstellen zwischen Betrieben und außerbetrieblichem Transport (Wareneingangslager, Versandlager) und der Güterumschlag zwischen Bearbeitungsstationen innerhalb des Betriebes

Die Umschlagtechnik ist außerordentlich vielfältig. Diese Vielfalt leitet sich aus den unterschiedlichen Anforderungen ab, die sich aus der Spezifik der Transportgüter, den zahlreichen Formen der Gutaufgabe und -abgabe, aus den sehr differenzierten Förderweglängen sowie der unterschiedlichen Masse der zu transportierenden Güter ergeben.

Die Einteilung der Umschlagtechnik erfolgt im ersten Schritt nach der Kontinuität des Prozessablaufs in Unstetigförderer und Stetigförderer. Die weitere Aufgliederung kann auf der Basis der Wirkprinzipien vorgenommen werden (Abb.30.4.). Wir haben keine Vollständigkeit angestrebt, sondern nur die Hauptgruppen der in der Umschlagpraxis verbreitet anzutreffenden Systeme erfasst.

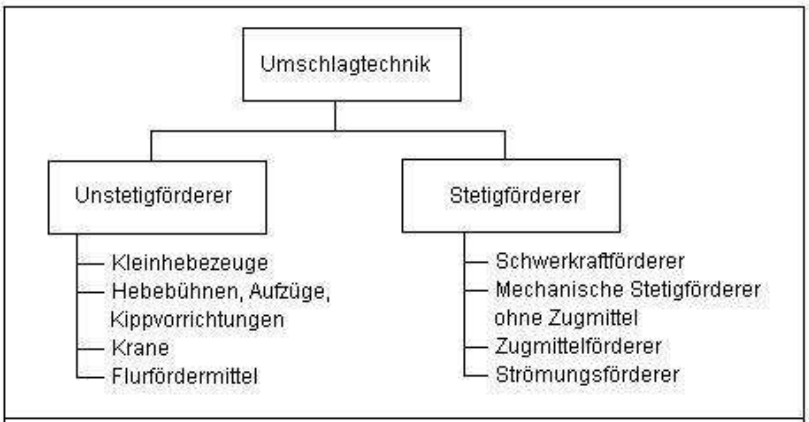


Abb. 30.4. Gliederung der Umschlagtechnik

30.2.2.1. Unstetigförderer

Kleinhebezeuge sind Arbeitsmittel für das gelegentliche Bewegen von Gütern bei Montage-, Bau- und Reparaturarbeiten. Es wird zwischen Handzügen und Elektrozügen unterschieden. Zu den *Handzügen* gehören Flaschenzüge und Schneckenradzüge. Als Tragmittel dienen Faserstoffseile oder Rundgliederketten. Flaschenzüge bestehen aus festen und derselben Anzahl beweglicher Rollen, die in zwei Scheren angeordnet sind. Über die Rollen läuft das Seil, an dem der Lasthaken befestigt ist. Schneckenradzüge haben eine kompakte Bauweise und erhalten durch ein Schneckengetriebe das notwendige Übersetzungsverhältnis der Kraftwirkung. Als Tragmittel dienen Rundgliederketten. Gegen unbeabsichtigtes Senken der Lasten sind Bremsen eingebaut. *Elektrozüge* können als Seil- oder Kettenzüge ausgelegt sein. Seilzüge sind im Prinzip Seilwinden in kompakter Bauweise. Das Stahlseil wird auf eine Seiltrommel aufgespult, die von einem Elektromotor mit zwischengeschaltetem Stirnradgetriebe angetrieben wird. Die Bedienung des Seilzuges erfolgt durch ein frei hängendes Schaltkabel mit Drucktastenschaltgerät. Die Tragfähigkeit liegt zwischen 0,75 bis 5 t bei Hubhöhen bis 10 m. Bei den Elektrokettenzügen treibt ein Elektromotor über ein Stirnradgetriebe und eine Kettennuss eine Rundgliederkette.

Für geringe Hubhöhen und das Bewegen von Gütern mit großer Eigenmasse dienen *Zahnstangenwinden und hydraulische Heber*. Sie können wegen ihrer relativ geringen Eigenmasse am jeweiligen Aktionsort eingesetzt werden. Zahnstangenwinden haben eine Tragfähigkeit von bis zu 25 t bei Hubhöhen von 0,7 m. Am Gehäusekopf nimmt eine Pratze oder eine Auflage die Last auf. Unbeabsichtigtes Senken wird durch Sperrklinke und Sperrrad verhindert. Wesentlich höhere Tragfähigkeit erreichen hydraulische Heber. Sie erzeugen Hubkräfte bis 300 t bei 100 bis 150 mm Hub. Das System besteht aus einem Zylinder mit ausfahrbarem Kolben und einer Hydraulikpumpe. Das von der Pumpe geförderte Hydrauliköl bewirkt das Ausfahren des Kolbens auf die gewünschte Hubhöhe. Ein regelbares Rücklassventil steuert das Senken des Kolbens.

Hebebühnen, Aufzüge und Kippvorrichtungen umfassen eine Gruppe von Unstetigförderern, deren Funktion darin besteht, Güter vertikal oder schräg auf eine bestimmte Höhe zu fördern und in dieser Position zu halten. Allgemein bestehen sie aus einer Bühne, die die Güter aufnimmt, aus Hubeinrichtungen, die nach oben ausgefahren und dort arretiert werden können, sowie aus Antriebs- und Bewegungseinrichtungen. Sie werden für den Güterumschlag und für Montage- und Wartungsarbeiten benötigt.

Zu den *Hebebühnen* zählen Hubtische, Verladebühnen und Arbeitsbühnen (Abb.30.5.). Sie dienen dazu, Verladegüter in günstige Arbeitshöhe zu bringen. Die Arbeitsbühnen werden durch Scherenkonstruktionen,

Spindeln mit Mutter oder Zylinder mit Kolben in die gewünschte Höhe gebracht. Verladebühnen sind gegenüber Hubtischen mobil und haben eine größerer Arbeitsplattform, die auch mit Flurförderern befahren werden können. Ihre Tragfähigkeit liegt zwischen 0,5 und 20 t bei Hubhöhen bis zu 3 m. Der Antrieb erfolgt durch Hydraulikzylinder. Arbeitsbühnen sind ortsveränderliche, mit Arbeitskörben versehene Hubeinrichtungen, mit denen Arbeitskräfte Wartungs-, Montage- und Reparaturarbeiten an hochgelegenen Einrichtungen ausführen können, ohne aufwendige Gerüste aufführen zu müssen (z.B. Lichtmasten, hohe Gebäude). Sie sind relativ leicht gebaut, haben ein Tragvermögen bis etwa 0,5 t und können manuell über Spindelgetriebe oder motorisch über hydraulische Systeme angetrieben werden. Bei Hubhöhen über 5 m sind Arbeitsbühnen mit Teleskophubmasten oder mehrteiligen Gelenkmasten ausrüstet und erreichen dann bis zu 20 m Höhe.

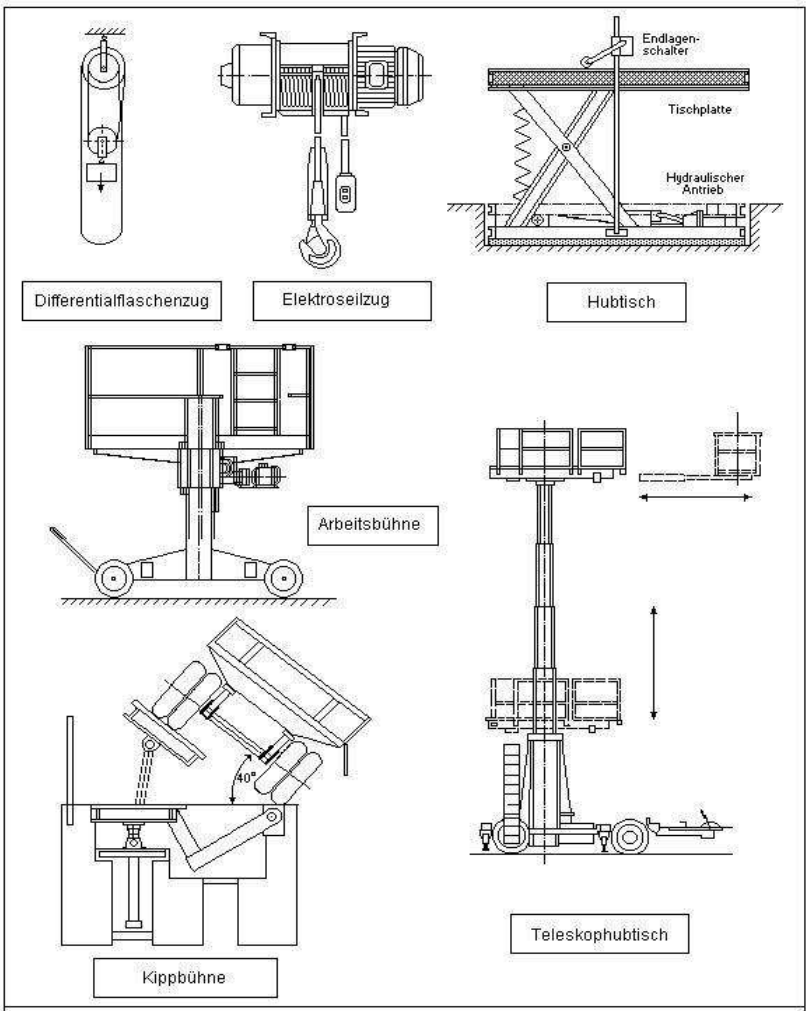


Abb. 30.5. Hebezeuge

Kippbühnen sind Hebevorrichtungen, die durch einseitiges Heben der Bühne die schnelle Entladung von Schüttgütern aus Eisenbahn- und Straßengüterwagen ermöglichen. Die zu entladenden Fahrzeuge werden auf der Kippbühne arretiert, die dann geneigt wird, bis das zu entladende Gut unter dem Einfluss der Schwerkraft zu gleiten beginnt. Kippbühnen können als Stirn- oder Seitenkipper konstruiert sein.

Aufzüge sind stationäre Hebevorrichtungen für den vertikalen Transport von Gütern. Im Unterschied zu den Hebebühnen überwiegt bei ihnen die Förderfunktion gegenüber der Haltefunktion.

Krane bilden die wichtigste Gruppe der Unstetigförderer. Sie sind Hebezeuge, die die Güter in mindestens zwei Richtungen bewegen können, in vertikaler Richtung durch Heben und Senken, in horizontaler Richtung in einem kreisringförmigen (Drehkrane) oder einem rechteckigen (Portalkrane, Brückenkrane) Arbeitsbereich.

Die unterschiedlichen Einsatzbedingungen hinsichtlich der Massen und Abmessungen der Güter, der Anforderungen an die Bewegungsbereiche und der örtlichen Gegebenheiten haben zu einer Vielzahl von Kranbauformen geführt. Die Haupttypen der Krane sind (s. Abb. 30.6.):

- Brückenkrane
- Portalkrane
- Kabelkrane
- Auslegerkrane
- Fahrzeugkrane

Brückenkrane dienen vorwiegend Ladearbeiten in Werkstätten, Lagerhallen sowie zum Be- und Entladen von Eisenbahnwaggons und Lastkraftwagen. Ihre Hauptbaugruppen sind ein brückenartiges Tragwerk, das auf einer hochgelegenen Kranfahrbahn quer zu seiner Längsachse bewegt werden kann. Mit Hilfe des Kranfahrwerks wird die Brückenkonstruktion bewegt. Das Tragwerk trägt Schienen, auf dem das eigentliche Arbeitsorgan, die Laufkatze mit Kranhaken, bewegt werden kann. Die Laufkatze besteht aus Hubwerk und Fahrwerk. Sie ermöglichen die Bewegung der Güter vertikal und rechtwinklig zur Kranfahrbahn.

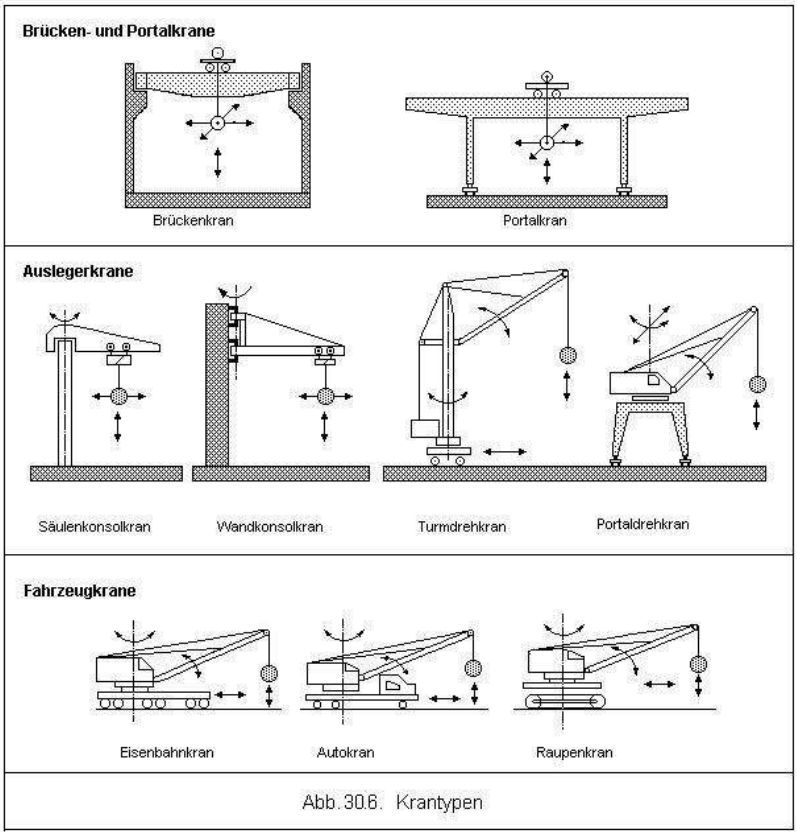


Abb. 30.6. Krantypen

Eine Sonderbauform der Brückenkrane sind die Stapelkrane. Sie stellen im Prinzip eine Kombination von Brückenkran und Gabelstapler dar. An der Laufkatze sind sie mit einer drehbaren Hubsäule ausgerüstet, an der Lastaufnahmevorrichtungen angebracht sind. Sie dienen zum Stapeln von Paletten und Langgut (Rohre, Stabmaterial, Walzprofile) in meist mit Regalen ausgerüsteten Lagerhallen

Portalkrane werden durch eine auf Stützen ruhende Brückenkonstruktion (Portal) charakterisiert, das auf Schienen oder auch auf Luftreifen fährt. Auf dem Portal bewegen sich als Lasthebesysteme Laufkatzen oder Auslegerdrehkrane. Portalkrane haben eine sehr großen Arbeitsraum und werden vor allem für der Schüttgut-, Container- und Stückgutumschlag zwischen Schiffen, Eisenbahnwaggons, Lastkraftwagen und Lagerplätzen eingesetzt. Portalkrane mit sehr großer Stützbreite bezeichnet man als Verladebrücken, solche mit kleiner Stützbreite als Bockkrane.

Kabelkrane bestehen aus zwei festen oder parallel fahrenden Türmen (oder auch Portalen), zwischen denen ein Kabelsystem (als Trag-, Fahr- und Hubseile) gespannt ist. An ihm bewegen sich die Laufkatzen. Fahren erfolgt durch ein Zugseil, Heben und Senken durch ein Hubseil. Der Fahr- und Hubseilantrieb befinden sich im Windenstand eines Turmes. Mit Kabelkranen lassen sich große Spannweiten überbrücken (bis zu 1000 m). Nachteilig sind die durch die Elastizität der Seile bedingten vertikalen Schwingungen bei der Lastauf-

nahme und -abgabe. Einsatzgebiete dieses Krantyps sind Talsperrenbauten, Brückenbauten, weitflächige Lagerplätze und Großschiffswerften.

Fahrzeugkrane sind Auslegerkrane mit einem Unterwagen, der sich auf den üblichen Verkehrswegen (Straße, Schiene, Wasser, Luft) aus eigener Kraft bewegen kann. Zu ihnen gehören die Autokrane, Raupenkrane, Eisenbahnkrane, Schwimmkrane und Kranhubschrauber.

Flurfördermittel sind frei auf dem auf dem Boden (Flur) bewegliche Fördermittel zum Umschlag von Gütern in Lagern, auf Umschlagplätzen und in Fertigungsbetrieben. Es gibt Ausführungen ohne und mit eigenem Antrieb. Es werden unterschieden:

- Flurförderer ohne Hubeinrichtungen
- Flurförderer mit Hubeinrichtungen.

Flurförderer ohne Hubeinrichtungen dienen nur zum Bewegen von Gütern. Sie sind mit einem lenkbaren Fahrwerk in Drei- oder Vierradausführung ausgerüstet und haben Ladepritschen, Wagenkästen oder Kippmulden zur Gutaufnahme. Sie müssen durch gesonderte Mittel be- und entladen werden. Als Antriebe dienen Elektro- oder Dieselantriebe. Flurförderer mit Hubeinrichtungen haben zusätzlich einen Hubmechanismus, durch den sie das Fördergut selbständig aufnehmen und wieder absetzen können (Hubwagen). Bei entsprechender Auslegung des Hubmechanismus können sie das Gut auch stapeln (Gabelstapler).

30.2.2.2. Stetigförderer

Stetigförderer sind Fördermittel, die Schüttgüter oder Stückgüter in einem kontinuierlichen (oder getakteten) Gutstrom auf einem festgelegten Förderweg von der Aufgabestelle zur Abgabestelle bewegen. Allgemein bestehen sie aus einem Tragorgan (das Arbeitsorgan), das das Gut aufnimmt, einem endlos umlaufenden Zugorgan (das Trag- und Treibfunktionen übernimmt) und einem Antriebsorgan (entfällt bei Schwerkraftförderern).

Die Einteilung der Stetigförderer erfolgt auf der Basis der unterschiedlichen technologischen Wirkprinzipien zur Gutbewegung und Gutführung. Sie umfassen Schwerkraftförderer, mechanische Stetigförderer ohne Zugorgan, Zugmittelförderer und Strömungsförderer.

Schwerkraftförderer werden zum Transport von Gütern zwischen höhergelegenen Gutaufgabestellen mit tiefergelegenen Gutabgabestellen eingesetzt. Sie nutzen die Schwerkraft als Antriebsenergie, weshalb ein Antriebsorgan entfällt. Zu ihnen zählen Rutschen Fallrohre und Rollförderer.

Rutschen sind Stückgut- und Schüttgutförderer. Ihr Einsatzgebiet sind Verbindungsstrecken zwischen angetriebenen Fördermitteln, als Beschickungseinrichtungen von Bearbeitungsmaschinen und als Fördermittel für Schüttgutförderung zwischen verschiedenen Ebenen in Lager- und Verladeanlagen, in Silo- und Mühlenbetrieben. Die Förderstrecken können geradlinig, gekrümmt oder schraubenförmig verlaufen (s Abb.30.7.).

Rollförderer dienen ausschließlich der Förderung von Stückgütern mit glatter Auflagefläche. Sie bestehen aus einer Vielzahl auf einer geneigten Bahn (2 bis 4%) hintereinander angeordneter, leicht drehbarer Rollen, die auf einem Traggerüst gelagert sind (s. Abb.30.7.). Der Rollenabstand darf nicht größer als die halbe Länge der Auflagefläche der Fördergutstücke sein. Durch Kurvenstücke, Weichen, Klappstücke und Drehtische lassen sich vielfältige unterschiedliche Förderstrecken realisieren. Rollenförderer werden vor allem als Verkettungseinrichtungen zwischen Bearbeitungssystemen und als Zu- und Abfördersysteme in der Lagerwirtschaft eingesetzt. Werden Rollförderer auf ebenen und leicht ansteigenden Strecken eingesetzt, muss der notwendige Schub über einen zentralen Antrieb erzeugt werden.

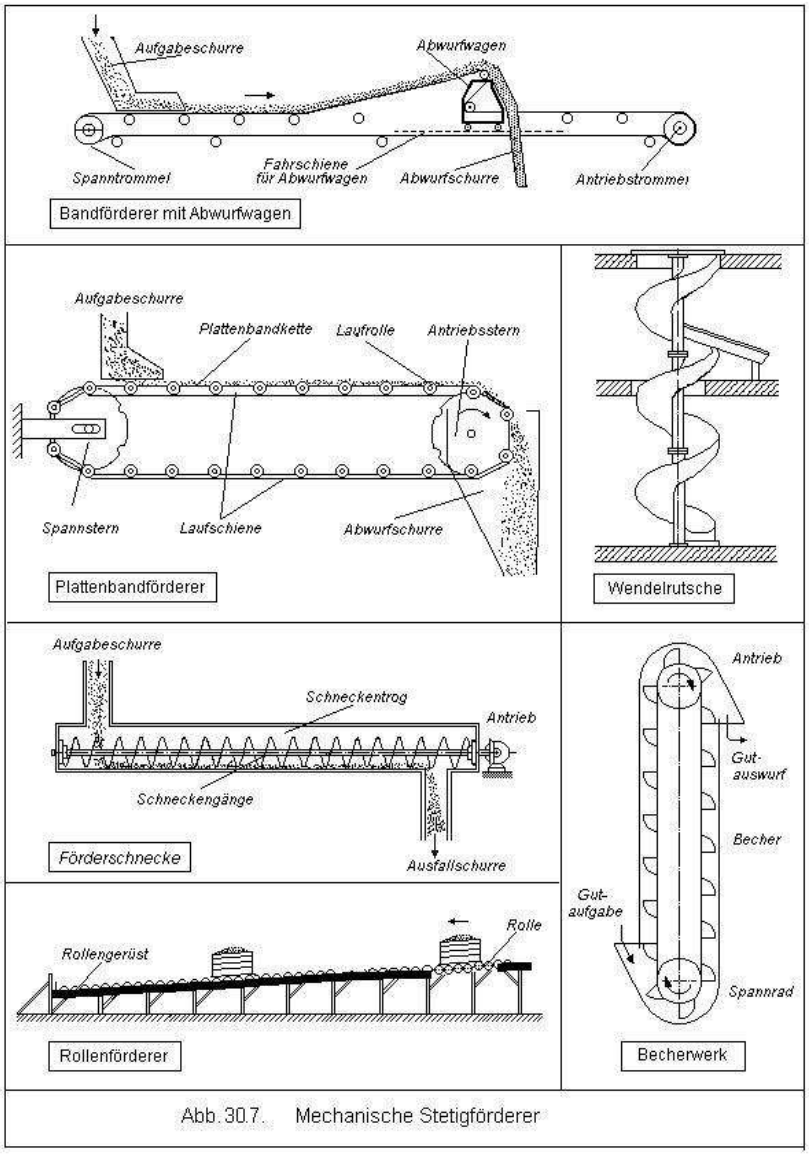


Abb. 30.7. Mechanische Stetigförderer

Mechanische Stetigförderer ohne Zugmittel. Gemeinsam ist allen technischen Systemen dieser Gruppe, dass die Förderung der Güter durch drehende oder schwingende Organe erreicht wird. Zu ihnen gehören Schneckenförderer und Schwingförderer.

Schneckenförderer sind Schüttgutförderer für fließfähige Stoffe wie Sand, Asche, Kohle, Salze, Getreide, Ölsaaten und Mais. Sie fördern horizontal, geneigt oder vertikal. Als Hauptbaugruppen bestehen sie aus einem offenen oder geschlossenen Trog, in dem eine Schnecke umläuft. Das Fördergut kann an beliebigen Stellen über Schurren aufgegeben oder abgezogen werden. Es wird immer nur der Raum bis unterhalb der Schneckenwelle gefüllt. Mit Schneckenförderern sind Förderlängen bis 30 m überbrückbar. Der Durchsatz kann bis zu 800 t/h betragen. Schneckenförderer sind wegen ihres robusten Aufbaus wenig störanfällig, haben allerdings einen relativ hohen Energiebedarf und unterliegen hoher mechanischer Beanspruchung.

Schwingförderer sind ebenfalls für die Förderung von nichtklebenden, fein- bis mittelkörnigen Schüttgütern auf horizontalen oder leicht geneigten Bahnen geeignet. Als Rinne oder Rohr gestaltete und durch Federn abgestützte Tragorgane nehmen das Fördergut auf. Durch Schubkurbel- oder Unwuchtantriebe wird es in ruckartig hin- und hergehende Bewegungen versetzt und das Gut damit vorwärts bewegt. Die Förderlänge kann bis zu 50 m betragen. Einsatzgebiete sind Bergbau- und Hüttenbetriebe sowie die Baustoff- und Chemieindustrie.

Zugmittelförderer sind eine Gruppe von mechanischen Stetigförderern, bei denen die Tragorgane durch endlos umlaufende Ketten und Bänder angetrieben werden. Zu ihnen gehören Bandförderer, Kettenförderer, Kratzförderer und Becherförderer.

Bandförderer sind universell für Schüttgut- und Stückgutförderung einsetzbare Systeme. Sie bestehen aus einem als Trag- und Zugorgan fungierenden endlos umlaufenden und durch Rollen gestütztem Band. Es besteht in Abhängigkeit von den Förderguteigenschaften aus Gummi, plastbeschichtetem Gewebe oder Stahl. Stahlbänder (aus Drahtgeflechten) sind für Schüttguttemperaturen über 80 °C, bei scharfkantigem Material und bei schweren Stückgütern im Einsatz. Weitere Baugruppen sind das Traggerüst mit den Tragrollen sowie Antriebs-, Umlenk- und Ablenktrommeln. Elektroantriebe liefern die Operationsenergie. Gutaufgabe- und Abgabeeinrichtungen in Form von Aufgabeschurren und Fördergutabstreicher oder Abwurfwagen können an beliebigen Stellen des Bandes durch Verschieben eingesetzt werden. Bandförderer sind außerordentlich leistungsfähig. Bei Bandbreiten bis 3 m und Transportgeschwindigkeiten bis zu 8 m/s sind bis zu 3 00 m^3/h Umschlagleistung erreichbar.

Kettenförderer haben einen ähnlichen Aufbau wie Bandförderer. Ihre Hauptgruppen sind das Kettenband mit Platten-, Trag- oder Kastenaufbauten als Trag- und Zugorgan, Antriebsrad, Umlenkrad mit Spanneinrichtung und Stützkonstruktion mit Stützrollen. Mit Kettenförderern können hohe Zugkräfte erzeugt werden. Die Möglichkeit zur Auswechselung einzelner Kettenglieder bei Verschleiß oder Beschädigung machen sie reparaturfreundlich. Die Kettengeschwindigkeit liegt aus kinematischen Gründen niedriger als bei Bandförderern (0,1 bis 0,6 m/s). Der Antrieb muss immer am Bandkopf liegen, weil Kettenbänder nicht geschoben werden dürfen. Die Gutaufgabe und -abgabe erfolgt wie bei Bandförderern. Kastenbänder können allerdings nur über Kopf abgeben. Kettenförderer werden vor allem für den Transport grobstückiger, schwerer und harter Schüttgüter eingesetzt.

Kratzförderer ähneln den Kettenförderern. Das Fördergut befindet sich in einem rinnenförmigen Tragorgan. Die an einer endlosen Kratzerkette angebrachten Schaufeln bilden das Zugorgan. Sie schleifen auf dem Boden der Rinne und nehmen das Fördergut mit. Der untere Strang der Kratzerkette übernimmt die Förderung, während der obere leer zurückläuft. Kratzerförderer werden dort eingesetzt, wo begrenzt förderwillige Güter bewegt werden müssen, wie Stroh, Heu, Holzspäne und Metallspäne.

Becherwerke dienen der vertikalen Förderung von Gütern. Sie haben einen ähnlichen Aufbau wie Ketten- und Kratzerförderer. An einer Kette als Zugorgan hängen in regelmäßigen Abständen Becher, die das Fördergut aufnehmen. Die Ketten laufen oben und unten über Kettensterne. Der Antrieb liegt im Allgemeinen oben. Das ganze Becherwerk ist verkleidet. Becherwerke sind sehr robust und stellen wenige Anforderungen an Wartung und Unterhaltung.

Strömungsförderer nutzen das Wirkprinzip des Potentialausgleichs zur Förderung fließfähiger Stoffe. Sie sind Stetigförderer mit einem geschlossenen Rohrsystem als Arbeitsorgan und einem Gas- oder Flüssigkeitsstrom als Tragmedium. Durch eine Druckdifferenz (Überdruck oder Vakuum) wird das Tragmedium zum Strömen gebracht. Das Transportgut wird in diesem Strom mitgenommen. Nach der Art des Strömungsmittels (Luft, Wasser) unterscheidet man pneumatische und hydraulische Strömungsförderer.

In *pneumatischen Strömungsförderern* werden lose Schüttgüter (Getreide, Mehl, Plastgranulate, Zement) durch einen Luftstrom oder Gase (besonders Erdgas) transportiert. Sie können als Saug- und Druckanlagen ausgeführt sein. Die Druckdifferenz wird durch Pumpen, Gebläse oder Kompressoren erzeugt. Weitere wesentliche Funktionseinheiten pneumatischer Strömungsförderer sind Gutaufnahmevorrichtungen und Gutabscheider (Abb.30.8.).

In großen Umfang wird Erdgas über Rohrleitungssysteme über zum Teil riesige Entfernungen transportiert (bis zu 8 000 km). Die zwischen Westsibirien und Mitteleuropa bestehende Erdgasleitung überbrückt 5 500 km bei einem Leitungsdurchmesser von 1420 mm und einer Transportkapazität von 26 Mrd. m^3. Für den für die Förderung notwendigen Betriebsdruck von 80 bar werden Turbokompressoren eingesetzt, die von Gasturbinen (Leistung 10 bis 30 MW) angetrieben werden. Der Treibgasanteil für die Verdichtung beträgt für eine Förderstrecke von 6 00 km etwa 10% der Gesamtfördermenge. Entlang der Leitung bestehen in bestimmten Entfernungen Verdichterstationen, die den Betriebsdruck aufrechterhalten. Die wirtschaftliche Fertigung und Verlegung großdimensionierter Gashochdruckleitungen erforderte die Entwicklung von Sonderstählen mit hoher Streckgrenze und Festigkeit (Stahl X80), die bei relativ geringer Wandstärke den Betriebsdruck aufnehmen können. Zur Vermeidung von Innenkorrosion und zur Transportleistungserhöhung sind die Rohre mit Epoxidharz ausgekleidet. Erdgasrohrleitungen werden auch auf dem Meeresboden in Wassertiefen bis 600 m und einem Rohrdurchmesser bis zu 1 000 mm verlegt. So existiert eine dreisträngige Leitung (508 mm Durchmesser) zwischen Tunesien und Sizilien.

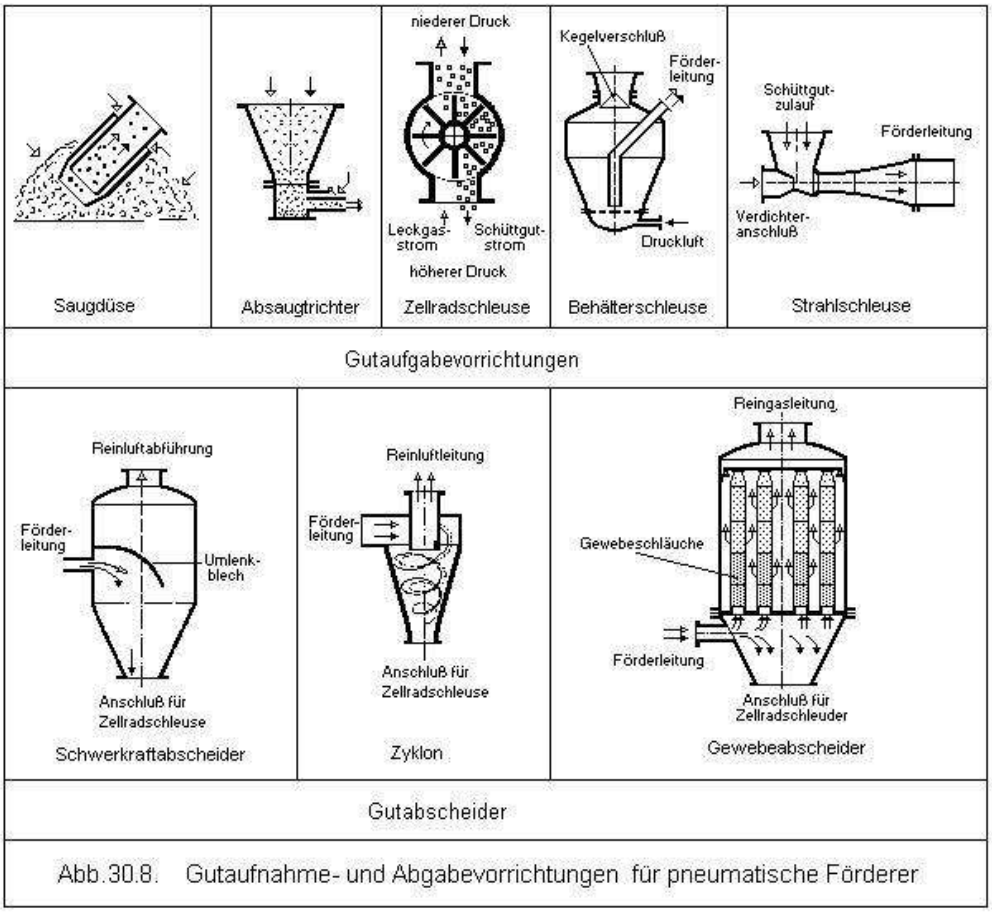


Abb.30.8. Gutaufnahme- und Abgabevorrichtungen für pneumatische Förderer

Sauganlagen bestehen aus einer oder mehreren Saugdüsen bzw. Ansaugtrichtern, der Förderrohrleitung, der Abscheidevorrichtung und der Pumpe. Sie erreichen Förderwege bis zu 400 m und Luftgeschwindigkeiten von 40 m/s bei einem Unterdruck von etwa 0,5 kp/cm^2. Druckanlagen sind etwas komplizierter aufgebaut. Sie überwinden dafür wesentlich größere Förderdistanzen (mehrere Kilometer). Bei ihnen muss der im System bestehende Überdruck (etwa 0,75 kp/cm^2) durch Zellenradschleusen, Behälterschleusen oder Strahlschleusen überbrückt werden. Durch sie wird das Fördergut dosiert in den Luftstrom eingeführt und die Druckleitung luftdicht gegen die Außenluft abgeschlossen. Als Gutabscheider sind Schwerkraftabscheider, Fliehkraftabscheider und Gewebeabscheider im Einsatz. Schwerkraftabscheider setzen durch Querschnittserweiterung der Rohrleitung die Strömungsgeschwindigkeit herab, so dass die Feststoffteilchen nicht mehr getragen werden und ausfallen. Sie eigenen sich nur für körniges Material. Fliehkraftabscheider nutzen die Fliehkraft zur Trennung von Gas und Feststoffteilchen. Es lassen sich auch feinste Teilchen mit einem Wirkungsgrad von 95 bis 99 % abscheiden. Gewebeabscheider erreichen noch höhere Gasreinheit. Sie werden dann meist den Schwerkraft- bzw. Fliehkraftabscheidern nachgeschaltet.

Hydraulische Strömungsförderer arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie pneumatische Anlagen und sind auch gleichartig aufgebaut. Durch die wesentlich geringeren Dichteunterschiede zwischen Fördermittel und Fördergut liegt die Schwebegeschwindigkeit für die Gutmitnahme ebenfalls niedrig. Als Transportgüter eignen sich deshalb körnige Massengüter kleiner bis mittlerer Korngröße (Kohle, Sand, Erzschlamm, Schlackensand, Kraftwerksasche). Nach der Art der Gutaufgabe werden Pumpenförderer und Schleusenförderer unterschieden. Während bei ersteren besondere Vorrichtungen für die Gutaufgabe fehlen, werden bei Schleusenförderern ähnlich wie bei pneumatischen Systemen Strahl-, Behälter- und Kammerschleusen eingesetzt. Die Gutabtrennung bereitet allerdings größerer Schwierigkeiten, weshalb oft aufwendige Abscheidevorrichtungen notwendig sind. Grobes Schüttgut wird durch Siebanlagen entwässert. feines Material gelangt in Absetztürme, sehr feines Material erfordert den Einsatz von Hydrozyklonen und Zentrifugen.

Die technische Struktur hydraulischer Fördersysteme vereinfacht sich wesentlich, wenn Strömungsmittel und Fördergut identisch sind (wie bei Erdöl oder flüssigen Chemieprodukten). Besondere Schleusen für das Fördergut entfallen dann.

30.2.3. Lagersysteme

Lagersysteme haben die Aufgabe, Güter aufzubewahren, um sie zu einem bestimmten Zeitpunkt bereitzustellen. Sie sichern die kontinuierliche Versorgung von Produktions- und Konsumtionssystemen. Ihre technische Ausrüstung muss gewährleisten, dass der Gebrauchswert der aufzubewahrenden Güter erhalten bleibt.

Die Lagergüter setzen sich aus einer Reihe von Komponenten zusammen: aus unvollendeter Produktion in den Herstellerbetrieben, aus Absatzvorräten bei den Herstellerbetrieben, aus Handelsvorräten der Handelsbetriebe, aus Produktionsvorräten bei den Herstellerbetrieben und aus Vorräten der Konsumenten. Für die Struktur der Lagerwirtschaft leitet sich daraus die Existenz verschiedener *Typen von Lagern* ab:

- Versorgungslager für die bedarfsgerechte Materialbereitstellung für die Haupt-, Hilfs- und Nebenprozesse der Produktionsbetriebe
- Zwischenlager in den produzierenden Bereichen der Betriebe zur Aufnahme der unvollendeten Produktion und zum Auffangen von Störungen im Produktionsablauf
- Absatzlager bei den Produktionsbetrieben zur Aufnahme der Fertigerzeugnisse, zur Sortimentszusammenstellung und zum Zusammenstellen von Transportlosen
- Umschlaglager bei den Transportbetrieben
- Handelslager des Groß- und Einzelhandels
- Versorgungslager bei gesellschaftlichen Einrichtungen.

Aus der Art und dem Umfang der Vorräte sowie der jeweiligen Sortimentsstruktur ergeben sich die spezifische Lagerstruktur und der Bedarf an lagertechnischen Ausrüstungen. Zur Gesamtausrüstung der Lager gehören neben spezifischen technischen Anlagen für die Aufnahme der Lagergüter auch Einrichtungen für den Transport und den Umschlag. Sie bleiben hier außer Betracht, weil sie im Prinzip im vorhergehenden Abschnitt mitbehandelt wurden.

Feststofflager werden in Stückgutlager und Schüttgutlager unterschieden.

Stückgutlager nehmen feste Güter mit beständiger Form auf die als einzelne Einheiten gelagert werden. Sie können als Stückgutfreilager oder als Gebäudelager eingerichtet sein.

In *Stückgutfreilagern* werden witterungsunempfindliche Stückgüter in unverpackter oder verpackter Form aufbewahrt. Bevorzugt sind sie für schwere und sperrige Güter (Container, Trailer, Metallbunde, Holzpakete) vorgesehen. Die Lagerfläche muss eine entsprechende Flächenbelastbarkeit aufweisen und eine gute Entwässerung besitzen. Die Lagerung erfolgt auf dem Boden, je nach der Art der Lagergüter mit oder ohne Stapelbildung.

Lagergebäude sind witterungsempfindlichen Stückgütern vorbehalten. Sie sind als Lagerhallen oder auch als Geschoßbauten aufgeführt. Größere Lagereinheiten werden ebenfalls in Bodenlagerung in Reihen- oder Blockstapelung eingelagert. Kleinere Einheiten finden in Regallagern Platz, die eine übersichtliche Aufbewahrung garantieren. Regale sind Lagerungsmittel mit nebeneinander und übereinander angeordneten Fächern. Ihre Elemente sind Tragwerke mit Traversen und Böden. Regale sind Grundelemente von Stückgutlagern. Es gibt eine Reihe von konstruktiven Formen: Fachbodenregale, Stapelrahmenregale, Palettenreihenregale, Blockstapelregale, Karussellregale. Die einfachste Bauart haben Fachbodenregale. Sie sind sehr flexibel, weil sie in der Höhe und Tiefe der einzelnen Fächer gut den räumlichen Bedingungen und dem Lagergut angepasst werden können. Für große Lager mit einem breiten Sortiment werden Magazinanlagen aus den Fachbodenregalen zusammengesetzt. Palettenreihenregale und Blockstapelregale nehmen in Paletten eingelagertes Gut auf. Sie werden durch Gabelstapler ein- und ausgelagert (Abb.30.9.).

Für eine Reihe von Gütern müssen Speziallager eingerichtet werden, z.B. Kühllager für verderbliche Lebensmittel.

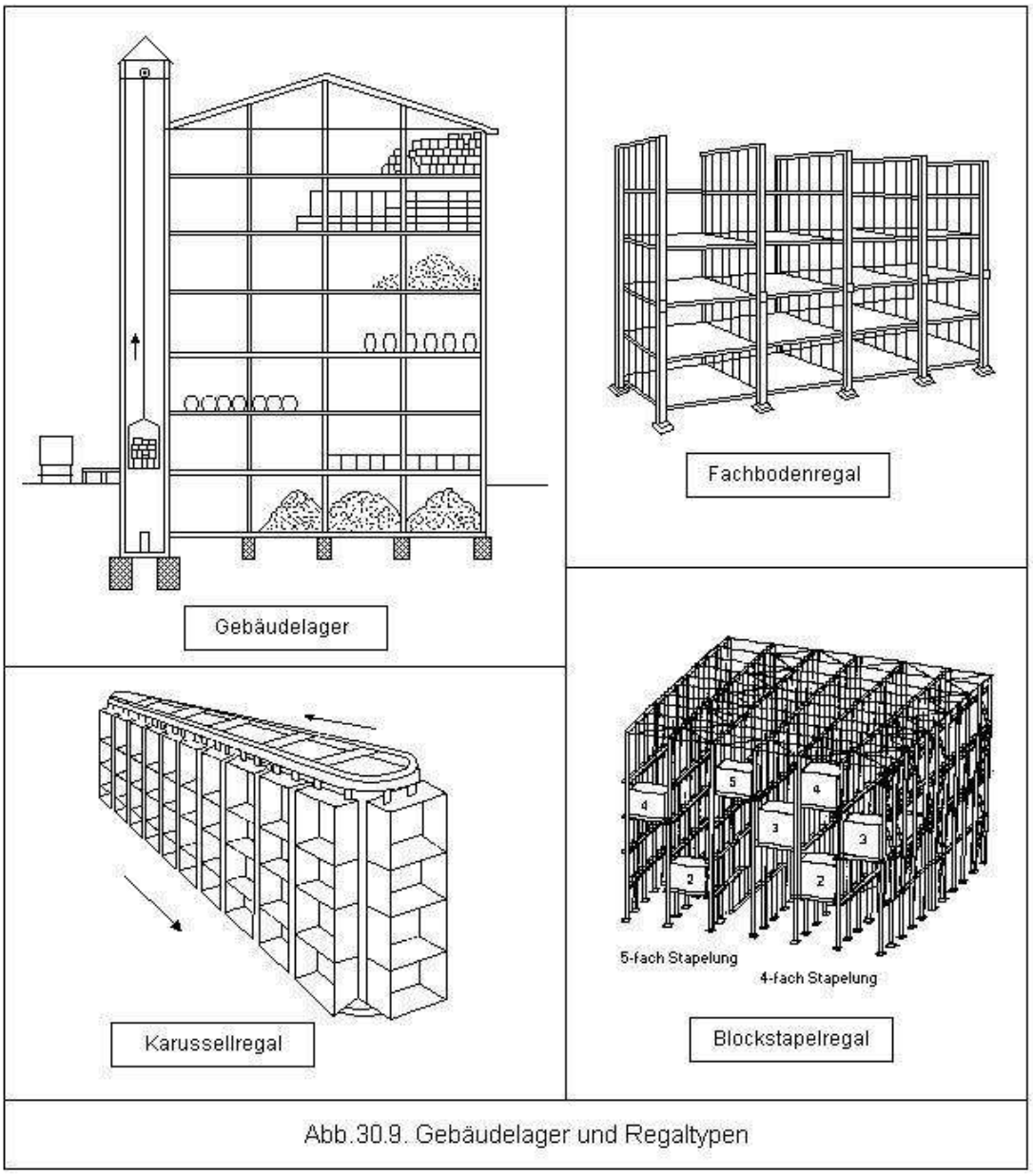


Abb.30.9. Gebäudelager und Regaltypen

Schüttgutlager dienen im Allgemeinen zur Lagerung großer Mengen einer Schüttgutsorte. Sie können als Freilager, Lagerhallen oder als Bunker und Silos ausgeführt sein. Freilager sind nur für witterungsunempfindlicher Stoffe geeignet, wie Erze, Kohle, Kies, Sand, Apatit. Sie haben einen festen (z. T. betonierten) Grund, der zur besseren Entwässerung leicht geneigt ist. Durch eine seitliche Begrenzung kann die Flächenauslastung wesentlich erhöht werden. Die Ein- und Auslagerung der Güter erfolgt durch Selbstentlader und Mobilkrane oder durch Portalkrane. Lagerhallen werden für witterungsempfindliche Schüttgüter benötigt. Hier erfolgt die Einlagerung vorteilhaft durch Bandförderer mit Abwurfwagen. Aufnahmegeräte und verstellbare Bandausleger ermöglichen eine rationelle Auslagerung des Gutes. Bunker werden vorrangig für die Lagerung von grobkörnigem und großstückigem Schüttgut eingesetzt, Silos sind Lagersysteme für trockne feinkörnige oder pulverige Schüttgüter (z.B. Zement, Getreide). Die Beschickung erfolgt von oben, die Entnahme unter Schwerkraftnutzung von unten. Bunker und Silos können aus Stahlblech oder Stahlbeton aufgeführt sein. Silos sind meist als Hochanlagen, Bunker sowohl als Hoch- wie auch als Tiefbunker eingerichtet. Die Einlagerung erfolgt überwiegend durch Stetigförderer (Elevatoren, Bandförderer) (Abb.30.10.).

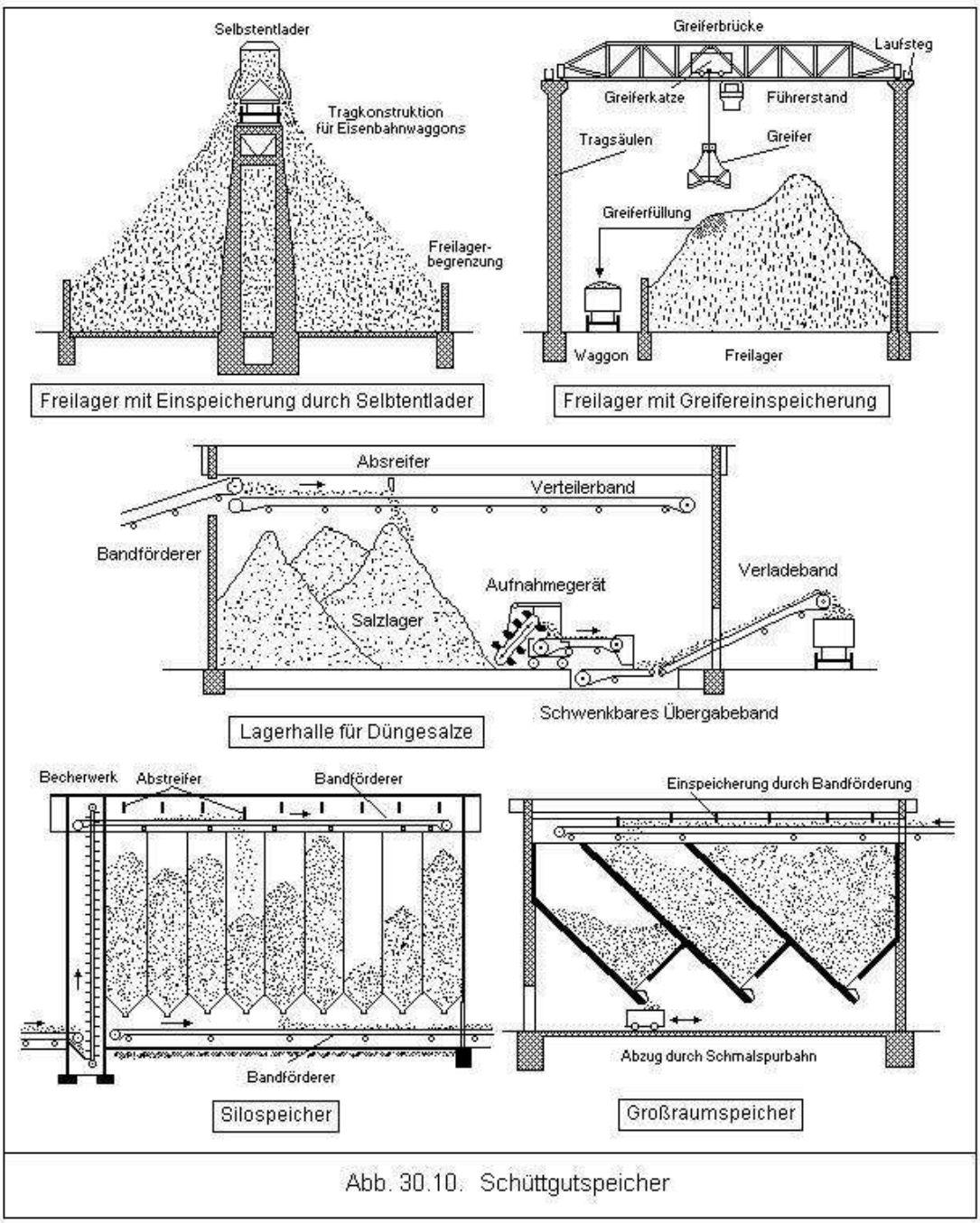


Abb. 30.10. Schüttgutspeicher

Lagereinrichtungen für flüssige Stoffe. Flüssigkeiten, die in Fässern, Ballons oder Tankcontainern abgefüllt sind, werden wie Stückgüter gelagert. Gleiches gilt für technische Gase (Sauerstoff, Azetylen, Wasserstoff) die in Druckflaschen gespeichert sind. Größere Mengen von Flüssiggütern werden in stählernen Tanks gelagert. Mehrere Tanks werden zu Tanklagern zusammengefasst. An verschiedenen Bauformen werden Festdach-, Schwimmdach- und Kugeltanks unterschieden (Abb. 30.11.). Festdachtanks sind sehr einfach aufgebaut. Sie erreichen bis zu 10 000 m Fassungsvermögen. Bei der Einlagerung leichtflüchtiger brennbarer Flüssigkeiten wird der freie Behälterraum mit Inertgas (meist Stickstoff) aufgefüllt, um die Bildung explosiver Gasgemische zu vermeiden. Bei Erdöltanks werden zum Schutz vor zu hoher Erwärmung durch Sonneneinstrahlung reflektierende Anstriche und Wasserberieselung vorgesehen. Bei Schwimmdachtanks schwimmt das Tankdach stets auf dem Flüssigkeitsspiegel, so dass die Entstehung einer Gasatmosphäre über der Flüssigkeit weitgehend vermieden wird. Der technische Aufwand ist allerdings wesentlich höher als bei Festdachtanks. Kugeltanks werden für Flüssigkeiten eingesetzt, die druckfrei gelagert werden, bei denen aber aus Sicherheitsgründen eine gewisse Druckaufnahme durch den Tank gewährleistet sein muss.

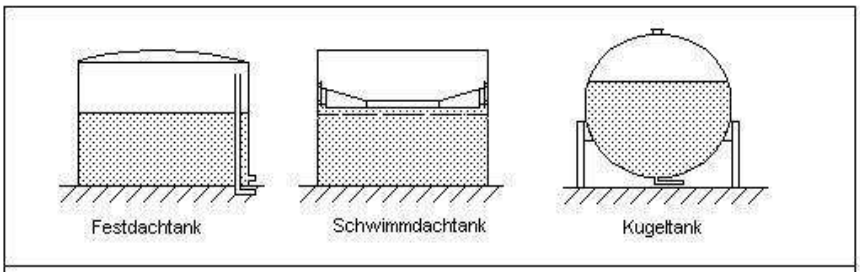


Abb. 30.11. Flüssiggutlager

Lagereinrichtungen für Gase. Die Lagerung von Gasen erfolgt vorwiegend in volumenveränderlichen Gasometern. Es werden Glockengasbehälter und Scheibengasbehälter unterschieden (Abb.30.12.). *Glockengasbehälter* sind aus einer oder mehreren teleskopartig zusammengesetzten Stahlglocken aufgebaut, unter denen sich das Gas sammelt. Am unteren Teil der Glocke befindet sich ein wassergefülltes Becken, das den Speicherraum abdichtet. Bei mehrhübigen Behältern befindet sich zwischen den einzelnen Glocken die sog. Tasse, die sie gegeneinander mittels einer Sperrflüssigkeit (Teer) abdichtet. Wird Gas in die Behälter eingespeichert, hebt sich durch den Gasdruck die Glocke. *Scheibengasbehälter* besteht aus einem zylindrischen Stahlmantel, in dem sich eine gasdicht abschließende Scheibe je nach Füllstand auf und ab bewegt.

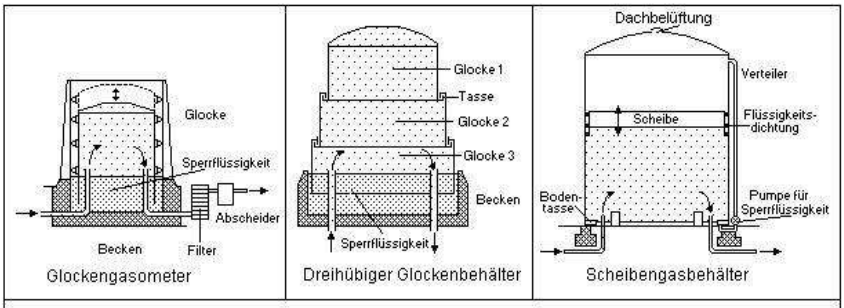


Abb.30.12. Lagereinrichtungen für Gase

Die zunehmende Erdgasverwendung in Industrie und Haushalt erfordert riesige Lagerkapazitäten, weil der kontinuierlichen Gaslieferung ein saisonal- und tageszeitlich stark schwankender Absatz gegenüber steht. In der Bundesrepublik stand 1991 dafür ein Speichervolumen von 12,5 Mrd. m^3 bereit, was 10% des jährlichen Gasabsatzes entspricht. Man rechnet damit, dass dieser Anteil künftig bis auf 20% ansteigt. Für die Lagerung von Erdgas kommen Kavernengasspeicher und Kugelgasbehälter zum Einsatz. Neuerdings werden auch Hochdruck-Röhrenspeicher verwendet, die in mehreren parallelen Strängen von z. T. erheblicher Länge unterirdisch verlegt sind.

Die Lagerung kleiner Mengen technischer Gase (Acetylen, Propan, Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlendioxid) erfolgt in ortsbeweglichen Druckbehältern (Stahlflaschen).

30.3. Energietransportsysteme

Energietransport ist Transport von Energieträgern, weil Energie immer an einen materiellen Träger gebunden ist. Dabei ist streng zwischen dem Transport potentieller und kinetischer Energie zu unterscheiden. Potentielle Energie existiert in Form von stofflichen Energieträgern, wie Kohle, Koks, Erdöl, Vergasertreibstoffen, Dieselkraftstoffen und Erdgas als Träger chemischer Energie, Kernbrennstoffen als Träger von Kernenergie, Warmwasser als Träger von Wärmeenergie, gestautem Wasser als Träger mechanischer Energie. Dieser Transport potentieller Energieträger ist im Prinzip mit dem Gütertransport identisch. Kohle wird mit Eisenbahnwaggons, Straßentransportfahrzeugen oder über Bandförderer zum Verbraucher gebracht, Erdöl gelangt über stationäre Rohrleitungssysteme, Tankschiffe oder Kesselwagen an den Ort der Verarbeitung. Gleiches gilt für Erdgas, Dampf und Warmwasser als Energieträger. Die Gastransportleitungen bilden heute ein Gasverbundsystem mit vielen tausend km Länge, die die Erdgaslagerstätten mit den Verbraucherzentren verbinden. Anlagen für gestautes Wasser (Stauseen, Pumpspeicherbecken) stehen in Analogie zu Güterlagerplätzen.

Der Transport der kinetischen Energieformen erfolgt dagegen in einer für jede Energieart spezifischen Weise. Die Darstellung der Energietransportsysteme in diesem Kapitel orientiert deshalb sich auf den Transport kinetischer Energie. Eine zu beachtende Besonderheit gegenüber dem Stofftransport besteht darin, dass jeder Transport kinetischer Energie mit relativ hohen Energieverlusten verbunden ist, die allerdings für die verschiedenen Energiearten unterschiedlich groß sind.

30.3.1. Transportsysteme für kinetische Energie

Die allgemeine Struktur von Energietransportsystemen (für kinetische Energieformen) ergibt sich aus dem eigentlichen Transportkanal und den Eingabe- und Ausgabeeinrichtungen. Der Transportkanal ist ein die jeweilige Energieart aufnehmendes und fortleitendes System. Für die mechanische Energie sind das feste Körper in geeigneter Gestalt (Gestänge, Seile), für die thermische Energie Flüssigkeiten oder Gase als Träger und Rohrsysteme als Transportkanal, für die elektrische Energie metallische Leiter in Form von Leitungen und Kabeln und für die Strahlungsenergie ebenfalls Kabel aus Glasfasermaterialien.

Transportsysteme für mechanische Energie

Die Fortleitung mechanischer Energie ist mit sehr hohen Übertragungsverlusten verbunden. Sie ist deshalb nur auf kurze Distanzen vertretbar. Im Allgemeinen finden wir diese Form der Energiefortleitung innerhalb technischer Systeme, wo die durch das Antriebsorgan hervorgebrachte mechanische Operationsenergie auf das Arbeitsorgan übertragen werden soll. Die Energieübertragungssysteme bilden in diesem Fall das Übertragungsorgan oder Funktionselemente desselben.

Technische Systeme für die Übertragung mechanischer Energie sind: Wellen, Gestänge, Treibrad-Riemensysteme, Kettentriebe, Seiltriebe und Rädergetriebe.

Eine andere Form der mechanischen Energieübertragung sind hydraulische Systeme. Bei ihnen wird die Energie durch Druckflüssigkeiten (Hydrauliköl, Druckwasser) über Rohrleitungen oder flexible druckfeste Schläuche übertragen. Sie ermöglichen die Fortleitung großer Kräfte bei guter Steuerbarkeit. Hydrauliksysteme sind im Allgemeinen keine selbständigen Energietransportsysteme, sondern jeweils Teilsystem eines übergeordneten Bearbeitungssystems.

Weitere Beispiele für die hydraulische Energiefortleitung sind Druckwasserrohre als Verbindungssysteme zwischen Ober- und Unterwasser bei Hochdruckspeicher-Kraftwerken zum Antrieb der Turbinen. Aber auch hier sind sie keine selbständigen Transportsysteme, sondern Teil (Übertragungsfunktion) eines Wasserkraftwerkes.

Pneumatische Systeme sind ein weiterer Typ von Transportsystemen für mechanische Energie. Die Energie wird in Schlauch- bzw. Rohrleitungen mittels Druckluft übertragen.

Transportsysteme für thermische Energie

Thermische Energie wird durch geeignete Wärmeträger wie Wasser oder Dampf in Rohrleitungssystemen transportiert. Das geschieht in großen Umfang bei der Fernwärmeversorgung zwischen Heizkraftwerken und Verbrauchern in den Wohngebieten. (s. auch Kap.11.8.).

Transportsysteme für elektrische Energie

Elektroenergie zeichnet sich nicht nur durch ihre universelle Wandelbarkeit in anderen Energiearten, sondern auch durch ihre relativ einfache Transportierbarkeit aus. Die Übertragung der Elektroenergie erfolgt als drahtgebundene Übertragung über Leitungen und Kabel.

Wie bei jeder Energiefortleitung entstehen auch beim Elektroenergietransport Energieverluste. Sie machen je nach der Dichte des Übertragungsnetzes 5 bis 10% des Brutto-Stromverbrauchs aus. Die Verluste sind einerseits lastabhängige Verluste (Stromwärmeverluste). Sie steigen im Quadrat der Stromstärke, andererseits sind sie lastunabhängige Verluste (Leerlaufverluste, Eisenverluste, Isolatorenleckverluste und Abstrahlungsverluste), die linear mit der Spannungshöhe ansteigen. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass mit steigender Übertragungsspannung die Anlagenkosten wachsen. Man ist deshalb bestrebt, in Abhängigkeit von der Übertragungsentfernung und der Leistungshöhe die optimale Übertragungsspannung zu ermitteln. Daraus erklärt sich die relative Vielfalt der Übertragungsspannungen im Transport- und Verteilungsnetz.

Die flächendeckende Elektroenergieversorgung wird durch ein engmaschiges Übertragungs- und Verteilungsnetz bis in nahezu jeden Haushalt gewährleistet. Es ist ein eng vermaschtes System mit zahlreichen

Knotenpunkten, in das Übertragungsleitungen einmünden und abgeführt werden. Die Kraftwerke sind durch das Hochspannungsverbundnetz (Übertragungsspannung 380 und 220 kV) miteinander gekoppelt. Zum Transport in die Versorgungsgebiete wird die Spannung stufenweise über das Mittelspannungsnetz (110 kV und 20 kV) und das Niederspannungsnetz (230/400 V) reduziert und an die Verbraucher abgegeben. Zwischen die einzelnen Netze sind Umspannwerke und Transformatorenstationen geschaltet. Die technische Ausrüstung dieser Knotenpunkte besteht im Wesentlichen aus Transformatoren, Schaltgeräten und Sammelschienen. Des Weiteren gehören Messgeräte und Sicherheitssysteme für die schnelle Abschaltung fehlerhafter Anlagen und das Abfangen von Überspannungen zur Einrichtung der Umspannstationen.

Die elektrischen Leitungen werden als Freileitungen oder als Kabel ausgeführt. Hochspannungsleitungen werden fast ausnahmslos als Freileitungen verlegt. Mittel- und Niederspannungsleitungen werden (insbesondere in dichtbesiedelten Gebieten) vornehmlich als Kabel ausgeführt. Die Hauptbaugruppen einer Freileitung sind die Trägermasten, die Leitungsseile und die Isolatoren. Die *Maste der Hochspannungsleitungen* sind Stahlgittermasten, für Mittel- und Niederspannungsleitungen Betonmaste (Abb. 30.13.).

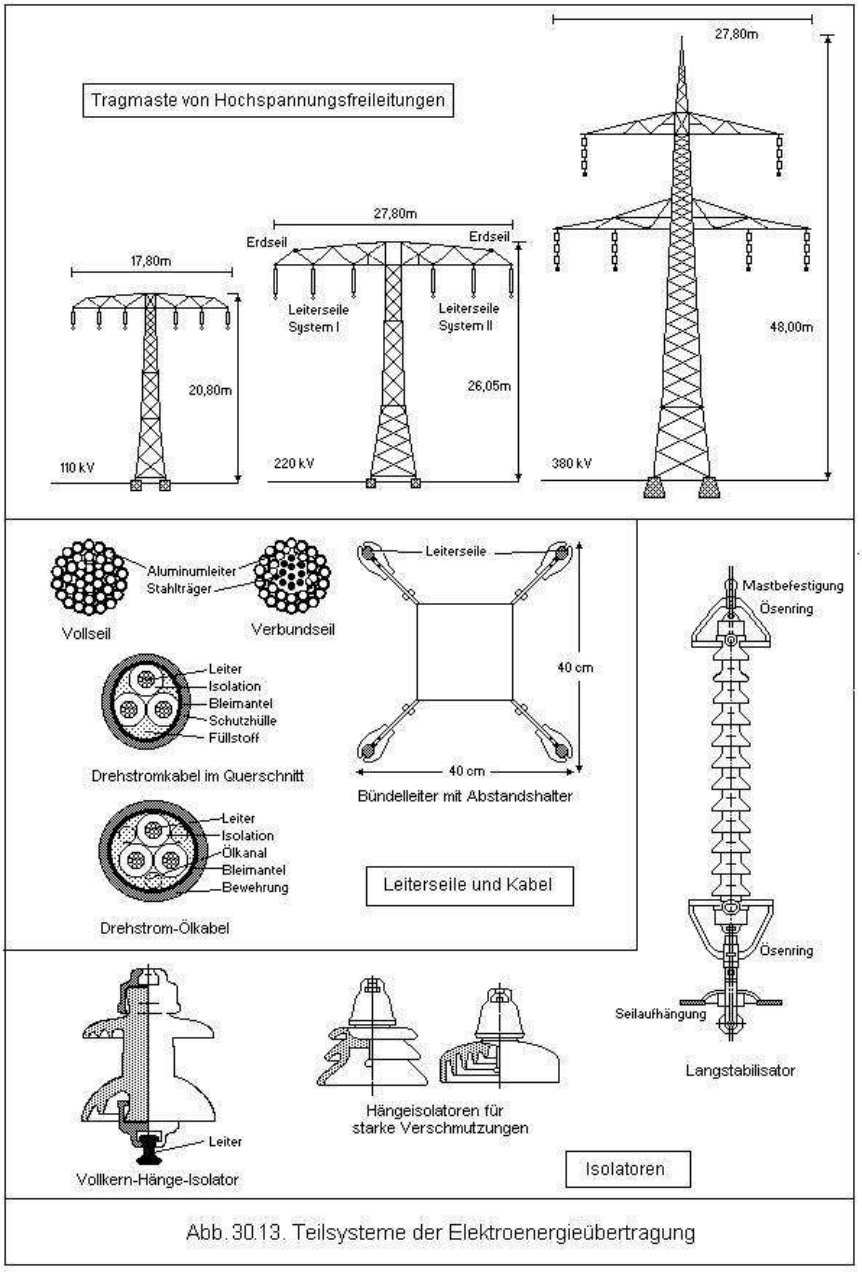


Abb. 30.13. Teilsysteme der Elektroenergieübertragung

Die Hauptfunktionsgruppe (das Arbeitsorgan) der Freileitung ist die *Beseilung*. Die Leitungsseile werden als Aluminiumvollseile (in Orts- und Mittelspannungsnetzen) oder als Stahl-Aluminium-Verbundseile (bei Hochspannungsleitungen mit hoher Seilbelastung) ausgeführt. Zur Vermeidung von Koronaverlusten bei Spannungen oberhalb 220 kV werden Seile mit großem Durchmesser (bis zu 50 mm) eingesetzt. Sie werden

als Bündelleiter verlegt, bei denen mehrere Seile mit einem festen Abstand zueinander fixiert sind. Die Leiterseile sind an *Isolatoren* befestigt. Sie sollen das Abfließen des Stromes verhindern. Von ihnen hängt in hohem Maße die Betriebssicherheit des Übertragungsnetzes ab. Sie müssen sowohl mechanischen, chemischen und elektrischen Beanspruchungen standhalten. Sie werden aus keramischen Werkstoffen und vergüteten Gläsern hergestellt. Zur Vermeidung von Ableitströmen wird der Isolierkörper durch Schirme vergrößert.

Kabel sind Leitungen, die durch Isolierstoffe umhüllt sind und sie zugleich gegen mechanische und chemische (Korrosion) Beanspruchungen schützen. Die Leiter bestehen größtenteils aus Aluminium, für bestimmte Einsatzgebiete auch aus Kupfer, die als Rund- oder Sektorenleiter ausgebildet sind. Die Isolierung besteht im Allgemeinen aus einer mit Öl-Harz-Masse imprägnierten Papierwickelung oder aus Gummi und Plastumhüllungen. Für Hochspannungskabel ist weiterhin eine äußere Kabelhülle notwendig, die das Eindringen von Feuchtigkeit verhindert. Sie besteht aus einem Bleimantel (neuerdings auch Aluminiumhülle) und einer bitumengetränkten Juteschicht. Für die Höchstspannungsübertragung werden Ölkabel oder Gasdruckkabel eingesetzt. Bei den Ölkabeln wird über durchbrochene Leitungskanäle innerhalb des Metallmantels dünnflüssiges Öl in das Kabel eingepresst, das keine Hohlräume entstehen lässt, die die Isolationsfähigkeit herabsetzen. Die Gasdruckkabel bestehen aus einem starren Stahlrohrsystem, in das die Kabel eingezogen werden. Der freie Raum zwischen Kabel und Stahlrohr wird mit einem komprimierten Gas gefüllt. Hochleistungsfähige Kabelverbindungen werden auch über große Entfernungen unterseeische verlegt. 1994 wurde z.B. durch eine Kabelverbindung zwischen Lübeck und Malmö (über 250 km) das gegenwärtig leistungsstärkste Unterwasserkabel mit einer Übertragungsleistung von 600 MW bei einer Betriebsgleichspannung von 450 kV und einem Strom von 13333 A in der Ostsee verlegt.

Die Übertragung elektrischer Energie erfolgt im Allgemeinen als Drehstrom. Er lässt sich in dieser Form leicht transformieren. Neuerdings gewinnt aber auch die *Gleichstrom-Hochspannungsübertragung* schnell an Bedeutung, weil sie eine Reihe von Vorteilen gegenüber der Hochspannungsübertragung von Drehstrom aufweist und weil der bisher große Aufwand an Umrichterstationen durch den Einsatz von Halbleiter-Thyristoren entscheidend verringert werden konnte. Als Vorteile sind anzuführen:

- Bei der Gleichstromübertragung gibt es keine Stabilitätsprobleme, wie sie bei Drehstromübertragung über sehr große Entfernungen (über 1000 km) auftreten und die dort durch großen technischen Aufwand begrenzt werden müssen.
- Bei Gleichstromkabeln treten keine dielektrischen Verluste auf. Das ermöglicht bei gleicher Isolation eine vierfach höhere Spannung als bei Drehstrom.
- Es werden nur zwei Leiter benötigt. Damit senkt sich der Materialaufwand für die Leitungen beträchtlich.
- Die Korona- und Stromwärmeverluste sind deutlich geringer als Drehstromübertragung.

Die großtechnische drahtlose Übertragung elektrischer Energie ist mittels Mikrowellen- und Laserstrahlen zwar prinzipiell möglich und die dafür notwendigen Übertragungs- und Empfangsanlagen sind ebenfalls entwickelt, aber wegen des schlechten Wirkungsgrades ist dieser Weg ökonomisch nicht vertretbar. Sie wird ausschließlich in der Nachrichten- bzw. Informationsübermittlung verwendet.

30.3.2. Energiespeichersysteme

Energie kann als potentielle und als kinetische Energie gespeichert werden. Allgemein bereitet die Energiespeicherung zahlreiche Probleme, weil nur wenige technisch und wirtschaftlich vertretbare Möglichkeiten bekannt sind, Energie in größerem Umfang zu speichern. Dabei geht es hier nicht um die Speicherung stofflich gebundenen Primärenergieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) oder Sekundärenergieträgern (wie Warmwasser, flüssige Treibstoffe). Ihre Speicherung erfolgt auf analoge Weise wie die Lagerung von Gütern. Für die Systematik der Energiespeichersysteme folgen wir der technologischen Gliederung der Energiespeicheroperationen (s. Kap. 11.11., Tabelle 11.8.).

Speicher für kinetische Energie: Energie kann nicht in nennenswertem Maße als kinetische Energie gespeichert werden. Ihre Speicherung erfolgt jeweils in der gleichen Energieart. Mechanische Energie lässt sich z.B. in Schwungmassen und in ihrer hydraulischen oder pneumatischen Form als träge Massen in Rohrleitungen speichern. Solche Schwungmassenspeicher werden als Zwischenspeicher in Kolbenmotoren zur Erreichung eines gleichmäßigen Laufes und zur Überbrückung der Zeit zwischen zwei Arbeitstakten eingesetzt. Schwungmassenspeicher haben weiterhin in sog. Gyrobussen Anwendung gefunden. Sie bestehen dort aus einem in Wasserstoffatmosphäre laufenden Schwungrad, das an „Elektrotankstellen“ über Elektromotoren in schnelle Umdrehung versetzt wird. Es gibt die Energie im Laufe der Fahrt an das Fahrzeug ab. Ver-

suchsweise wurden auch Schwungräder zur Rückgewinnung von Bremsenergie in Bussen und bei Drehstromlokomotiven der Bundesbahn eingesetzt.

Energiespeichersysteme für potentielle Energie. Das Einspeichern der Energie ist im Prinzip ein technologischer Vorgang bei dem kinetische Energie in potentielle Energieformen übergeführt wird. Das kann innerhalb der gleichen Energieart erfolgen, aber auch die Umwandlung in eine andere Energieart erfordern. Umgekehrt wird bei der Entnahme von Energie aus dem Speicher potentielle Energie in kinetische Energieformen und -arten transferiert.

Solche Speicher für mechanische Energie sind Federn (wie sie zum Antrieb von Uhrwerken genutzt werden) oder Druckluftkessel und Druckluftflaschen für pneumatische Energie. Sie nehmen die kinetische Form der jeweilig zu speichernden Energie auf und halten sie als potentielle Energie verfügbar. Als Wärmespeicher dienen keramische Massen (Schamottegerüste oder Plattenbündel in rekuperativen und regenerativen Wärmespeichern sowie Nachtspeicheröfen), die Wärme aufnehmen und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgeben können. Im Zusammenhang mit der energetischen Nutzung von Sonnenwärme werden gut isolierte Wassertanks als Wärmespeicher genutzt.

Ein besonderes Problem ist die Speicherung elektrischer Energie. Bei allen Vorteilen der Elektroenergie, die sich insbesondere aus ihrer universellen Wandelbarkeit in andere Energiearten ergeben, muss sie im Augenblick der Produktion auch schon konsumiert werden, weil sie als elektrische Energie kaum speicherbar ist. Eine Möglichkeit sind Kondensatoren, die durch Anlegen einer Spannung aufgeladen werden können und die elektrische Ladung als potentielle elektrische Energie speichern. Die so speicherbaren Energiemengen sind verschwindend gering und dienen nur ganz speziellen Anwendungsfällen. Ein technisch gangbarer Weg ist die zwischenzeitliche Umwandlung der Elektroenergie in eine andere Energieart und ihre Bindung an einen gut speicherbaren Träger. Es sei aber daran erinnert, dass jede Energiewandlung mit mehr oder weniger großen Verlusten verbunden ist, so dass bei der zweimaligen Wandlung beim Einspeichern und beim Abruf, bedeutende Energieverluste hingenommen werden müssen.

Zwei Formen der Elektroenergiespeicherung sind gegenwärtig von Bedeutung: Pumpspeichersysteme und Akkumulatoren.

Pumpspeicheranlagen wandeln elektrische Energie in potentielle mechanische Energie gestauten Wassers um. Das ermöglicht die Speicherung großer Energiemengen über längere Zeit. Pumpspeichersysteme bestehen aus einer Wasserturbine, eine Kreiselpumpe und einer elektrischen Maschine. In Zeiten geringer Netzbelastung treibt die elektrische Maschine die Pumpe an, die Wasser in ein hochgelegenes Becken fördert. In Spitzenbelastungszeiten wird das Wasser wieder auf die Turbine geleitet. Sie treibt einen Generator, der elektrische Energie an das Netz abgibt. Der Wirkungsgrad von Pumpspeicheranlagen liegt zwischen 60 und 75%.

Die zweite Form ist die *Speicherung in Akkumulatoren*. Akkumulatoren sind technische Stromspeichersysteme, die rasch Energiemengen aufnehmen, speichern und wieder abgeben können. In ihnen wird ein reversibler elektrochemischer Prozess zur Wandlung elektrischer Energie in chemische Energie und umgekehrt genutzt. Akkumulatoren bestehen im Allgemeinen aus mehreren zusammengeschalteten galvanischen Zellen. Die Funktionselemente dieser Zellen sind im Prinzip zwei Elektroden (Anode und Kathode), zwischen denen sich ein Elektrolyt befindet. Beim Ladevorgang (der Einspeicherung der Elektroenergie) werden an der Kathode Atome des Elektrodenmaterials ionisiert, wandern zur Gegenelektrode und werden dort entladen. Die elektrische Energie wird so als chemische Energie gespeichert. Umgekehrt werden bei der Stromabgabe (dem Entladevorgang) Atome des Anodenmaterials unter Elektronenabgabe ionisiert. Sie wandern zur Kathode und werden dort unter Elektronenaufnahme entladen. Zwischen Anode und Kathode fließt dabei ein technisch nutzbarer Gleichstrom. Die erreichbaren Energieausbeute elektrochemische Zellen wird vor allem durch die Energiedichte des gewählten Anodenmaterials bestimmt, des Weiteren von der Konsistenz des Elektrolyten und dem Kathodenmaterial (Tab.30.2.).

Anodenmaterial	Theoretische Energiedichte kWh / kg	Anodenmaterial	Theoretische Energiedichte kWh / kg
Blei (Pb)	0,5	Kalzium (Ca)	4,6
Nickel (Ni)	1,0	Magnesium (Mg)	6,8
Zink (Zn)	1,4	Aluminium (Al)	8,1
Eisen (Fe)	1,6	Lithium (Li)	13,0
Natrium (Na)	3.1		

Tabelle 30.2. Energiedichten verschiedener Anodenmaterialien

Gegenwärtig ist die Bleibatterie die Standardbatterie. Sie hat zwar eine relativ geringe Speicherdichte (praktische Energiedichte 30-35 Wh / kg) bei einem Wirkungsgrad von 75 bis 80%, besitzt aber eine hohe Lebensdauer. Weitere Batterietypen sind die Nickel-Kadmium-Batterie (hohe Lebensdauer, schnelle Wiederaufladbarkeit, doppelte Energiedichte gegenüber der Bleibatterie, aber geringer Wirkungsgrad 60 bis 80% und teuer) und die Natrium-Schwefel-Batterie. Letztere ist die am weitesten entwickelte Hochleistungsbatterie. Sie enthält als Elektrodenmaterialien flüssiges Natrium (Kathode) und flüssigen Schwefel (Anode), die durch eine Aluminiumoxidwand getrennt sind Die Arbeitstemperatur liegt bei 300 bis 350 °C. Von der theoretisch erreichbaren Energiedichte von 760 Wh / kg werden gegenwärtig allerdings erst 120 Wh / kg erreicht.

Akkumulatoren haben sich als wiederaufladbare Energiequelle einen festen Platz insbesondere in autarken Systemen (Straßenfahrzeuge, Beleuchtung von Gefahrenschildern an Verkehrswegen, netzunabhängige Geräte und Werkzeuge) und als Zwischenspeicher in Solaranlagen erobert. Nachteilig ist gegenwärtig allerdings noch die relativ geringe Energiedichte. Im Zusammenhang mit den Bestrebungen zur Entwicklung eines Elektroautos sind intensive Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Hochleistungsakkumulatoren durchgeführt worden. Sie haben inzwischen zu Ergebnissen geführt, die es gestatten werden, noch vor der Jahrtausendwende Elektroautos größerer Reichweite mit Batterien zu betreiben.

30.4. Informationstransportsysteme

30.4.1. Systeme für den Transport von Informationen

Informationen sind immer an materielle Träger gebunden. Der Transport von Informationen ist deshalb im Prinzip Transport stofflicher Informationsträger. Dabei ist zwischen dem Transport von Informationen in der Speicherform und solchen in der Übertragungsform zu unterscheiden.

Der Transport von Informationen in der Speicherform (Schrift- und Drucksachen, Zeichnungen, Pläne, Schallplatten, Disketten, Filme, Fotos) geschieht auf dem Wege des Gütertransports. Informationen in der Übertragungsform sind an kinetische Energieformen gebundene Signale (analog oder digital modulierter elektrischer Strom oder elektromagnetische Wellen). Ihre Übertragung erfolgt über Kabelverbindungen (Telekommunikationsnetze) oder als drahtlose Rundfunkwellenübertragung. Dazu müssen die Informationen im Allgemeinen aus der Speicherform in die Übertragungsform überführt werden. Das geschieht mit speziellen Eingabegeräten, die im Prinzip die gleiche technologische Funktion wie die die Umschlagtechnik im Gütertransport haben. Solche Eingabetechnik sind Rundfunk- und Fernsehsende-Technik zur Einspeisung der Signale in die Übertragungskanäle und Telekommunikationsgeräte. Ebenso ist zu nennen die Technik auf der Ausgabeseite des Transportkanals (Antennensysteme, Empfänger).

30.4.2. Informationsspeichersysteme

Informationsspeichersysteme sind stoffliche Systeme, die Informationen in Form stabiler Strukturen aufnehmen können, diese dauerhaft oder zeitlich begrenzt festhalten und sie bei Bedarf wieder abgeben können. Dabei sind diese mit der Speicherungstechnik ähnlich wie bei der Güterspeicherung immer Aufzeichnungs- und Wiedergabetechnik verbunden.

Für die Bewertung der Informationsspeichersysteme sind als wesentliche Kenndaten von Bedeutung: die Speicherkapazität und die Zugriffszeit (s. Kap. 11.12.).

Die Einteilung der Informationsspeicher erfolgt zweckmäßigerweise nach den Kriterien Informationsgehalt bzw. der Erscheinungsform des Informationsparameters (analoge oder diskrete/digitale Signale) und nach

der Häufigkeit ihrer Verwendbarkeit (irreversible oder reversible Speicher). Eine Übersicht über wichtige Speichertypen gibt Tabelle 30.3.

	Analogspeicher	Digitalspeicher
Festwertspeicher *(permanente Speicher)*	Bücher, Zeitungen, technische Zeichnungen, Schallplatte, Tonband, Foto, Film, Mikrofilm,	Lochkarten, Lochstreifen, CD-ROM, DVD-ROM,
Arbeitsspeicher *(flüchtige bzw. semipermanente Speicher)*	Magnetband, Videoband, Magnettrommel	Disketten, Festplatten, RAM-Speicher, CD-RW, DVD-RW, Flash-Speicher

Tabelle 30.3. Übersicht über Informationsspeichersysteme

In der Praxis haben die digitalen Speichersysteme den absoluten Vorrang gewonnen. Die Hauptvertreter sind Festplatten, CD- und DVD-Disks, Speicherkarten und USB-Speichersticks.

Aufbau und Funktion eines Festplattenspeichers, wie er in Computern angewandt wird, zeigt Abb. 30.14. Die Speicherkapazität betrug 2007 bis zu 1000 GB.

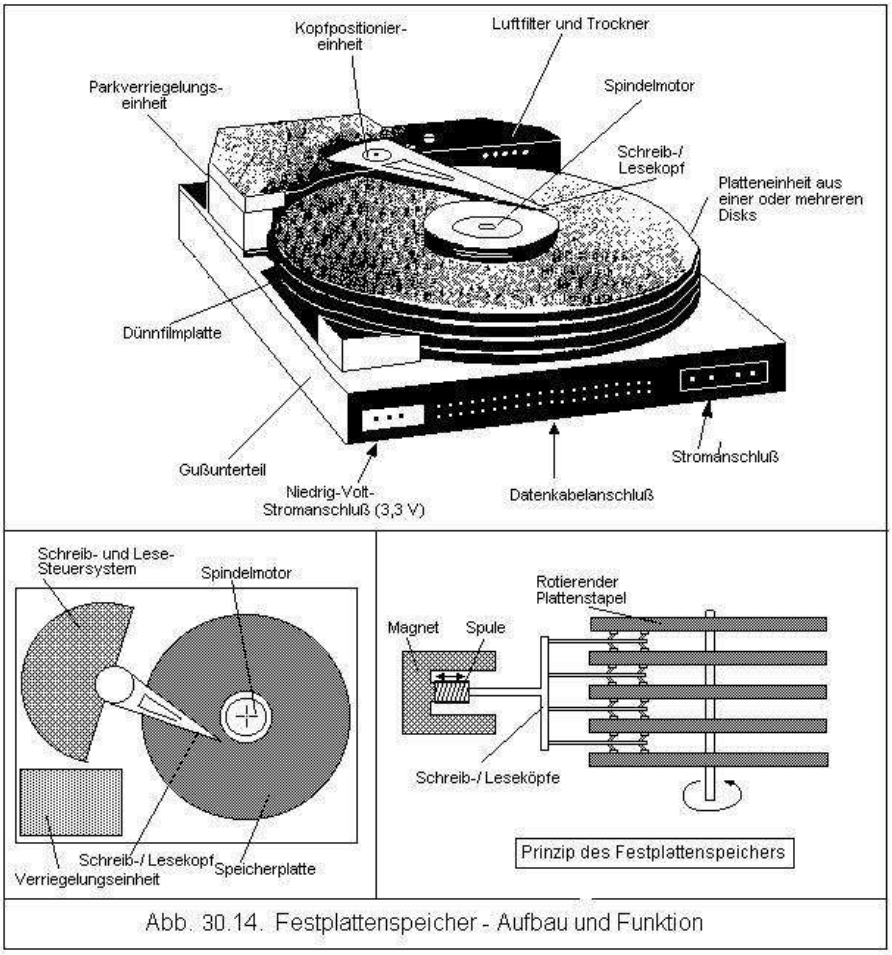


Abb. 30.14. Festplattenspeicher - Aufbau und Funktion

30.5. Ausgewählte Beispiele

30.5.1. Mobildrehkran

Mobildrehkrane gehören zu den Auslegerkranen. Sie besitzen einen der Krankonstruktion angeglichenen fahrbaren Unterwagen mit Reifenfahrwerk und können deshalb schnell an verschiedenen Arbeitsplätzen eingesetzt werden. Bei gleichem Grundaufbau können sie mit einem Seilhubwerk oder einem Hydraulikhubwerk ausgerüstet sein. Das Seilhubwerk gestattet je nach Seillänge eine große Arbeitstiefe (bis 10 m), hat aber bei Einsatz von Greifern Nachteile in der Arbeitsgenauigkeit und der Greiferführung. Deshalb werden zunehmend Hydraulikhubwerke angewendet. Sie ermöglichen aktive Greiferbewegungen.

Die Hauptbaugruppen der Mobilkrane sind:

Das *Hubwerk mit dem Lastaufnahmemittel* bildet das Arbeitsorgan des Mobilkrans. Als Lastaufnahmemittel dienen Lasthaken, Anschlagseile, Greifzangen, Greifer oder auch Lasthebemagneten und Vakuumlasthaftgeräte. Das Hubwerk wird als Seilhubwerk oder als Hydraulikhubwerk gestaltet. Das hydraulische Hubwerk erhält seine Energie durch Hydraulikpumpen, die vom Dieselmotor angetrieben werden. Über Wegventile und Hydraulikleitungen werden die Hubzylinder und mit ihnen der Ausleger bewegt (Abb.30.15.).

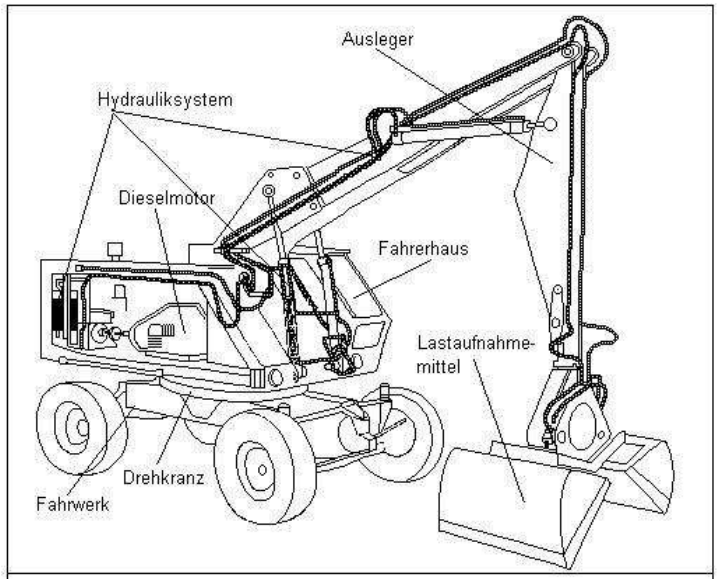


Abb.30.15. Aufbau eines Mobilkrans mit Hydraulikhubwerk

Das *Fahrgestell* ermöglicht die Beweglichkeit des Krans und soll seine Standsicherheit garantieren. Es besteht aus dem Rahmen, an dem die Elemente des Fahrgestells befestigt sind und die Baugruppen zur Gewährleistung der Standsicherheit (abklappbare, durch hydraulische Arbeitszylinder bewegte Stützen). Das Fahrgestell bildet in seiner Gesamtheit das Stützorgan.

Als Antriebsorgan dient ein *Dieselmotor*, der gleichzeitig die Energie für die Fahrbewegungen und für den Kranbetrieb (das Hydrauliksystem) liefert.

Das *Drehwerk* verbindet den Kranteil mit dem Fahrgestell. Es kann mechanisch oder hydraulisch bewegt werden. Es gehört als Teilsystem zum Führungsorgan.

Der *Kranaufbau* (Oberwagen) besteht aus dem Drehturm, dem Ausleger, dem Fahrerhaus und dem Hubwerk. Der Drehturm wird von einem stabilen Plattformrahmen und dem Stützbock gebildet. Er ist fest mit dem Drehkranz verbunden. An ihm ist der Ausleger befestigt, der bei hydraulischem Antrieb als Knickausleger gestaltet ist. Drehturm und Ausleger bilden das Führungsorgan.

Die *Steuerungssysteme* für die Fahrbewegungen und für den Kranbetrieb werden von der Fahrerkabine aus betätigt.

Das Strukturmodell des Mobilkrans zeigt die einzelnen Funktionsorgane in der Übersicht (Abb.30.16.).

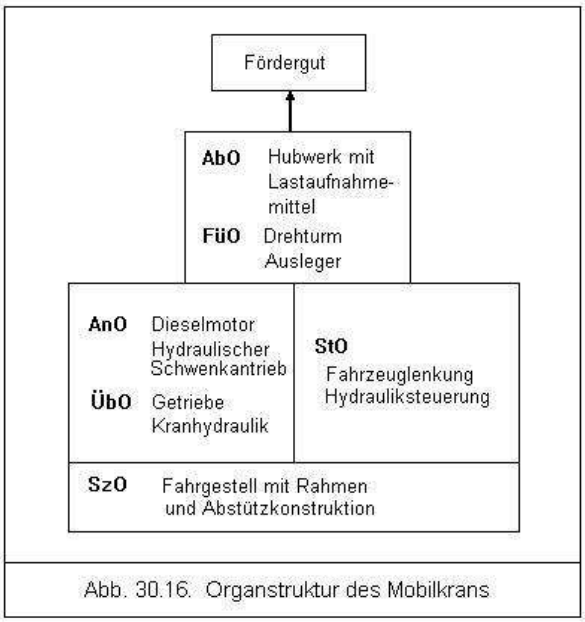


Abb. 30.16. Organstruktur des Mobilkrans

30.5.2. Fernwärmeleitung

Durch die Fernwärmeversorgung wird eine große Zahl von Verbrauchern über eine dampf- oder wasserführende Fernleitung mit Wärme versorgt. Sie ist die volkswirtschaftlich günstigste Form der Wärmeenergiebereitstellung für die Raumheizung und für die Bereitung von Gebrauchswarmwasser. Zentrale Wärmeerzeugungsanlagen weisen einen wesentlich höheren Wirkungsgrad auf als kleine Anlagen, sie ermöglichen eine wirtschaftliche Rauchgasreinigung und auch der Antransport der Brennstoffe und die Abfuhr der Brennstoffrückstände lassen sich mit geringerem Aufwand durchführen. Die zentralen Anlagen sind entweder als reines Heizwerk oder als Heizkraftwerk ausgelegt. Heizwerke sind insbesondere für kleinere Versorgungsgebiete geeignet. Sie erzeugen ausschließlich Dampf, der den Verbrauchern direkt zugeführt oder dessen Energie in Wärmeaustauschern auf Wasser übertragen wird und als Heißwasser zum Verbraucher transportiert wird. Heizkraftwerke erzeugen den Wärmeträger zusammen mit Elektroenergie in einem gekoppelten Prozess. Nachdem der Dampf die Turbinen für den Generatorantrieb durchlaufen hat, wird er für die Warmwasserheizung genutzt. Die spezifischen Anlagekosten liegen bei dieser Form der Warmwassererzeugung wesentlich niedriger als in reinen Heizkraftwerken. Sie werden für größere Versorgungsgebiete genutzt.

Fernwärmesysteme bestehen aus drei Teilsystemen: der zentralen Erzeugungsanlage, dem Transportsystem und den Anwendungssystemen. Das Fernwärmetransportsystem hat die Aufgabe, den im Kraftwerk erzeugten Wärmeträger unter möglichst geringem Energieverlust und in einer anwendungsgerechten Form zu Verbraucher zu bringen. Als Wärmeträger wird vorwiegend Heißwasser eingesetzt. Dampf erfordert zwar als Wärmeträger nur relativ einfache Anlagen und einen vergleichsweise geringen Energieaufwand für den Transport. Der Transport ist aber nur über geringe Entfernungen wirtschaftlich und ist mit hohen Wärmeverlusten behaftet. Dampf wird deshalb nur noch als Wärmeüberträger in technologischen Prozessen eingesetzt. Heißwasser (bzw. Warmwasser) erfordert einen geringeren Übertragungsaufwand, weil das vom Dampf im Versorgungsnetz entstehende Kondensat zusätzlich den Einsatz von Kondensatpumpen für seine Rückförderung verlangt. Der Einsatz von Heißwasser erlaubt eine einfachere Regelung der Wassertemperatur gegenüber der Außentemperatur und des Druckes im Leitungsnetz sowie auch die Wärmespeicherung im Leitungsnetz in lastschwachen Zeiten. Der Wassereinsatz erfordert allerdings auch hohe Pumpleistungen (d.h. höheren Energieaufwand für den Transport) und besondere Einspeisungsanlagen, die die im Kraftwerk erzeugte Dampfwärme auf das Wasser übertragen.

Die zentrale technische Anlage der Fernwärmeleitung ist das Rohrleitungsnetz. Es besteht aus verschweißten stählernen Rohren, deren Nennweiten zwischen 50 und 800 mm liegen. Zur Verminderung der Wärmeverluste sind sie mit Isoliermaterial (Glaswolle, Mineralwolle, Kieselgur, PUR-Hartschaum) umkleidet. Bei freiverlegten Rohren ist die Isolationsschicht zum Schutz gegen mechanische Beschädigungen mit einem verzinkten Eisenblechmantel umgeben.

Das Rohrsystem ist ein Kreislaufsystem, d.h. ein Zweirohrsystem. Das Vorlaufsystem bringt das Heißwasser zum Verbraucher. Nachdem es einen Teil seiner Energie beim Verbraucher abgegeben hat, strömt es im Rücklaufsystem zum Heizkraftwerk zurück. im Sinne einer hohen Versorgungssicherheit werden die Hauptleitungen meist als Drei- und Vierrohrnetze verlegt. Fernwärmenetze können als Strahlen- oder Ringnetze gestaltet sein.

Man unterscheidet offene und geschlossene Systeme. Bei offenen Systemen sind die Wärmenutzanlagen beim Verbraucher direkt mit dem Versorgungsnetz verbunden und entnehmen das Warmwasser aus der Leitung. Bei geschlossenen Systemen wird die Wärmeenergie des Netzes über Wärmeaustauscher auf ein separates Wasserkreislaufsystem beim Verbraucher übertragen.

Fernwärmeleitungen können als Freileitungen oder als unterirdische Leitung verlegt werden. Die wesentlich weniger aufwendigen Freileitungen werden in wenig bebauten Gebieten verlegt. Die Transportentfernungen können 10 und mehr Kilometer betragen. Wegen der auftretenden Wärmeausdehnung werden die Leitungen mit Wärmeausdehnern versehen. Bei Freileitungen werden U-Ausgleicher, bei Kanalverlegung Wellenausgleicher eingesetzt.

Die Einspeisung des Heißwassers (mit Temperaturen zwischen 110 und 180 °C) in das Transportnetz geschieht unter hohem Druck, um das Verdampfen des Wassers zu vermeiden. Beim Verbraucher überträgt das Heißwasser Energie in Wärmeumformerstationen auf einen Sekundärkreislauf und stellt das für die Konvektoren, Radiatoren und Warmwasserspender notwendige Warmwasser (Temperaturen unter 110 °C) bereit. Steuerzentralen in einzelnen Verbrauchergebieten passen die Wärmelieferung dem jeweiligen Bedarf an.

Die Organstruktur der Fernwärmeleitung ist in Abb. 30.17. veranschaulicht.

Abb. 30.17 Organstruktur der Fernwärmeleitung

Literatur

30.1 H. Krampe (Herausgeber): Transport - Umschlag - Lagerung; Leipzig 1990
30.2 E. Garbe: Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse im Betrieb; Berlin 1981
30.3 Autorenkollektiv: Transportieren - Umschlagen - Lagern (Technik); Berlin 1984
30.4 Autorenkollektiv: Transportieren - Umschlagen - Lagern (Technologie); Berlin 1984
30.5 Autorenkollektiv: Transportieren - Umschlagen - Lagern (Lagerwirtschaft); Berlin 1984
30.6 H. Pörschmann / C.Gleue: Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse im Bauwesen; Berlin 1980
30.7 Autorenkollektiv: Landwirtschaftliche Fahrzeuge und Krane; Berlin 1978
30.8 P. Schneider: Untersuchungen zur Organstruktur technischer Funktionssysteme des Energietransports unter besonderer Beachtung technologischer Aspekte; Dissertation A, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1983
30.9 H. Stamm: Über die Fortleitung elektrischer Energie, Berlin 1953

31. Agrartechnische Systeme

31.1. Allgemeine Charakteristik

Die Agrarproduktion ist ihrem Wesen nach eine biologische Produktion. Die eigentlichen produktbildenden Systeme die Pflanzen und Tiere im Zusammenwirkenden mit dem Boden als Hauptproduktionsmittel. Der Einsatz von Maschinen, Geräten und Bauten mit technischen Anlagen zur Realisierung technologischer Verfahren und Prozesse hat auf die Produktbildung nur mittelbaren, auf das Produktionsniveau und das wirtschaftliche Ergebnis jedoch wesentlichen Einfluss. Die Funktion des Einsatzes agrartechnischer Systeme besteht vor allem darin, optimale Bedingungen für den Ablauf der biologischen Prozesse in den produzierenden Organismen zu schaffen bzw. zu sichern.

Das geschieht

- über die Erhaltung und Steigerung der Fruchtbarkeit des Bodens als Standort der Pflanzen sowie über die Teil- bzw. Vollklimatisierung der Haltungsbedingungen für die Tiere;
- über die Pflege und Hygiene sowie bedarfsgerechte Nährstoffversorgung der Pflanzen und Tiere zwecks Ausschöpfung ihrer genetischen und physiologischen Leistungsparameter;
- durch eine verlustarme und qualitätssichernde Produktgewinnung, -aufbereitung und -lagerung.

Die dazu eingesetzten technologischen Vorgänge sind ihrem Wesen nach Stoffformungsverfahren und Stofftransportprozesse. Die agrartechnischen Systeme bilden somit kein eigenständiges Feld in der Ordnung technischer Funktionssysteme (vgl. dazu Kap. 21.2., Tab. 21.2. und die in diesem Zusammenhang gegebene Begründung für ein gesondertes agrartechnologisches Kapitel im Rahmen der Allgemeinen Technologie), sondern sind Stoffformungs- und Stofftransportsysteme, meist in Kombination, da die räumliche Ausdehnung und Ortsgebundenheit des Bodens, des Nutzpflanzenbestandes und der Haltungsanlagen für die Viehwirtschaft den Einsatz vorwiegend mobiler Technik erfordern.

Wenn trotzdem der Agrartechnik ein gesondertes Kapitel gewidmet wird, analog zum Kapitel "Technologische Vorgänge in der Agrarproduktion" (vgl. Kap.12), geschieht es, um die besonderen technischen Funktionen und Strukturen im Vergleich zu den Stoffformungssystemen (vgl. Kap. 26) sowie in Ergänzung zu den Transport-, Umschlag- und Lagersystemen (vgl. Kap.30) darzustellen, die sich aus den Besonderheiten der Arbeit mit den Produktionsmitteln Boden, Pflanzen und Tieren ergeben. Es erscheint weiterhin sinnvoll, sich der Systematik der Agrartechnik anzupassen, um keine Divergenz zur Allgemeintechnik zu provozieren. Darüber hinaus müssen auch die Besonderheiten der Forsttechnik und der in der industriemäßig betriebenen Fischproduktion eingesetzten Anlagen und Geräte erfasst werden.

Im Folgenden legen wir folgende Gliederung der Agrartechnik zugrunde

- Spezielle Agrartransportsysteme
  - Schlepper
  - Anhängefahrzeuge
- Maschinen und Geräte für die Pflanzenproduktion
  - Bodenbearbeitungsgeräte
  - Maschinen und Geräte zum Ausbringen von Produktionsmaterialien
  - Erntemaschinen und -aggregate
- Maschinen und Ausrüstungen für die Tierproduktion
  - Stallanlagen
  - Futteraufbereitungs- und -konservierungsanlagen
  - Milchgewinnungsanlagen
- Forsttechnik
- Geräte und Anlagen zur Mechanisierung der Fischproduktion

31.2. Spezielle Agrartransportsysteme

31.2.1. Schlepper

Schlepper sind vielseitig einsetzbare Zug-, Antriebs-, Transport- und in Kopplung mit Maschinenwerkzeugen, Geräten und einfachen Maschinen ohne eigenen Antrieb (vgl. Kap. 22., Tab. 22.3.) auch Arbeitsmaschinen. Im landwirtschaftlichen Betrieb zählen sie zur technischen Grundausstattung.

Als Zugmaschine mit Hänger werden sie zu Kurzstreckentransporten auf Straßen, Feldwegen, Feldern sowie im Hofbereich für nahezu alle Transportgüter, meist Schütt- bzw. Fließgüter, eingesetzt. Als Zug- und Arbeitsmaschine mit angehängten bzw. angebauten Geräten und einfachen Maschinen werden auf diese Zugkräfte übertragen, es werden über den Dreipunktanbau mittels hydraulischer Hub- und Tragkräfte die Geräte und Maschinen in die Bearbeitungs- bzw. Transportposition gebracht und es werden - bei Bedarf - mechanische Drehkräfte mittels Gelenkwellen (Zapfwellen) übertragen. Zur Transportmaschine wird der Schlepper durch den Aufbau von Vorratsbehältern für Saat- und Pflanzgut, Mineraldünger, Pflanzenschutzmittel u. a., zur Arbeitsmaschine wird er durch den Anbau von Bearbeitungsteilen. Für die jeweiligen Schwerpunkteinsatzbereiche sind unterschiedliche Bauarten - jeweils mit Varianten - entwickelt worden.

Die *Schlepperarten* unterscheiden sich

- nach Kenndaten wie Motorleistung, Eigenmasse, Zug- und/oder Hubleistung, Fahrgeschwindigkeit
- nach vorhandenen Baugruppen und Vorrichtungen zum Aufbau, Anbau, Anhängen von Arbeitsgeräten und Transportbehältern bzw. Transportfahrzeugen zum Übertragen von Zug- , Schub-, Hub- , Trage- und Antriebskräften,
- nach der Lage dieser Vorrichtungen am Schlepper, entweder hinten, vorn oder zwischen den Achsen;
- nach dem Achsenantrieb,
- nach der Position des Fahrersitzes und die davon abhängigen Sichtverhältnisse über die Arbeitsräume vor, neben und hinter dem Schlepper.

Für besondere Einsatzbereiche wie starke Hanglagen, Obstplantagen, Hof- und Stallarbeiten sind Spezialarten entwickelt worden, so z. B. mit variabler Spurweite, extrem hoher Bodenfreiheit u. a., auf die nicht weiter eingegangen wird. Die gängigste Bauart ist der **Standardschlepper.** Im unteren Motorleistungsbereich (ca. 20...30 kW) ist er vorwiegend mit Hinterradantrieb ausgestattet, der Hauptarbeitsraum liegt am Heck, für den Frontarbeitsraum steht jedoch in der Regel ein Lader zur Verfügung. Darüber hinaus hat er - wie alle anderen Bauarten auch - frontseitig einen Zughaken zum Rangieren und Rücken sowie zum an- bzw. abgeschleppt werden. Im oberen Leistungsbereich (100...150 KW) hat er Allradantrieb, der sich zunehmend auch in den mittleren Leistungsstärken (40...80 KW) durchsetzt. Meist ist er mit gleichgroßen Vorder- und Hinterrädern ausgestattet, hat serienmäßig heckseitig Kraftheber und Zapfwelle, die als Zusatzausstattung auch frontseitig geliefert werden. Zum Übertragen hoher Zugleistungen auch über die vordere Triebachse sind die starken Modelle frontlastig gebaut, in der mittleren Leistungsklasse müssen zu diesem Zweck Frontballastgewichte angebracht werden. Neuere Lösungen zur optimalen Nutzung der Zug- bzw. Schubkraft durch gleichmäßige Lastverteilung auf beide Triebachsen führen zur Teilung der Arbeitsgeräte in einen Front- und einen Heckteil, so z. B. beim Pflügen in einem geschobenen Frontpflug und einem gezogenen Heckpflug. Dazu eignen sich besonders Mittelsitzschlepper mit Schwenksitz für Hin- und Herfahrt, sog. “Zwei-Wege-Schlepper“. Sie verfügen serienmäßig über Frontarbeitsraum mit Lader sowie Heckarbeitsraum mit zusätzlicher Aufbaufläche für Vorratsbehälter über der Hinterachse zum Ausbringen von Saatgut, Mineraldünger oder Spritzbrühe (Abb. 31.1.).

Geräteträger sind - wie die Bezeichnung dieser Bauart zum Ausdruck bringt - durch einen gestreckten Mittelholm als Tragschiene für Anbaugeräte im Zwischenachsraum charakterisiert. Ihr vorwiegender Einsatzbereich sind Pflegearbeiten in Reihenkulturen, die eine exakte Steuerung erfordern, was durch die Lage der Geräte vor und hinter der Vorderachse und damit im direkten Blickfeld des Fahrers begünstigt wird. Meist auch mit Lader ausgerüstet sind sie jedoch nicht auf den Frontarbeitsraum begrenzt, sondern verfügen auch heckseitig über Kraftheber, Zapfwelle und Zugvorrichtung, wobei die Zugkräfte bei Motorleistungen bis ca. 55 KW im unteren bis mittleren Bereich liegen. (Abb. 31.1.).

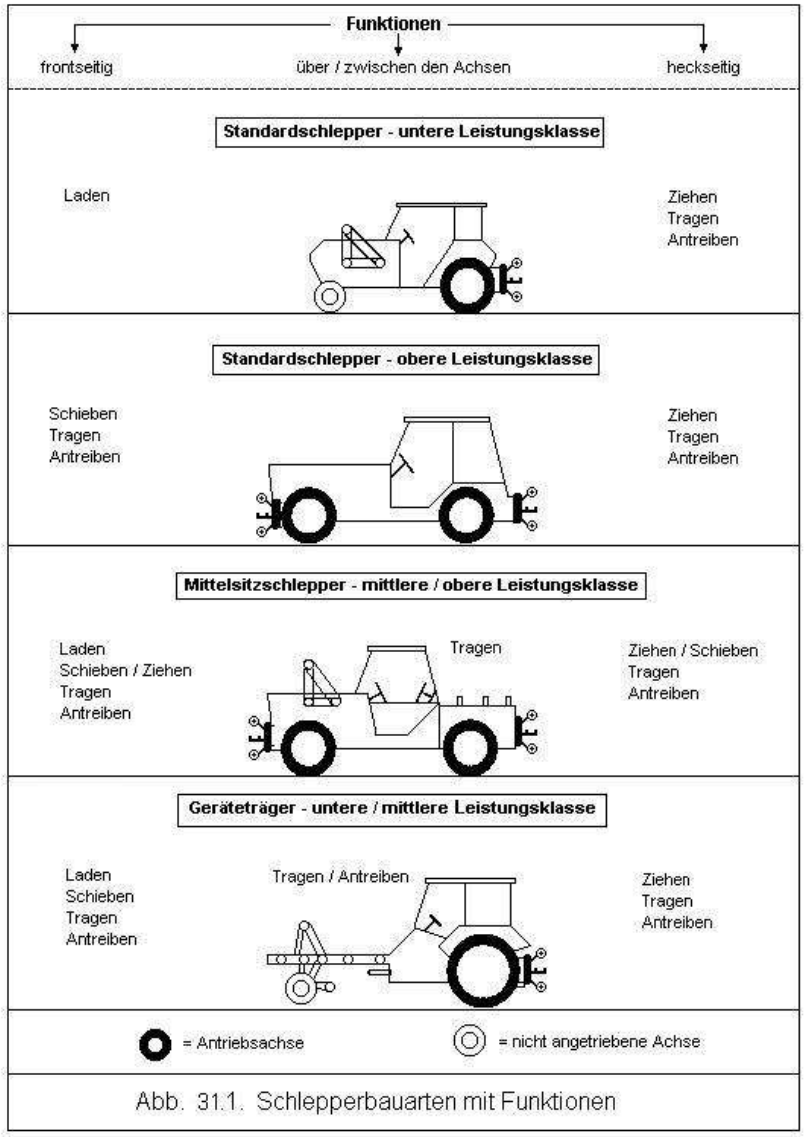


Abb. 31.1. Schlepperbauarten mit Funktionen

Baugruppen und Organstruktur der Schlepper ergeben sich aus den Arbeitsfunktionen. Die Hauptfunktionen des Schleppers sind die Lieferung der Zugkraft und die Führung und ggf. der Antrieb der Arbeitsgeräte. Das *Arbeitsorgan* der Systems Schlepper ist deshalb das Fahrwerk (AbO). Als Träger des kompletten Systems von Arbeitsgeräten besitzt er *Führungsorgane (FüO***)**, die das komplette Arbeitsgerät führen, zugleich auch die Bearbeitungsenergie übertragen und somit sekundär auch als Übertragungsorgane (ÜbO) fungieren. Dazu gehören die Vorrichtungen zur Kopplung von Schlepper und Gerät. Das Fahrwerk überträgt mittels Achsen, Rädern und Reifen die Fortbewegungsenergie auf den Boden und bewirkt damit die Relativbewegung zwischen Schlepper und dem ortsgebundenen und räumlich ausgedehnten Arbeitsgegenstand (Boden), wobei die damit bewirkte Führung des Arbeitsorgans durch die Fahrwerkslenkung noch präzisiert wird. Die prinzipiellen technischen Lösungen zur Kopplung von Schlepper und Arbeitsgerät sind Anhängen, Anbauen oder Aufsatteln. Die ursprünglichste und einfachste Verbindung ist das Anhängen am Heck mittels Zughaken, Zugmaul, Zugpendel, Anhängeschiene oder Anhängerkupplung, wobei die jeweiligen Vorrichtungen an Schlepper und Gerät weitgehend genormt und soweit mechanisiert bzw. teilautomatisiert sind, dass der Fahrer sie vom Sitz aus bedienen kann.

Der Anbau von Geräten - vorwiegend nach dem Dreipunktprinzip - ermöglicht eine vertikale und horizontale Zwangsführung der Geräte beim Bearbeitungsvorgang sowie deren Ausheben und Tragen in Transportstellung mittels hydraulischer Kraftheber und bringt damit wesentliche arbeitstechnische Vorteile. Der Anbau wird jedoch von der Tragfähigkeit des Schleppers begrenzt, so dass sehr schwere und weit ausladende Geräte, insbesondere vielscharige Pflüge, eine eigene Tragachse benötigen und am Schlepper aufgesattelt werden. Dieses Prinzip des Aufsattelns verbindet Anhängen und Tragen der Geräte, da ein wesentlicher Teil ihres Gewichtes dem Zugfahrzeug als Stützlast übertragen wird.

Schlepper sind im Einsatz starken Kräftebelastungen ausgesetzt, denen durch unterschiedliche konstruktive Grundformen entsprochen wird. Je nach Bauart und Leistungsstärke werden Kraftaufnahme und Zusammenhalt der Baugruppen durch Rahmen-, Halbrahmen- oder Blockbauweise erreicht. Bei den leichteren Typen dienen Rahmen mit Fahrgestell als *Stützorgan (SzO)* auf dem Motor und Getriebe einzeln oder als Baueinheit federnd angebracht sind. Bei den schweren Bauarten sind Motor-, Triebwerks- und Hinterachsgehäuse durch Flansche zu einem starren selbsttragenden Block verbunden. Die Halbrahmenbauweise ist eine Kombination beider Konstruktionsprinzipien, durch die unerwünschte Schwingungen der starren Blockbauweise weitgehend vermieden werden können.

Als *Antriebsorgane (AnO)* dienen meist Dieselmotoren; deren mechanische Leistung wird mittels Kupplungen auf Getriebe und weiter über Gelenkwellen, Differentiale und Achsen an die Antriebsräder für die Fortbewegung des Schleppers, über Zapfwellen auf angebaute bzw. angehängte Arbeits- und Transportgeräte sowie an Pumpen für den Betrieb hydraulischer Antriebe von Krafthebern, Kopplungsvorrichtungen, Lenkung, Bremsen u. a. übertragen. Das mechanische Getriebe mit Fahrantrieb, Hydraulikantrieb und den freien Getriebeausgängen, den Zapfwellen, zusammengefasst als Triebwerk bezeichnet, sowie die Hydraulikanlage sind *Übertragungsorgane (ÜbO).*

Steuerungsorgane (StO) am Schlepper wirken auf einzelne Funktionsorgane, so die Motorsteuerung auf die Anpassung des Betriebsverhaltens des Motors an die Leistungsbeanspruchung oder die Lenkautomatik zur Entlastung des Fahrers z.B. bei Pflugarbeiten, wobei als Leitlinie die Pflugfurche dient. Die Gesamtfunktion des Einsatzes von Schleppern mit gekoppeltem Gerät wird jedoch vom Fahrer gesteuert, wobei er - in modernen Bauarten - auf rechnergestützte Entscheidungshilfen eines Fahrerinformationssystems zurückgreifen kann, das ihm Angaben über Motorzustandsdaten und Kraftstoffverbrauch, über Fahrgeschwindigkeit und Schlupf sowie über Flächenleistung, Zapfwellendrehzahl u. a. liefert.

In Abb. 31.2. wird eine zusammenfassende Übersicht zur Organstruktur des Schleppers gegeben.

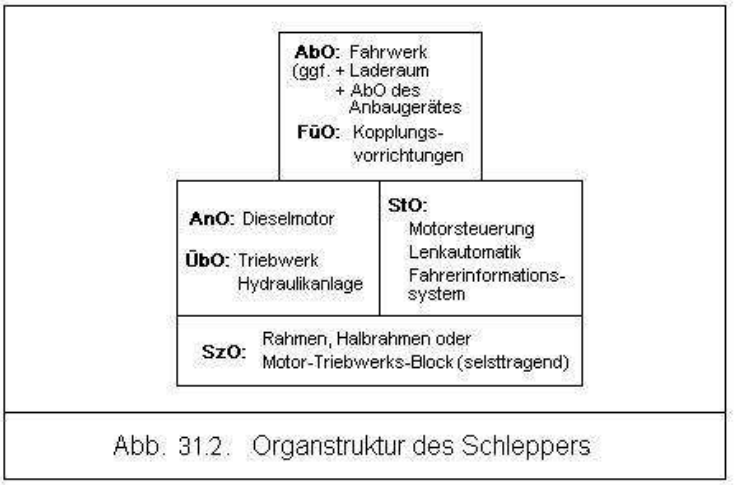


Abb. 31.2. Organstruktur des Schleppers

31.2.2. Anhängefahrzeuge

Der Großteil der landwirtschaftlichen Transporte vollzieht sich innerbetrieblich vom Hof zum Feld und umgekehrt sowie zwischen den Betriebstätten im Hofbereich. Das dafür zu nutzende Streckennetz besteht nur etwa zur Hälfte aus Straßen und geschotterten Wegen, der andere Teil sind wenig befestigte Feldwege und Feldspuren. Für diese Zwecke sind schleppergezogene Anhänger am besten geeignet. Für die verschiedenen Transportgüter, die sich durch Umschlagseignung und Raumgewichte in weiten Grenzen unterscheiden, wie z.B. Stroh und Heu (lose ca. 35 kg/m^3), gepresst in Ballen (ca. 90 kg/m^3), Grünfutter (gehäckselt ca. 350 kg/m^3), Getreide (ca. 700 kg/m^3+), Stallmist (ca. 800 kg/m^3), werden an Mehrzweckhängern Zusatzeinrichtungen angebracht, oder es sind Spezialfahrzeuge entwickelt worden.

Da die relativ kurzen Transportstrecken mit Be- und Entladevorgängen verknüpft sind, gehören Umschlaghilfen bei Anhängern - vorwiegend zum Entleeren - zur Standardausrüstung.

Die Bauarten der Anhängefahrzeuge unterscheiden sich primär durch die Art der Kupplung mit dem Zugfahrzeug in Zweiachsanhänger und Sattelanhänger. Letztere werden oft auch als Einachsanhänger bezeichnet, was jedoch nur zum Teil zutreffend ist, da sie auch mit Tandemachse (Achsabstand < 1 m) oder Doppel-

achse (Achsabstand 1-2 m) gebaut werden. Zweiachsanhänger stützen ihre gesamte Masse auf dem eigenen Fahrwerk ab. Die Vorderachse ist gelenkt und über eine Zuggabel mit der Anhängerkupplung des Zugfahrzeugs zu verbinden. Die vorwiegend verwendete Drehkreuzlenkung ermöglicht einen kleinen Wendekreis, bringt aber bei starkem Lenkeinschlag eine hohe Kippgefahr mit sich. Daher werden bei Arbeiten in Hanglagen Anhänger mit Achsschenkellenkung bevorzugt, da sie auch bei starkem Lenkeinschlag gute Seitenstabilität bewahren. Der Rahmen ist verwindungsweich, um Fahrbahnunebenheiten auszugleichen. Die universellen Kupplungsmöglichkeiten an nahezu jedes Zugmittel, auch hintereinander, die Bewegbarkeit von Hand im leeren Zustand sowie große Ladeflächen begründen die große Anwendungsbreite. Bei Sattelanhängern fehlt die lenkbare Vorderachse, dafür stützen sie den vorderen Teil ihrer Masse auf dem Zugfahrzeug ab und verbessern so durch die höhere Belastung der angetriebenen Hinterachse des Schleppers dessen Zugvermögen, was besonders bei schmierigen Bodenverhältnissen zur Schlupfverminderung von Bedeutung ist. Weiter Vorteile sind gute Manövrierfähigkeit, auch bei Rückwärtsfahrt und eine verwindungssteife Rahmenausführung, die die Aufbauten geringer belastet bzw. eine starre Kompaktbauweise wie Stahlmuldenaufbau ermöglicht.

Die Beweglichkeit zum Ausgleich von Bodenunebenheiten wird konstruktiv durch das Stützdreieck erreicht, gebildet von der dreh- und schwenkbaren Aufsattelkupplung und den beiden Radaufstandspunkten. Als Nachteil gegenüber Zweiachsanhängern ist besonders die geringere maximale Nutzmasse je Zugeinheit zu nennen, da Sattelanhänger nicht zusammengekoppelt werden können. Weitere Bauartendifferenzierungen bei den Anhängern ergeben sich aus dem Verwendungszweck als Mehrzweck- bzw. Spezialfahrzeug.

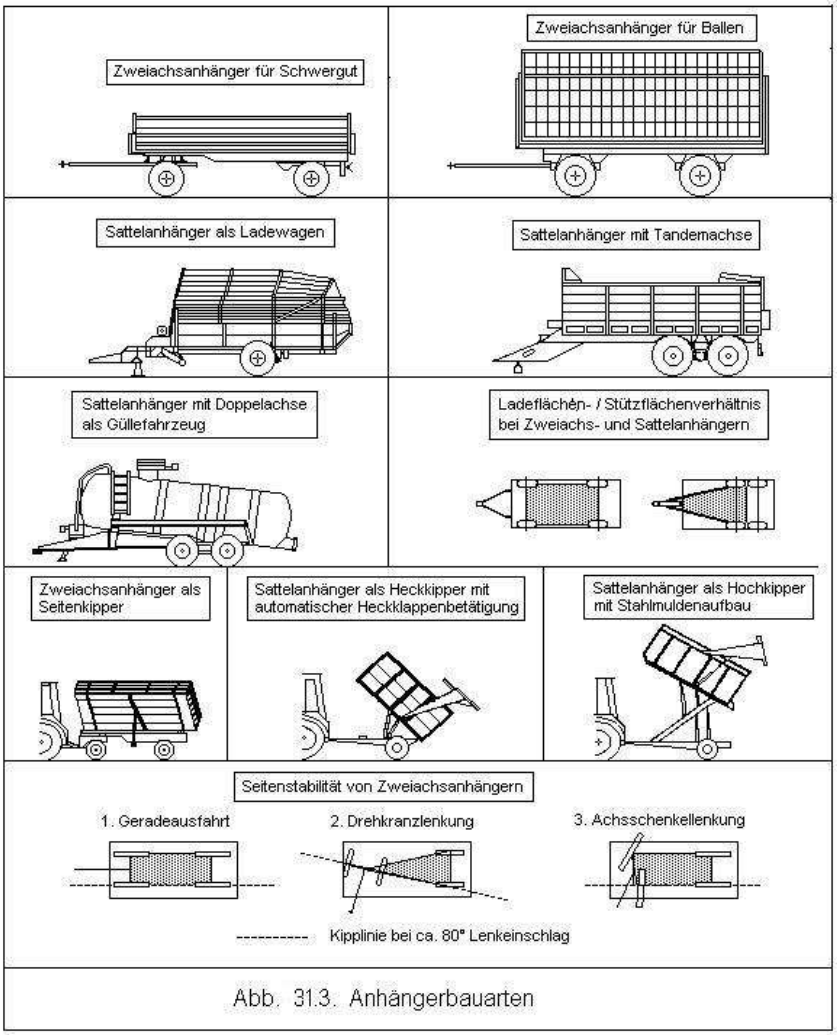


Abb. 31.3. Anhängerbauarten

Bei *Mehrzweckanhängern* überwiegt der Plattformwagen, teils mit festem Wagenboden und klappbaren Bordwänden, teils mit nach zwei Seiten oder auch nach drei Seiten kippbarer Ladefläche und automatischer Bordwandöffnung, betätigt meist durch hydraulische Teleskop-Hubzylinder, die eine Momententladung ermöglichen. Auf Grund ihrer Bauform und den vielgestaltigen Zusatzausrüstungen sind Mehrzweckanhänger für nahezu alle festen Transportgüter einsetzbar. *Spezialanhänger* sind für spezielle Transportaufgaben be-

stimmt und werden im Allgemeinen danach benannt, so z.B. nach Gütern *Gülletankanhänger* oder *Häckselgutanhänger*, nach Aufgaben *Hochkipper* oder *Selbstladeanhänger*. (Abb. 31.3.).

Als *Lader* werden Schlepper mit angebautem ein- oder zweiteiligem Ausleger bezeichnet, mit denen Lade-, Hub- und Tragefunktionen in der Fahrzeuglängsachse betrieben werden können, also keine seitlichen Schwenkbewegungen - im Gegensatz zu Drehkreuzmobilkranen (vgl. 30.5.1.) - möglich sind. Die Hubbewegung und die Betätigung der am Ausleger angebrachten Ladewerkzeuge erfolgt hydraulisch, während die Horizontalbewegungen vorwärts, rückwärts und seitwärts durch das Fahrwerk des Schleppers realisiert werden. Frontlader, die überwiegende Bauart, erreichen eine größere Hubhöhe, sind lenkfähiger und bieten bessere Sichtbedingungen als Hecklader; dem entgegen steht eine größere Kipp- und Pendelgefahr.

Lader werden vorrangig für den Schüttgutumschlag eingesetzt. Zur Beladung schiebt der Schlepper das Ladewerkzeug ebenerdig in den Gutstapel hinein. Die Hubkraft beträgt 4...9 kN, die Entladehöhe bei abgekipptem Werkzeug bis ca. 2,5m. Bei Frontladern mit Mietenstapelgerät ist die Hubkraft geringer, sie liegt bei 3,5 kN, die Hubhöhe beträgt jedoch bis zu 6 m. Mit Konstruktionen, die die Grundfläche des Ladewerkzeuges - wie beim Gabelstapler - parallel zur Fahrbahnfläche halten, ist auch Stückgut umschlagbar. Auch erlaubt die geringe Höhe der Schlepperlader das Arbeiten in Ställen, z.B. zum Dungschieben und -laden. (Abb. 31.4.)

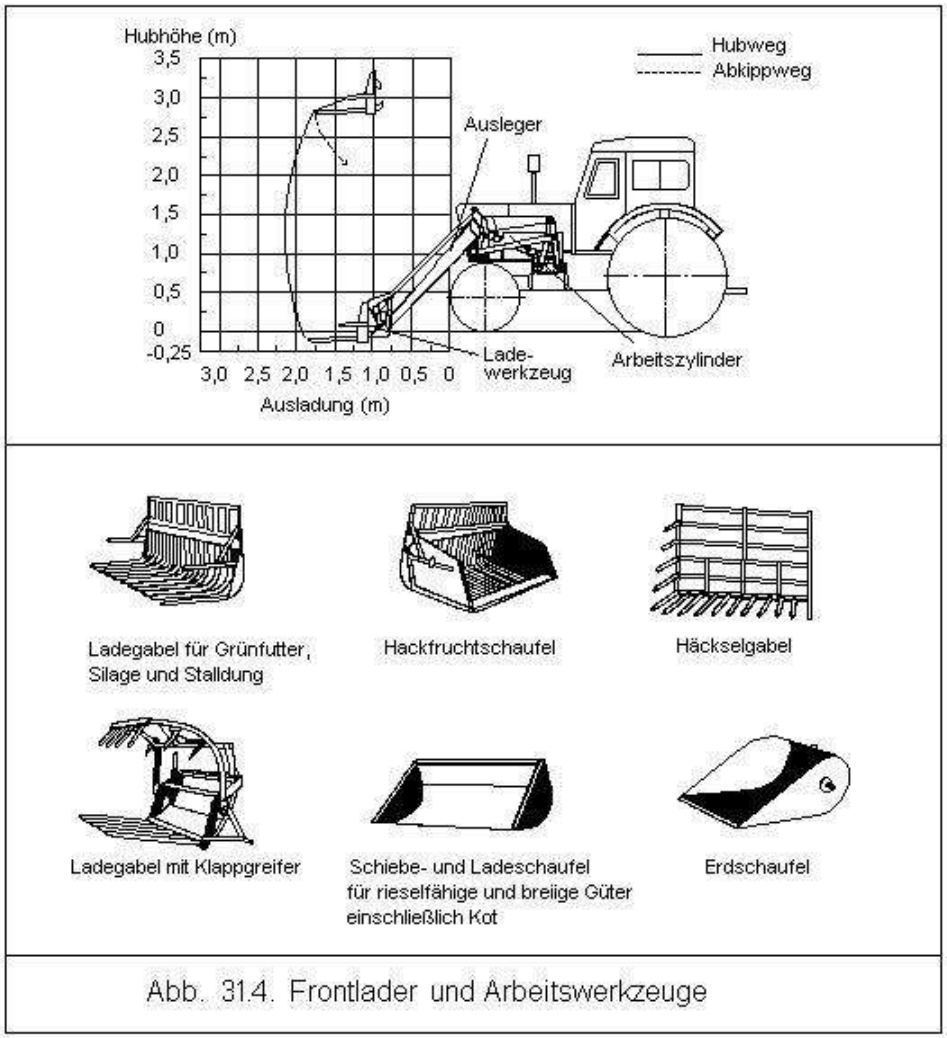


Abb. 31.4. Frontlader und Arbeitswerkzeuge

31.3. Maschinen und Geräte für die Pflanzenproduktion

31.3.1. Bodenbearbeitungsgeräte

Die Erzeugung pflanzlicher Produkte beruht auf dem Wachstums- und Entwicklungsprozess von Nutzpflanzen. Standort und Nährstoffquelle der Pflanzen ist der Boden. Seine Eigenschaft, fruchtbar zu sein, d.h. Pflanzenwachstum in unterschiedlicher Intensität und Produktivität zu ermöglichen, ist - außer vom Einfluss des Klimas - wesentlich von seiner Zusammensetzung, der Bodenart und von seiner Struktur abhängig.

Die Unterscheidung von *Bodenarten* basiert auf dem Korngrößenverhältnis der mineralischen Bestandteile des Bodens, ergänzt durch Humus- und Kalkanteile (Abb.31.5.).

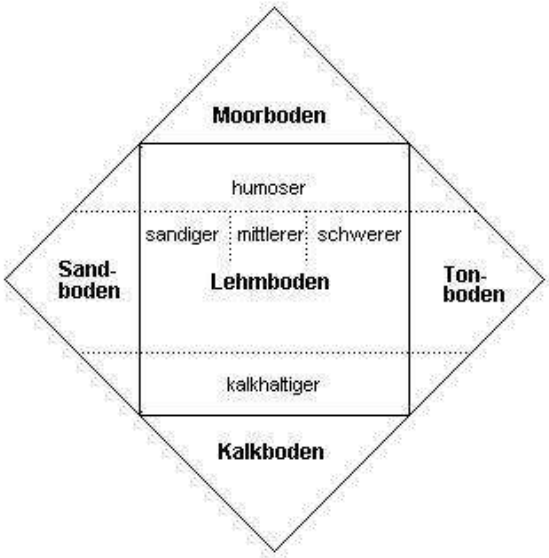


Abb. 31.5. Übersicht über Bodenarten (stark vereinfacht)

Im inneren Viereck der Übersicht befinden sich die ertragsfähigen Lehmböden mit guten physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften für die Wechselwirkung von Wasserführung und Wasserhaltefähigkeit, von Nährstofffreisetzung und Nährstoffbindung, von Durchlüftung und Wärmehaushalt. In den Spitzen sind die extremen Böden angeführt, die ackerbaulich nur bedingt wirtschaftlich nutzbar sind.

Die optimale *Struktur* des Bodens ist der Garezustand. Darunter versteht man ein lockeres, elastisches Bodengefüge, die Krümelstruktur, mit etwa 50 % Porenvolumen, je zur Hälfte als luftführende Hohlräume und wasserführende Kapillaren. Diese Struktur wird während der Anbauperiode vorwiegend negativ verändert, meistens verfestigt und zwar in unterschiedlichem Umfang in Abhängigkeit von der Fruchtart, sowohl durch klimatische Faktoren (Niederschläge, Sonneneinstrahlung u. a.), als auch durch den Bodendruck der Bearbeitungs- und Transporttechnik.

Zur Unterstützung der Regeneration der Bodenstruktur durch mikrobiologische, chemische und physikalische Prozesse werden mechanische Bearbeitungsmaßnahmen mittels verschiedenartiger Arbeitsorgane in bestimmten Schichtdicken bzw. Tiefenlagen der Bodenschichten durchgeführt. Je nach Bearbeitungsziel werden Bodenbearbeitungsgeräte als Kopplungsgeräte am Schlepper einzeln oder in Kombination in unterschiedlichen Bauarten der Geräte und ihrer Werkzeuge eingesetzt.

Die Bodenbearbeitung findet vorwiegend nach der Ernte bis zur Neubestellung der Bodenfläche statt und umfasst Stoppelumbruch (Schälen), Grundbodenbearbeitung durch Pflügen oder Grubbern und Saat- und Pflanzbettbereitung. Ergänzende Bodenbearbeitung ist die mechanische Pflege der Pflanzenbestände während der frühen Wachstums- und Entwicklungsphase, da diesbezügliche Maßnahmen vornehmlich auf die Verbesserung der Bodenstruktur ausgerichtet sind und Wildkrautvernichtung nur in wenigen Fällen Vorrang hat. Mechanische Pflegemaßnahmen werden ganzflächig durch den Einsatz von Eggen und zwischen den Reihen mittels Hack- und Häufelwerkzeugen vorgenommen. Pflanzenpflege umfasst alle Bearbeitungsgänge zur Förderung von Wachstum und Entwicklung sowie zur Gesunderhaltung der Pflanzenbestände, somit neben der mechanischen auch die chemische Pflege, die auf dem Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln beruht und deren technische Arbeitsmittel in den Folgeabschnitt einzuordnen sind (Tabelle 31.1.).

Wirkung \ Gerät	Pflug	Grubber	Egge	Schleppe	Walze	Hacke Häufelgerät
BODEN: Wenden	●					
BODEN: Lockern	●	●	○			●
BODEN: Mischen	●	○	○			●
BODEN: Krümeln	○	○	●	○	○	○
BODEN: Einebnen		○	○	●	○	
BODEN: Verdichten			○	○	●	
Wildkräuter bekämpfen	○	○	●			●

● Hauptwirkung ○ Nebenwirkung

Tabelle 31.1. Wirkungen der Bodenbearbeitungsgeräte

Die wichtigsten Typen von Bodenbearbeitungsmaschinen und -geräten sind Pflüge, Eggen, Schleppen, Walzen, sowie Hack- und Häufelgeräte.

Pflüge wenden, lockern und mischen den Boden in verschiedener Bearbeitungstiefe. Sie werden unterschieden:

- nach der Bauart der Arbeitsorgane in Schar- , Scheiben- und Meißelpflüge
- nach der Bearbeitungstiefe in Schäl- , Universal- und Tiefpflüge
- nach der Arbeitsweise in Beet- und Wendepflüge sowie
- nach der Kopplung mit dem Schlepper in Anhänge-, Aufsattel- und Anbaupflüge.

Die Bauart eines Pfluges ist erst durch die Beachtung aller 4 Kriterien eindeutig bestimmt. Die meistverwendete Bauart ist der Schar-Universal-Beet-Aufsattelpflug (Abb.31.6.).

Die charakteristischen Werkzeuge des *Scharpfluges* sind Schar und Streichblech. Von der Schar wird ein rechteckiger Erdbalken von ca. 20... 30 cm Breite und ca. 25... 45 cm Tiefe aus dem ungepflügten Boden herausgeschnitten und durch die Vorwärtsbewegung des Pfluges über das gewölbte Streichblech geschoben. Dabei wird der Erdboden gelockert, um etwa 120...140° gewendet und seitlich in die vom vorhergehenden Pflugkörper geschaffene Furche abgelegt. Wie intensiv und exakt diese Vorgänge ablaufen, hängt von der Form des Streichblechs, von vorhandenen Vorwerkzeugen, von Bodenart und -zustand sowie von der Fahrgeschwindigkeit ab. Scheibenpflüge haben als Arbeitswerkzeuge gewölbte Scheiben, die drehbar gelagert die gleiche Funktion wie Schar und Streichblech erfüllen. Die Arbeitsorgane der Meißelpflüge sind schmale starre schrägstehende Meißel mit einstellbaren Scharplatten an den Spitzen; damit wird der Boden in größerer Tiefe (60... 100 cm) gelockert.

Nach dem Kriterium Bearbeitungstiefe sind Meißelpflüge als Tiefpflüge einzuordnen. Schälpflüge erfassen nur die obere Bodenschicht (ca. 5 ...15 cm). Dabei steht die flache Lockerung zur Vermeidung von Wasserverdunstungen bei gleichzeitiger grober Einmischung von Ernterückständen und Wildkrautbewuchs im Vordergrund. Universalpflüge werden für das Ziehen der Saat- und Herbstfurche mit einer Arbeitstiefe von 25... 45 cm eingesetzt.

Nach der Arbeitsweise, ob die Bodenwendung nur nach einer Seite oder nach beiden Seiten möglich ist, werden Scharpflüge in Beet- und Wendepflüge unterschieden. Beetpflüge wenden den Bodenbalken einseitig, meist nach rechts. Daher muss zur Vermeidung langer Leerfahrten am Vorgewende die Ackerfläche in 30... 60 m breite Beete eingeteilt werden.

Wendepflüge können den Bodenbalken nach rechts oder links wenden, daher in der gleichen Furche hin und her ansetzen, benötigen dazu aber einen zweiten Pflugkörpersatz. Bei Kehrpflügen ist der zweite Satz spiegelbildlich auf einer Drehachse angeordnet, bei Kipppflügen ist jeweils ein Satz vorn und hinten am Schlepper angebaut, der dann als 2-Wege-Schlepper mit Schwenksitz ausgerüstet sein muss. Bei Wechselpflügen sind zwei Sätze am Schlepperheck angebaut, die wechselweise eingesetzt und ausgehoben werden können.

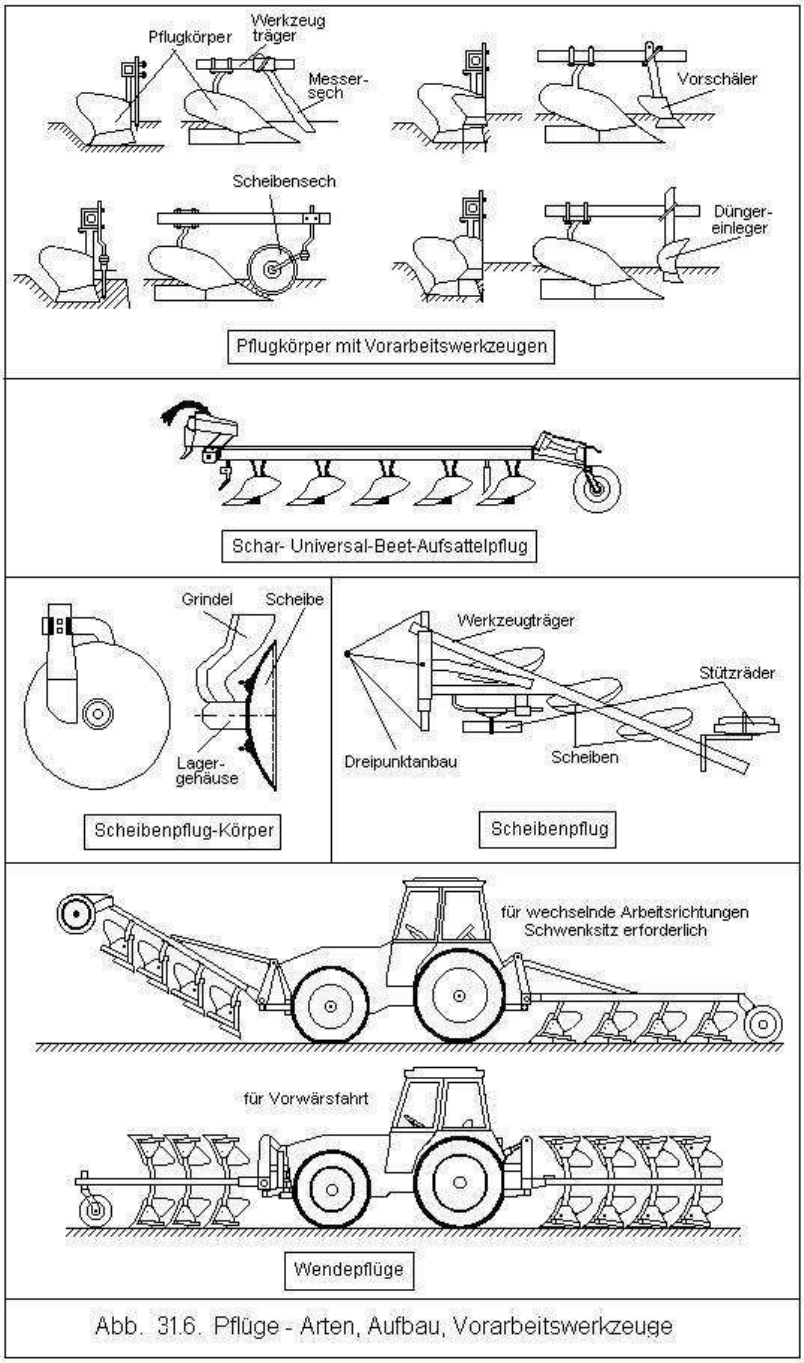


Abb. 31.6. Pflüge - Arten, Aufbau, Vorarbeitswerkzeuge

Von den drei Arten der Kopplung des Pfluges am Schlepper haben nur noch Anbau- und Aufsattelpflüge Bedeutung. Sie werden am Dreipunktkraftheber des Schleppers angebracht. Anhängepflüge sind technisch überholt.

Grubber sind Geräte zur Bodenlockerung. Für eine Bearbeitungstiefe von 12... 20 cm sind die Arbeitswerkzeuge federnde, halbstarre oder starre Zinken mit Spitz- oder Gänsefußschar, die als Nebenwirkung den Boden auch krümeln, mischen und einebnen sowie Wurzelwildkräuter herausreißen. Für Tiefenlockerung (35 ... 70 cm) bestehen die Werkzeuge aus einem Schwert mit Schneidkante und schmalem, rechteckigem, spitzwinklig zum Schwert stehendem Schar, die durch eine hydraulische Überlastsicherung vor Bruch weitgehend geschützt sind. Bauart und Wirkung der Schwertgrubber sind mit denen der Meißelpflüge vergleichbar (Abb. 31.7.).

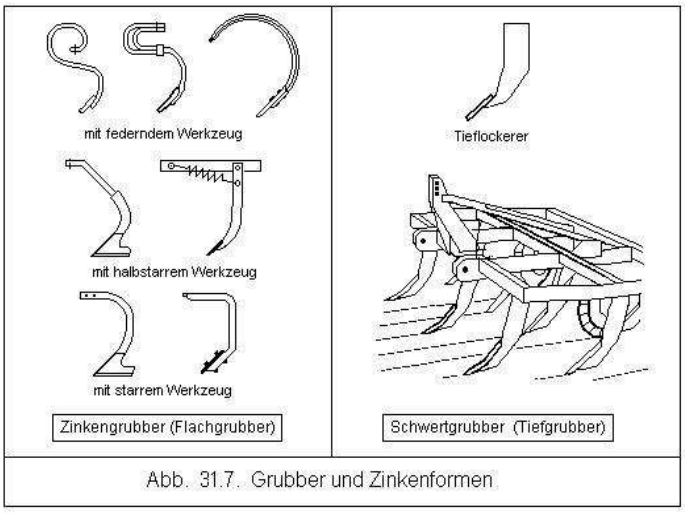


Abb. 31.7. Grubber und Zinkenformen

Eggen dienen vorwiegend dem Krümeln der Bodenoberfläche, erzielen als Nebenwirkungen jedoch auch deren Lockerung, Vermischung und Einebnung, ggf. auch Verdichtung. Arbeitswerkzeuge der Zinkeneggen sind Starr- oder Federzinken, in der Form vergleichbar mit denen der Grubber, jedoch kürzer, dafür dichter neben- und hintereinander an starren oder flexiblen Längs- und Querstreben angebracht oder auch netzartig verbunden. Wälzeggen haben nadel-, messer- oder spatenförmige Werkzeuge sternartig nebeneinander auf einer Achse fest oder taumelnd gelagert, evtl. auch mit Drähten diagonal verbunden. Die Werkzeuge der Scheibeneggen sind gewölbte Scheiben mit glatter oder gezahnter Schneide, gruppenweise winklig zur Fahrtrichtung verstellbar. Bearbeitungseffekt und Einsatz von Scheibeneggen überschneiden sich mit denen von Schälpflügen (Abb. 31.8.).

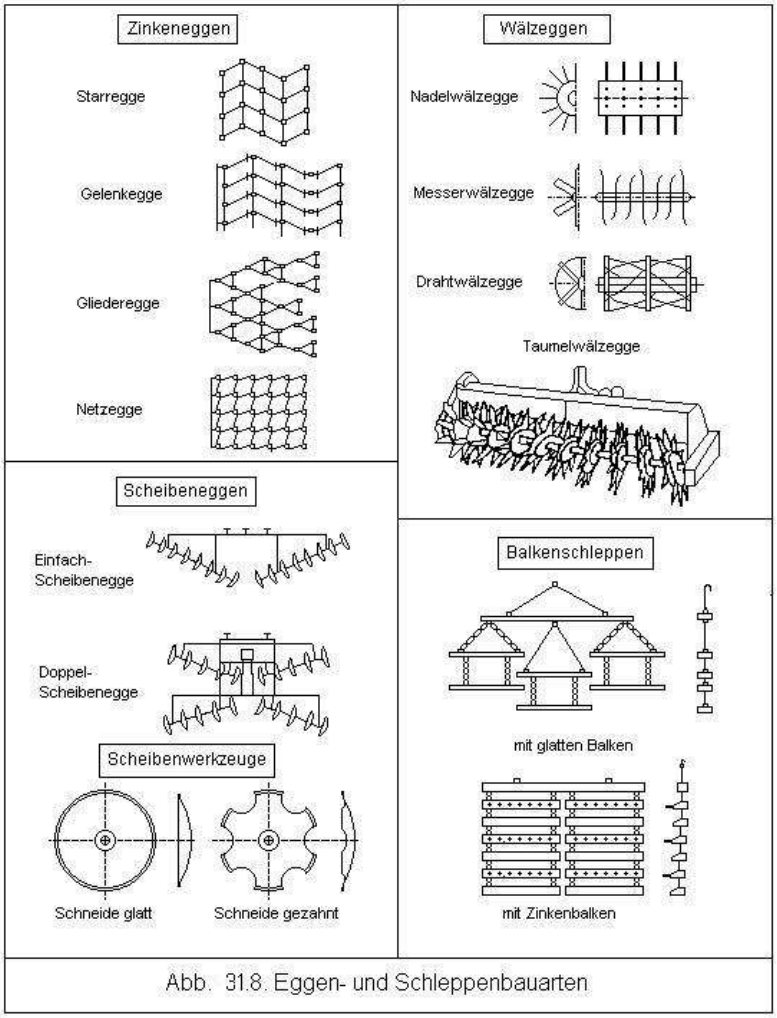


Abb. 31.8. Eggen- und Schleppenbauarten

Schleppen werden zum Einebnen der Bodenoberflächen eingesetzt. Dabei wird der Boden je nach Art und Zustand auch gekrümelt oder verdichtet. Nach der Werkzeugart unterscheidet man Balken-, Kasten-, Reifen- und Kettenschleppen.

Walzen verdichten den Boden, wenn durch vorhergegangene Bearbeitung ein zu lockerer Zustand mit Hohlräumen oder Kluten entstand, wobei zusätzlich auch gekrümelt und eingeebnet wird. Nach den Arbeitswerkzeugen werden Glatt- und Rauhwalzen unterschieden. *Glattwalzen* haben einen zylindrischen Stahlblechmantel und können durch Füllung (Sand, Wasser u. a.) in ihrer Masse, die maßgeblich für die Wirkung ist, erhöht werden. *Rauhwalzen* bestehen aus scharfkantigen Stahlgussringen, die z.B. bei der Cambridgewalze aus gezackten Scheiben und glatten Ringen mit unterschiedlich großen Außen- und Innendurchmesser bestehen, wodurch eine unterschiedliche Drehzahl der Scheiben und damit ein Selbstreinigungseffekt erreicht werden. *Krumenpacker* haben Abstand zwischen den Scheiben und dringen somit tiefer in den Boden ein (Abb. 31.9.).

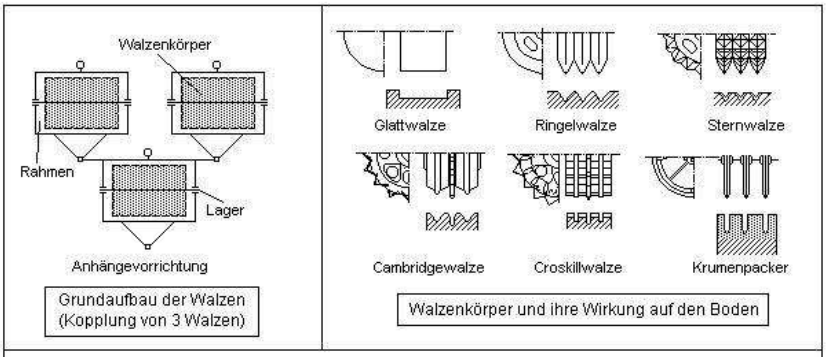


Abb. 31.9. Walzenbauarten

Hack- und Häufelgeräte, meist als Vielfachgeräte bezeichnet, da ein schnelles und leicht auszuführendes Wechseln verschiedener Werkzeuge wie Gänsefuß- bzw. Winkelmesser und Häufler am Werkzeugträger charakteristisch ist, werden zur Zwischenreihenbearbeitung von Hackfrüchten (Rüben, Kartoffeln, Gemüse) eingesetzt. Bei Hackarbeiten sollen die Werkzeuge bis auf 3 cm an die Pflanzenreihe herangeführt werden können, ohne die Kulturpflanzen zu schädigen oder zu verschütten. Dazu dienen in Neigung, Fahrtrichtung und seitlicher Distanz verstellbare Hohlschutzscheiben zwischen Hackmesser und Pflanzenreihe. Präzise Führung der Geräte ist durch hydraulische Feinlenkung gegeben, die eine seitliche Verschiebbarkeit der Werkzeugträger gegen das Grundgestell von mindestens ±20 cm zulassen. Häufelwerkzeuge bestehen aus einer spitzen symmetrischen Schar mit Pflugbrust und spiegelbildgleichen verstellbaren Streichblechflügeln. Zur Anpassung an Bodenunebenheiten sind die Werkzeuge über vertikal bewegliche Führungen am Werkzeugträger angebracht.

Bauformen sind das Heck- und das Zwischenachsanbauvielfachgerät.

31.3.2. Maschinen und Geräte zum Ausbringen von Produktionsmaterialien

Eine gute Bodenstruktur, durch effektive Bodenbearbeitung gefördert, ist nur eine von mehreren Voraussetzungen für hohe Erträge im Pflanzenbau. Eine weitere Bedingung ist die räumlich und zeitlich bedarfsgerechte Zuführung von Produktionsmaterialien (Dünger, Saat- und Pflanzgut, Pflanzenschutzmittel) in den bzw. auf den Boden. Das betrifft:

- die gleichmäßige *Versorgung mit Nährstoffen* und strukturverbessernden Hilfsstoffen in Form von anorganischen und organischen Düngemitteln
- die exakte *Verteilung von Saat- und Pflanzgut* auf der Ackerfläche in gleichmäßiger Bodentiefe und in berechneter Standraumzuweisung für die Einzelpflanze und die Bestandsdichte
- die *Zusatzbewässerung* bei unzureichenden ertragsbegrenzenden natürlichen Niederschlagsmengen
- die *Applikation von Pflanzenschutzmitteln* zur Verhütung und Bekämpfung von Schädlingsbefall und Krankheiten der Kulturpflanzen zwecks Qualitäts- und Ertragsmengensicherung

Die diesbezüglich von der Technik zu lösende Aufgabe liegt vorrangig in den präzisen Mengenzuweisung und Gleichmäßigkeit bei der Verteilung der Materialien auf die Fläche, da jegliche Abweichung zu Ertragseinbußen und Umweltschädigungen führen kann. Zur Feststoffverteilung werden Streu-, Drill- und Pflanzmaschinen eingesetzt. Flüssigkeiten werden verspritzt, versprüht oder vernebelt. Die Transportbevorratung der Materialien ist nur bei der Ausbringung großer Mengen pro Fläche technisch von Bedeutung, so bei Stallmist, Gülle und Wasser.

Innerhalb der technischen Systeme zur Ausbringung von Produktionsmaterialien unterscheiden wir im Wesentlichen 3 Gruppen:

- Maschinen und Geräte zur Düngung
- Maschinen und Geräte zur Aussaat
- Maschinen und Geräte für Pflege und Pflanzenschutz.

Maschinen und Geräte zur Düngung werden in ihrem funktionellen Aufbau vor allem vom Aggregatzustand und den Eigenschaften der auszubringenden Düngemittel bestimmt. Als Dünger werden feste (Stalldung, Kompost, Mineralsalze, Harnstoff) und flüssige (Jauche, Gülle, Ammoniak) Düngemittel eingesetzt.

Stalldungstreuer werden meist als Anhänger für Schlepper gebaut und bestehen aus folgenden Funktionsgruppen. Das eigentliche Arbeitsorgan ist die Streueinrichtung, die aus mehren am Ende des Anhängers horizontal oder vertikal angeordneten Streutrommeln mit Reiß- und Wurfzinken besteht. Die Ladefläche mit Rahmen, Fahrwerk und Aufsattelvorrichtung bildet das Stützorgan und nimmt zugleich das Düngegut auf. Eine Vorschubeinrichtung mit Kratzerbändern positioniert den Stalldung zur Streueinrichtung. Das Übertragungsorgan wird vom Getriebe für die Vorschub- und Streueinrichtung gebildet. Es erhält die Operationsenergie über die Zapfwelle des Schleppers.

Mineraldüngerstreuer werden sowohl als Spezialmaschinen als auch als Aufsattel- oder Anhängegeräte gebaut. Sie sind ähnlich aufgebaut wie die Stalldungstreuer. Die Streueinrichtung (AbO) besteht aus Schleuderscheiben oder Schleudertellern. Das Düngemittel wird in einem Vorratsbehälter mitgeführt, der mit Rührwelle und Dosiereinrichtung ausgestattet ist und den Arbeitsgegenstand der Streueinrichtung zuführt (PsO). Der Anhänger mit Rahmen, Fahrwerk und Anbauvorrichtung bildet das Stützorgan. Die Operationsenergie wird über die Zapfwelle des Schleppers zugeführt und über Getriebe auf die Aggregate weitergeleitet (ÜbO).

Maschinen zur Gülleausbringung sind im Prinzip Anhängertankwagen mit speziellen Zusatzausrüstungen für die Gülleausbringung. Der Gülletank ist auf einem Aufsattelanhänger befestigt. Eine über die Hydraulikanlage oder die Zapfwelle des Schleppers angetriebene Verdichteranlage erzeugt den für die Ausbringung notwendigen Druck (ÜbO). Ein Verteiler bildet das Arbeitsorgan. Er besteht aus einer verstellbaren Drosselklappe und einem Prallblech. Es werden Verteilbreiten von 4 bis 12m erreicht.

Zu den **Maschinen und Geräten für die Aussaat** gehören Drillmaschinen, Einzelkornsämaschinen, Kartoffellegemaschinen und Pflanzmaschinen. Sie haben die Funktion, Saat- und Pflanzgut unterschiedlicher Art und Form (Körner, Knollen, Jungpflanzen) in vorgeschriebener Aussaatmenge, Aussaattiefe und Verteilung in den vorbereiteten Boden einzubringen. Die Konstruktion der Arbeitsorgane hängen wesentlich von den angewandten Aussaatverfahren und den Eigenschaften das Saat- und Pflanzgutes ab. (Abb. 31.10.)

Drillmaschinen sind für die Körnersaat konstruiert. Sie werden durch folgende Funktionsorgane charakterisiert. Das Saatgut gelangt aus dem Saatgutbehälter mit Rührwelle in das Sägehäuse mit Särad (Nocken- oder Schubrad) (AbO). Es fördert das Saatgut über eine federnde Bodenklappe in das Saatleitungsrohr (PsO) und von da aus in die vom Säschar gezogenen Bodenrillen. Der Zustreicher bedeckt die Körner mit einer dünnen Bodenschicht. Der Sämechanismus wird durch ein Getriebe (ÜbO) über die Bodenräder wegabhängig angetrieben. Drillmaschinen können sowohl mit mechanischer als auch pneumatischer Dosierung ausgerüstet sein.

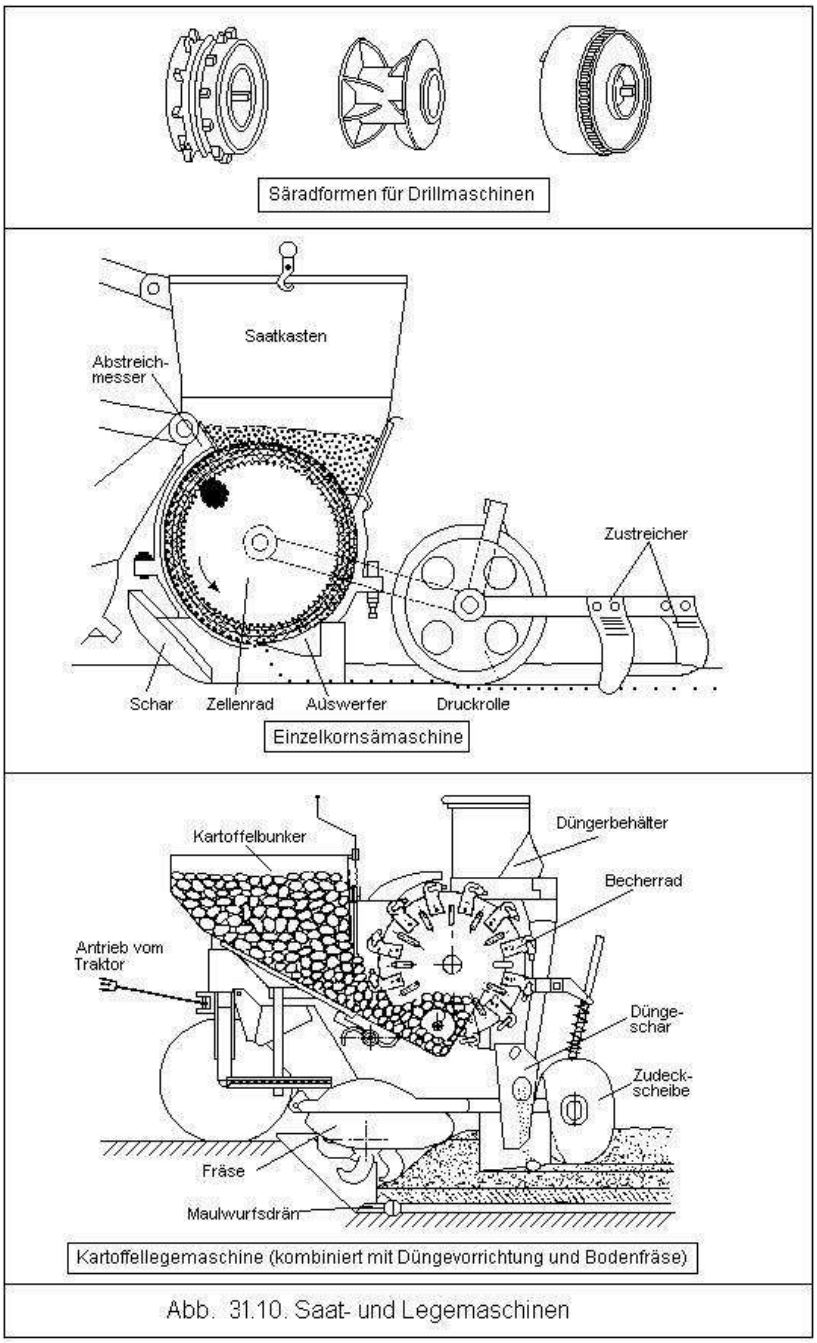


Abb. 31.10. Saat- und Legemaschinen

Einzelkornsämaschinen kommen dort zum Einsatz, wo das Saatgut innerhalb der Reihen in bestimmten Abständen und in vorgegebener Tiefe abgelegt werden soll. Das ist vor allem für die Mais- und Rübenaussaat von Bedeutung. Charakteristisch für das Arbeitsorgan ist das Zellenrad. Die einzelnen am Umfang angeordneten Zellen nehmen jeweils ein Saatkorn auf. Deshalb sind die Zellengröße und Korngröße jeweils aufeinander abgestimmt. Im Bereich des Auswerfers fallen die Körner in die Saatrille. Druckrolle und Zustreicher bedecken das Saatgut mit Erde.

Kartoffellegemaschinen befördern das Saatgut über ein Becherband oder ein Becherrad aus dem Vorratsbehälter. Eine Rüttelvorrichtung sorgt dafür, dass jeweils nur eine Kartoffel in dem Becher liegt. Vom oberen Drehpunkt fallen sie in den Legeschacht und von da aus in die vom Furchenschar oder einer Fräse gezogene Saatfurche. Eine Zudeckscheibe bedeckt die Kartoffeln mit Erde und besorgt die Anhäufelung eines Dammes.

Für das Setzen von Gemüsejungpflanzen (z.B. Kohl, Salat) sind spezielle *Pflanzmaschinen* erforderlich. Sie sind im Allgemeinen als Anbauaggregate ausgeführt. Ihre Hauptfunktionsgruppen sind der Grundrahmen mit Anbau- oder Aufsattelvorrichtung und Vorratstisch (SzO) und das Pflanzaggregat (AbO), bestehend aus Hohlschar, Pflanzelement und Druckrollen. Bei einigen Typen sind auch zusätzlich Gießeinrichtungen vor-

handen, um die Pflanzen anzugießen. Der Antrieb erfolgt über ein Rädergetriebe (ÜbO). Das Hohlschar zieht die Pflanzfurche. Die Pflanzen werden von Hand in die Zuführungsscheiben des Pflanzaggregats gegeben und durch die Drehbewegung in der Pflanzfurche abgelegt. Andruckrolle und Zustreicher besorgen die Bedeckung mit Erde.

Als **Maschinen für die Pflege und den Pflanzenschutz** kommen vor allem *Hack-, Häufel- und Striegelgeräte* zur Bodenlockerung und zur Unkrautbekämpfung zum Einsatz. Daneben werden auch Netzeggen, Walzen und Ackerbürsten (Unkrautrechen) genutzt. Sie sind oft als Vielfachgeräte gestaltet, die aus einem Gestellrahmen mit Stützrädern und dem auswechselbaren Werkzeugträger bestehen.

Zum Versprühen und Verstäuben von Pflanzenschutzmitteln dienen mit Pumpen und Gebläsen (AnO) ausgestattete *Spritz- und Sprühaggregate*. Ihre wesentlichen Funktionsgruppen sind die Verteileinrichtungen (AbO), die aus einer Vielzahl auf Düsenträger angeordneter Düsen (Pralldüsen, Sprühdüsen) bestehen.

31.3.3. Erntemaschinen und -aggregate

Technische Systeme zur Ernte, Einbringung und Lagerung der Feldfrüchte werden im Allgemeinen eingeteilt in

- Systeme für die Halmfutterernte
- Getreideerntemaschinen
- Hackfruchterntemaschinen
- Einrichtungen für die Trocknung und Lagerung

Systeme für die Halmfutterernte sind Schwadmäher, Schwadbearbeitungsmaschinen, Feldhäcksler und Sammelpressen.

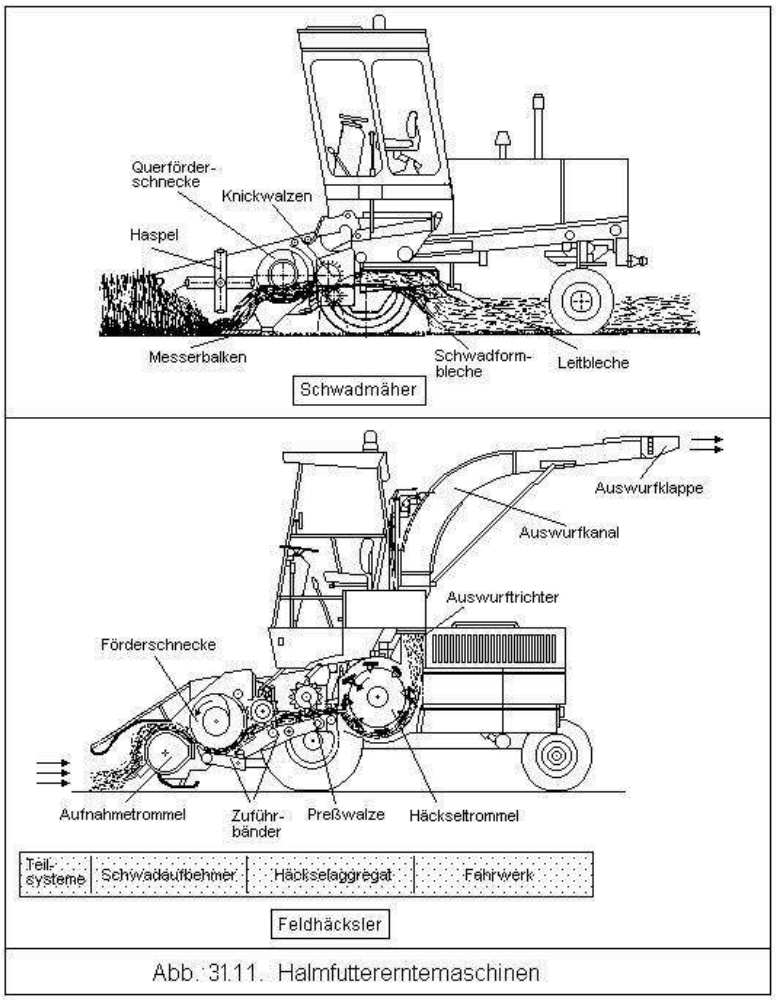


Abb. 31.11. Halmfuttererntemaschinen

Schwadmäher (Abb.31.11.) haben die Aufgabe, das Erntegut (Gras und alle Feldfutterpflanzen mit Ausnahme von Sonnenblumen und Mais) zu mähen, es zur Beschleunigung des Welkprozesses zu knicken und im Schwad abzulegen. Die Hauptbestandteile des Bearbeitungsteils sind das Schneidwerk, die Knickwalzen und die Schwadformbleche.

Feldhäcksler (Abb.31.11.) mähen das Erntegut oder nehmen es vom Schwad auf, häckseln es auf eine bestimmte Länge und fördern es auf ein Transportfahrzeug. Als wesentliche Teilsysteme sind der Schwadaufnehmer (bzw. das Schneidwerk), das Häckselaggregat und das Fahrwerk vorhanden.

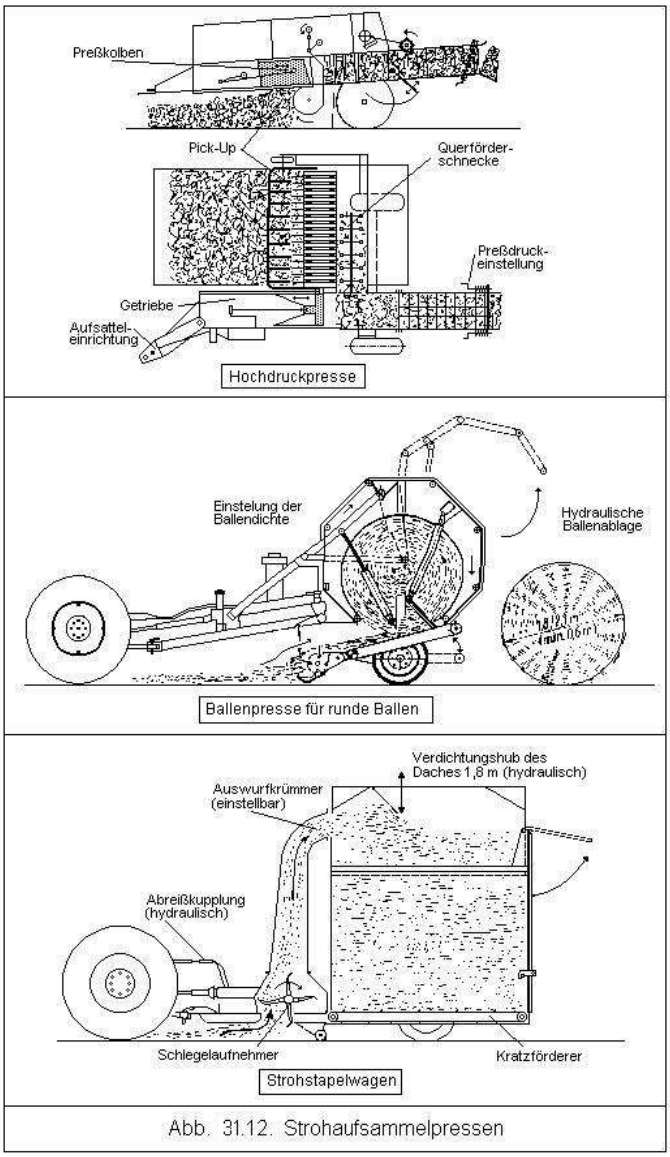


Abb. 31.12. Strohaufsammelpressen

Während Schwadmäher und Feldhäcksler vorwiegend für die Grünfutterernte eingesetzt werden, wird die Trockenfutterernte (Heu und Stroh) mit *Aufsammelpressen* durchgeführt. Dabei kommen Hochdruckpressen, Rundballenpressen, Kastenpressen und Strangpressen zum Einsatz (Abb.31.12.).

Hochdruckpressen bestehen aus einem Pick-Up, von dem das im Schwad liegende Erntegut aufgenommen wird. Über eine Querförderschnecke wird es dem Presskanal zugeführt. Der Presskolben verdichtet das in den Presskanal hineinragende Stroh. Die Pressdichte kann über Zugspindeln, die Ballenlänge über eine Schubstange eingestellt werden. Eine Bindeeinrichtung verschnürt den Ballen und wirft ihn über das Ablageblech ab. Der Antrieb der Ballenpresse erfolgt über die Zapfwelle des Schleppers.

Rundballenpressen nehmen das Stroh über das Pick-Up auf und führen es in die Preßkammer. Mit einer Rollkette wird es verdichtet und zu einem Rollballen geformt. Die Ballendichte wird durch die Vorspannung der Rollen bestimmt.

Eine weitere Form der Aufsammelpressen sind die *Strohstapelwagen*. Sie werden über ein Schlegelaufnehmergebläse von oben beschickt. Der obere Behälterteil preßt das Stroh hydraulisch zusammen. Der fertige Ballen verlässt den Pressraum mittels des Kratzförderers am Boden durch eine abklappbare Rückwand.

Die wichtigste **Getreideerntemaschine** ist der *Mähdrescher*. Er hat die Aufgabe das Getreide zu mähen, zu dreschen, zu reinigen und zwischenzulagern. Er ist im Prinzip ein verkettetes Funktionssystems, in dem mehrere jeweils einen technologischen Bearbeitungsvorgang ausführende Teilsysteme hintereinander geschaltet sind: das Schneidwerk, das Dreschwerk, der Schüttler, die Reinigungseinrichtung und die Fördereinrichtung mit Kornsammelboden. Alle Teilsysteme sind an das Fahrwerk mit Rahmen angebaut (Abb. 31.13.).

Das Schneidwerk hat die Aufgabe, das Getreide abzumähen und es dem Dreschwerk zuzuführen. Mitgerissene Steine werden dabei am Ende des Einzugskanals ausgesondert. Dreschtrommel und Dreschkorb trennen die Körner aus den Ähren ab. Etwa 90% der Körner werden so zusammen mit Spreu und Kurzstroh auf den Stufenboden geführt. Im Schüttler erfolgen die Restkornabscheidung und der Strohausstoß. Das Erntegut wird über 4 bis 6 Hordenschüttler geführt. Rotierende Zinken oberhalb der Horden erhöhen die Trennwirkung von Stroh und Körnern. Das Langstroh wird abgeschieden und im Schwad auf das Feld abgelegt. Körner und Kurzstroh werden zum Stufenboden zurückgeführt. In der Reinigungseinrichtung erfolgt die Grobreinigung der Körner. Sie gelangen über Siebe auf den Sammelboden und gelangen über eine Förderschnecke in den Körnerbunker. Die spätere Übergabe an ein Transportfahrzeug geschieht über eine Entleerungsschnecke.

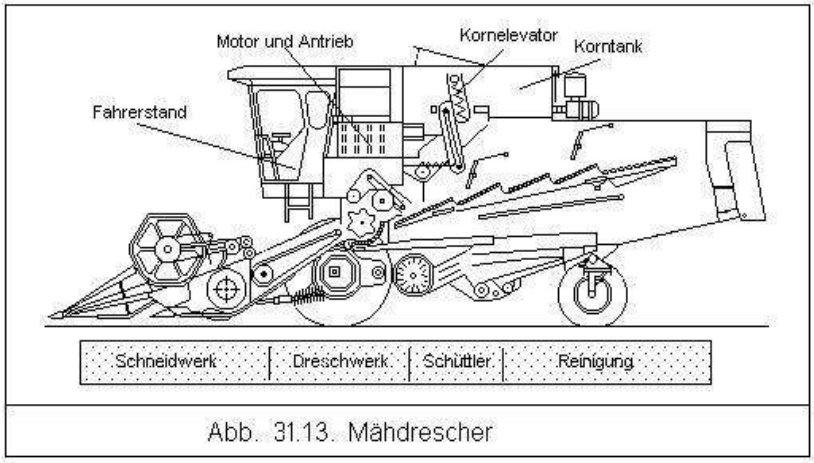


Abb. 31.13. Mähdrescher

Hackfruchterntemaschinen haben die Aufgabe, im Boden sitzende Wurzel- und Knollenfrüchte (Kartoffeln, Zuckerrüben, Futterrüben, Zwiebeln) aus dem Erdreich herauszulösen, sie von den anhaftenden Blättern zu trennen, sie zu reinigen und zu sammeln. Dabei sind in der Regel große Mengen Erde zu bewegen und die Früchte möglichst beschädigungs- und beimengungsfrei zu bergen.

Für die Ernte der Zuckerrüben ist folgender technologischer Ablauf vorgegeben: von den Rüben muß zunächst das Blatt abgeschnitten (Köpfen), gesammelt und abgefahren werden. Es folgt das Roden und Reinigen der Rüben, sowie das Fördern und Ablegen der Früchte. Die Ernte kann als einphasiges Verfahren mit dem *Rübenköpfroder* oder als zweiphasiges Verfahren durchgeführt werden. Bei letzterem schneidet zunächst ein *Köpflader* das Kraut ab und putzt die Schnittfläche der Rüben. Der *Rübenrodelader* hebt die geköpften Rüben aus dem Boden, reinigt sie vom anhaftenden Boden, trennt Steine und Kluten ab und fördert sie auf ein Transportfahrzeug. Die Hauptfunktionsgruppen des Rübenrodeladers sind das Rodeaggregat (AbO 1), die Reinigungs- (AbO 2) und Fördereinrichtung (AbO 3), das Antriebssystem (AnO und ÜbO), das Steuerungssystem (StO) und das Fahrgestell mit Rahmen. Das Rodeaggregat besteht aus 6 bis 8 Rodeorganen, die als Doppelzinkenschar, Scheibenschare oder Radrodeschare ausgebildet sein können. Sie heben die geköpften Rüben möglichst senkrecht aus dem Boden, um Wurzelbruch zu vermeiden. Vor den Scharen ist eine Lenk- und Tiefenautomatik mit Tastbügeln und Tasträdern angeordnet, deren Steuersignale die Tiefen- und Seiteneinstellung der Rodeorgane beeinflusst. Die Siebwalzeneinrichtung nimmt das Rodegut auf und scheidet den Hauptteil der Beimengungen ab. Die Rüben werden über eine Übergabewalze und den Steilförderer auf den Abgabeförderer weitergeleitet. Die konstruktive Gestaltung sorgt dabei für die Abscheidung der restlichen Beimengungen. Der Antrieb der Rodeaggregate erfolgt über ein von Gelenkwellen angetriebenes Hauptgetriebe (ÜbO). Das Fahrwerk (SzO) besitzt gelenkte Vorderräder (Abb. 31.14.).

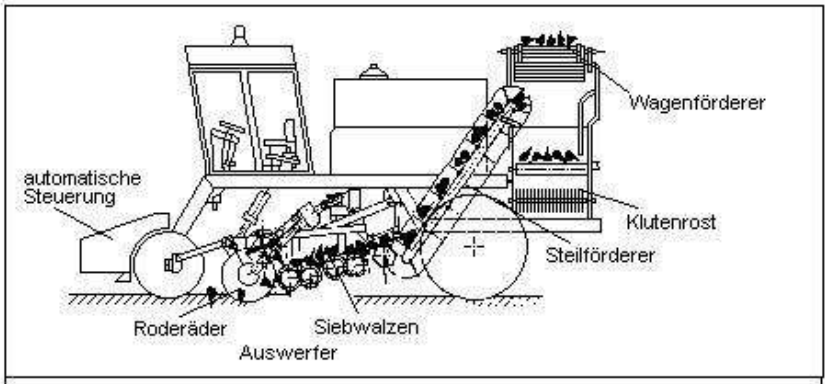


Abb. 31.14. Rübenrodelader

Kartoffelerntemaschinen existieren ebenfalls sowohl für ein- wie zweiphasige Erntetechnologien. Bei den zweiphasigen Verfahren entfernt zunächst ein als Aufsattelgerät gebauter *Krautschläger* das Kraut. Er besteht aus einer zapfwellengetriebenen Welle, an der kurze und lange Schlegel angeordnet sind, die dem Bodenprofil angepasst sind. Die rotierenden Schlegel zerkleinern das Kraut. *Kartoffelsammelroder* sind schleppergezogene Maschinensysteme. Sie bestehen aus dem Rodeaggregat, der Abscheideeinrichtung für Feinerde, Kraut, Kluten und Steine, der Ausleseeinrichtung, den Fördereinrichtungen, dem hydraulischen Steuergerät und dem Fahrwerk mit Rahmen. Das Rodeaggregat hebt mit Scheibenscharen die Knollen mit der anhaftenden Erde aus dem Boden und leitet sie auf die Siebkette der Abscheideeinrichtung. Dabei werden Feinerde, Kraut, Kluten und Steine abgetrennt. Bodenkluten werden durch Klutenwalzen zerdrückt. Eine Krauttrennkette hält Pflanzenreste zurück. Die Kartoffeln gelangen mit den restlichen Kluten und Steinen auf die Querförderkette. In der Ausleseeinrichtung werden sie getrennt. Die Kartoffeln gelangen von dort aus in den Bunker oder werden über einen Verladeelevator auf nebenher fahrende Transportfahrzeuge gefördert.

Einrichtungen für die Trocknung und Lagerung von Halmfrüchten haben die Aufgabe, das Erntegut lagerfähig zu machen und es für einen bestimmten Zeitraum aufzunehmen. Insbesondere darf der Feuchtegehalt von Getreide höchstens 15% betragen. Es muß deshalb belüftet und getrocknet werden. Als typische Anlagen kommen dafür Kaltbelüftungsanlagen, Zentralrohrsilos und Warmlufttrockner zum Einsatz (Abb.31.15.).

Kaltbelüftungseinrichtungen werden im Allgemeinen in Zwischenschüttlagern eingesetzt, um eine Vorkonservierung des Getreides zu erreichen. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem Hauptkanal, über den die Außenluft angesaugt wird, und zahlreichen Nebenkanälen. Ein starkes Axialgebläse sorgt für genügenden Luftdurchsatz. Die Kanäle werden auf dem leeren Speicher verlegt und das Getreide auf das Kanalsystem geschüttet.

Zentralrohrsilos bestehen aus einem auf einem Untergestell ruhenden zylindrischen Aluminiumkörper mit luftdurchlässigem Mantel. Das Zentralrohr ist aus Siebblech gefertigt und wird oben durch einen elastischen Kolben abgedichtet. Die Luftzufuhr erfolgt durch ein Gebläse. Ein Körnergebläse fördert das Getreide in den Silo. In ihrer Struktur sind die Silos mit Reaktoren vergleichbar. Der Aufnahmeraum für das Getreide ist das Arbeitsorgan. Die Zuführungseinrichtung mit Gebläse, Rohrleitung und Leitblechen bildet das Positionierungsorgan. Antriebsorgan ist das Luftgebläse, und das Zentralrohr übernimmt die Funktion des Übertragungsorgans. Stützorgan ist das Untergestell.

Warmlufttrockner werden vorwiegend in Spezialbetrieben (z.B. Saatzuchtbetrieben) eingesetzt. Sie sind mit Luftheizelementen ausgerüstet. Die Trocknungstemperaturen liegen zwischen 30 und 45°C.

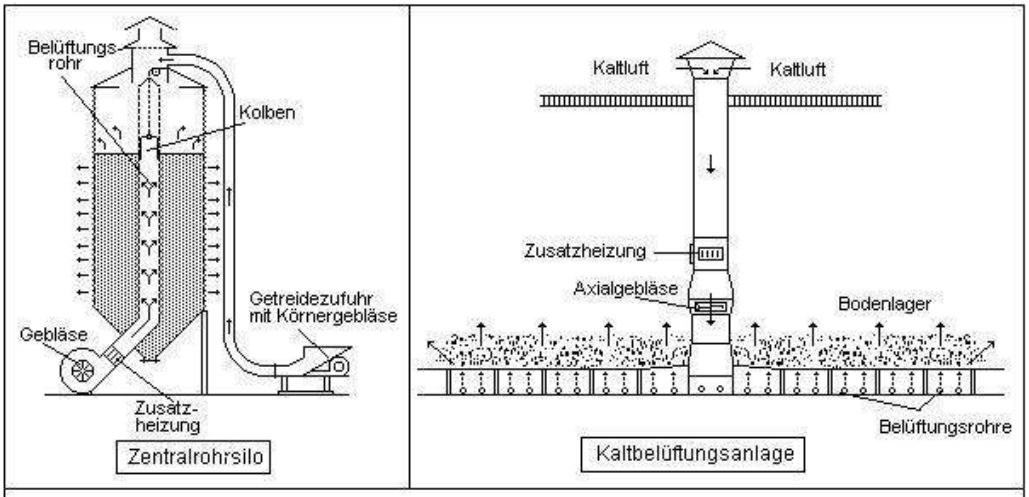


Abb. 31.15. Getreidetrocknungs- und -lagereinrichtungen

31.4. Anlagen und Ausrüstungen für die Tierproduktion

Die rationelle und kontinuierliche Erzeugung großer Mengen einheitlicher Produkte hat in der Landwirtschaft ebenso wie in der Industrie zu spezialisierten Betriebseinheiten mit entsprechender Technik geführt. Man kann in diesem Zusammenhang durchaus von industriemäßig betriebener Tierproduktion sprechen. Tierproduktionsanlagen sind im Allgemeinen umfangreiche technische Systeme mit zahlreichen Teilsystemen, die komplex zusammenwirken. Sie sind in Stallanlagen für die verschiedenen Nutztierarten (Rinder, Schweine, Schafe, Geflügel) zusammengeführt und haben zur Aufgabe, die Futterbereitstellung für die Tiere, die Klimatisierung der Haltungsräume, die Gewinnung von Produkten vom lebenden Vieh (Milch, Eier, Wolle) und die Entsorgung der anfallenden Abfallstoffe zu sichern.

Im Wesentlichen lassen sich unterscheiden:

- Technische Anlagen zur Klimagestaltung in Tierproduktionsanlagen
- Technische Anlagen für die Futterlagerung und -bereitstellung
- Technische Anlagen und Ausrüstungen für die Produktgewinnung
- Technische Ausrüstungen für die Stallreinigung
- Technische Ausrüstungen für die Güllebehandlung

31..4.1. Anlagen zur Stallklimatisierung

Das Stallklima ist ein wichtiger Effektivitätsfaktor in der Tierproduktion. Man rechnet, dass etwa 20% der Tierleistungen von den Mikroklimabedingungen in den Haltungsräumen bestimmt werden. Sie werden im Wesentlichen durch lüftungstechnische Anlagen gesichert, die neben der Luftumwälzung die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Abscheidung von Luftverunreinigungen (Staub, Dämpfe, Keime) auf die gewünschten Parameter bringen.

Die Hauptbestandteile lüftungstechnischer Anlagen zur Stallklimatisierung sind *Ventilatoren* (AnO) für die Luftförderung, *Kanäle und Rohre* (ÜbO und PsO) für den Lufttransport von der zentralen Klimaanlage zu den Wirkungsbereichen im Stall, Luftverteiler (AbO) zur Verteilung der Zuluft, Absaugelemente (AbO), Absaugkanäle (PsO) und Absaugventilatoren (AnO) zur Wegführung der Abluft, Luftheizelemente einschließlich Ausrüstungen für die Luftbefeuchtung, Steuerungssysteme (StO) für die Anpassung der Leistungsparameter an die jahreszeitlich und tageszeitlich gewünschten Werte. Luftfilter (AbO) im Ansaugbereich der Ventilatoren sorgen für die Entstaubung der Luft.

31.4.2. Futterlagerungs- und -konservierungsanlagen

Der jahreszeitlich bedingte Anfall des Feldfutters erfordert zur ganzjährigen Sicherung der Versorgung entsprechende Futterlagerungs- und -konservierungsanlagen. Für die Einlagerung von Naßsilagen und Gärkar-

toffeln haben sich Horizontalsilos, für die Konservierung und Lagerung von welkfähigen, eiweißreichen und schwer vergärbaren Futterpflanzen Hochsilos als zweckmäßig bewährt.

Bei den *Horizontalsilos* werden Durchfahrtsilos und hohe Fahrsilos zu unterschieden. Durchfahrtsilos sind ebenerdig angelegte Behälter mit Abmessungen bis zu 3,60 m Höhe, 10 m Breite und variabler Länge. Sie werden aus Stahlbetonfertigteilen (L- oder T-Elemente) in Montagebauweise errichtet. In die leicht geneigte Betonsohle sind durch Betonroste abgedeckte Längs- und Querkanäle zur Ableitung des Sickerwassers in eine Sammelgrube eingelassen (Abb.31.16.). Die Einlagerung des Futters geschieht durch Abkippen des Silogutes und Überfahren des Futterstocks. Zum Schutz gegen Konservierungsverluste und Regenwasser wird die Futterstockoberfläche mit beschwerter Plastfolie abgedeckt.

Hochsilos bestehen aus einem zylindrischen Mantel (AbO) aus Betonformsteinen oder einer Stahl-Aluminium-Konstruktion von etwa 10 m Durchmesser und 20 bis 30 m Höhe. Er wird durch eine Kuppel abgeschlossen. Das Silagegut wird über Bandförderer und Gebläse mit Steigrohr (PsO) eingelagert. Im Inneren des Silos sorgt eine in ihrer Höhenlage veränderbare Verteil- und Entnahmemaschine (PsO) für die gleichmäßige Verteilung des Gutes über den Siloquerschnitt. Durch einen Zentralschachtziehkörper wird ein zentraler Fallschacht ausgebildet, der die Entnahme der Silage am Boden des Silos über einen Kettenförderer ermöglicht. Eine zentrale Steuerungseinrichtung (StO) überwacht das Befüllen und die Funktionen der Teilsysteme (Abb.31.16.).

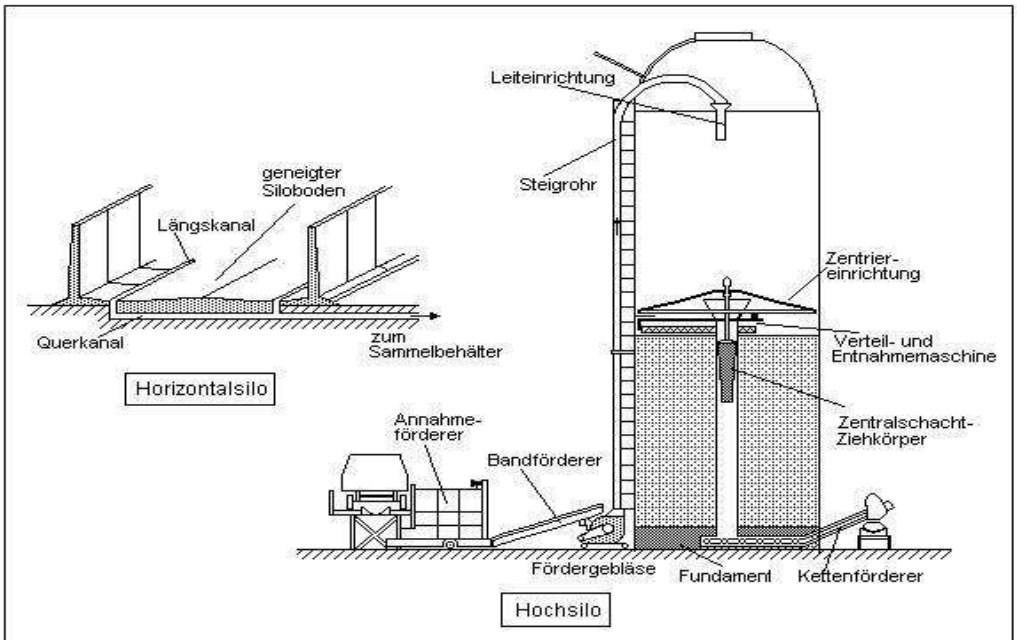


Abb. 31.16. Futterlagerungs- und -konservierungsanlagen

31.4.3. Milchgewinnungsanlagen

Milchgewinnungsanlagen werden als Kannenmelkanlagen, Rohrmelkanlagen und als Melkstandsanlagen ausgeführt. *Kannenmelkanlagen* finden vor allem in Anbindeställen mit relativ kleinen Beständen Anwendung. *Rohrmelkanlagen* werden in den Halteställen installiert und besitzen zentral gesteuerte Elektropulsatoren und zentrale Milchleitungen, in denen der Unterdruck sowohl zum Milchentzug aus dem Euter wie auch zu Milchtransport in die Kühlanlagen und die Sammelbehälter genutzt wird. *Melkstandsanlagen* werden in Laufställen angewandt. Die Kühe kommen hier zum Melkstand. Melkstandsanlagen wurden in zahlreichen Ausführungsformen entwickelt: z.B. als Karussellmelkstand in Tandem- oder Fischgrätenform sowie als Fließbandmelkstand (Abb. 31.17.).

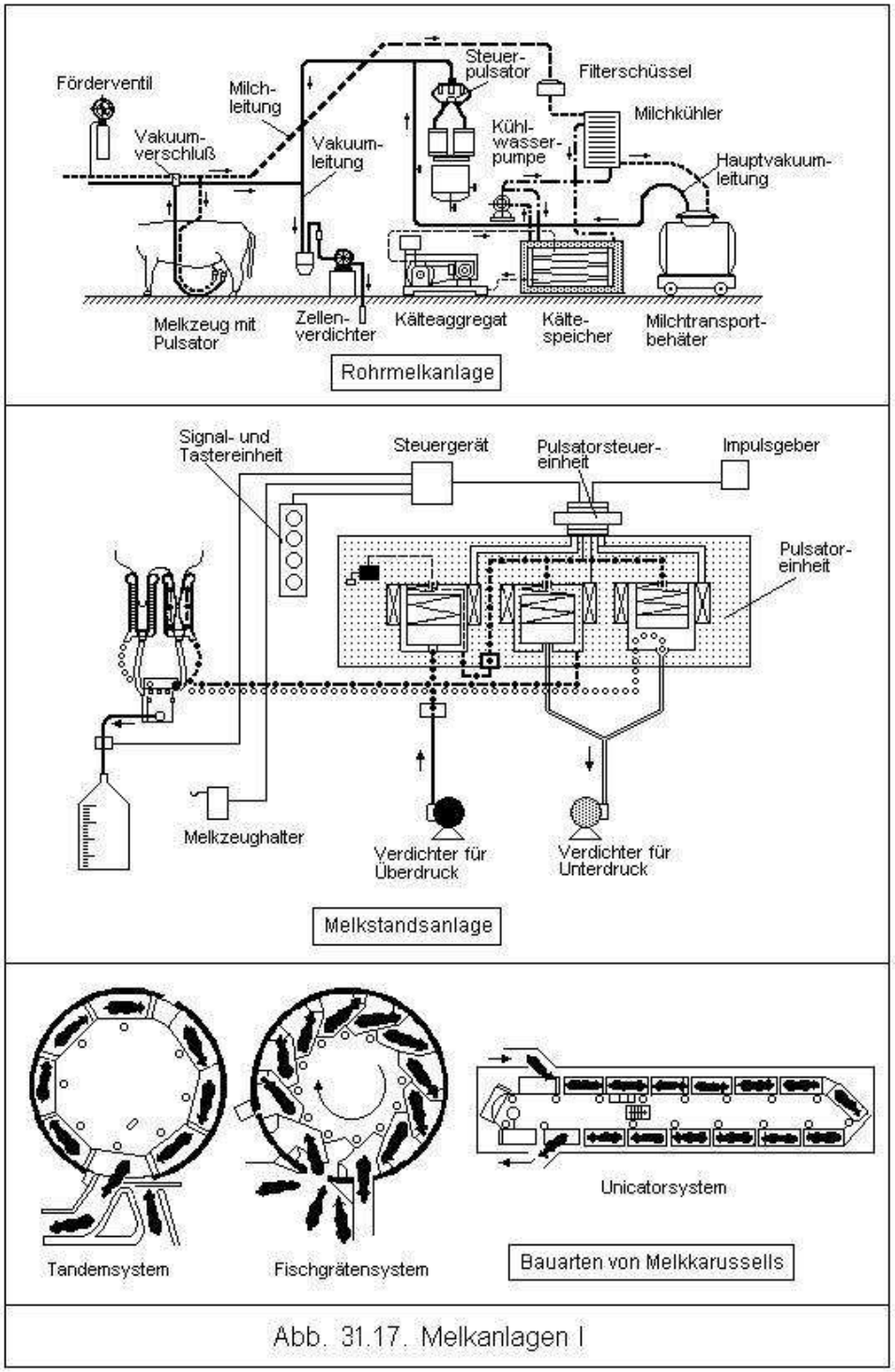


Abb. 31.17. Melkanlagen I

Das zentrale Arbeitsorgan aller Milchgewinnungsanlagen sind die Melkbecher. Sie umschließen die Zitzen des Kuheuters. In rhythmischem Wechsel zwischen zwei Takten, dem Saugtakt und dem Entlastungstakt, wird die Milch entzogen. Die Frequenz beträgt 50 Doppeltakte je Minute. Die Steuerung erfolgt durch pneumatische oder elektromagnetische Einzel- oder Zentralpulsatoren (StO) (Abb.31.18.).Die Operationsenergie wird durch elektrisch angetriebene Verdichter (Vakuum- und Druckpumpen) unterschiedlicher Konstruktion (AnO) geliefert. Verbreitet sind Zellenverdichter. Ein Schlauch- und Rohrsystem (ÜbO) überträgt die pneumatische Energie. Für die Sammlung der Milch sind entsprechende Milchleitungen (PsO) zur Fortleitung in die Sammelgefäße vorhanden. Zur Qualitätssicherung der Milch gehört eine Milchkühlanlage zum System der Milchgewinnungsanlage.

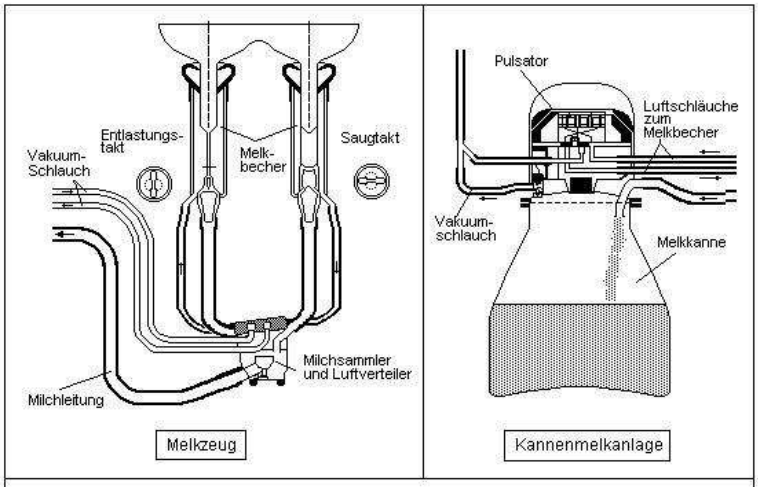


Abb. 31.18. Melkanlagen II

31.4.4. Anlagen für die Stallreinigung

Mit der Konzentration großer Viehbestände in der Tierproduktion mussten auch spezielle technische Anlagen für die Stallreinigung entwickelt und eingesetzt werden. Die Stallreinigung hat die Aufgabe sowohl die Entmistung und die Beseitigung von Restfutter wie auch die wirksame Desinfektion nach der Reinigung zu sichern.

Die unterschiedlichen Bedingungen in den einzelnen Stallanlagen haben zahlreiche verschiedene Anlagentypen entstehen lassen. Es gibt sowohl mobile als auch stationäre technische Systeme für die Entmistung bei der Einstreuhaltung und bei strohloser Haltung. Für die mobilen Systeme ist der *Hublader* (Abb.31.19.) typisch. Dafür werden Schlepper der Zugkraftklasse 0,6 bis 0,9 Mp eingesetzt, die mit Schiebe- und Lademulde und Dunggabel als Arbeitsorgane ausgerüstet sind. Sie kratzen den Kot und die Streu zunächst von der Standfläche in den Kotgang und schieben ihn von dort aus dem Stall auf die Dungplatte.

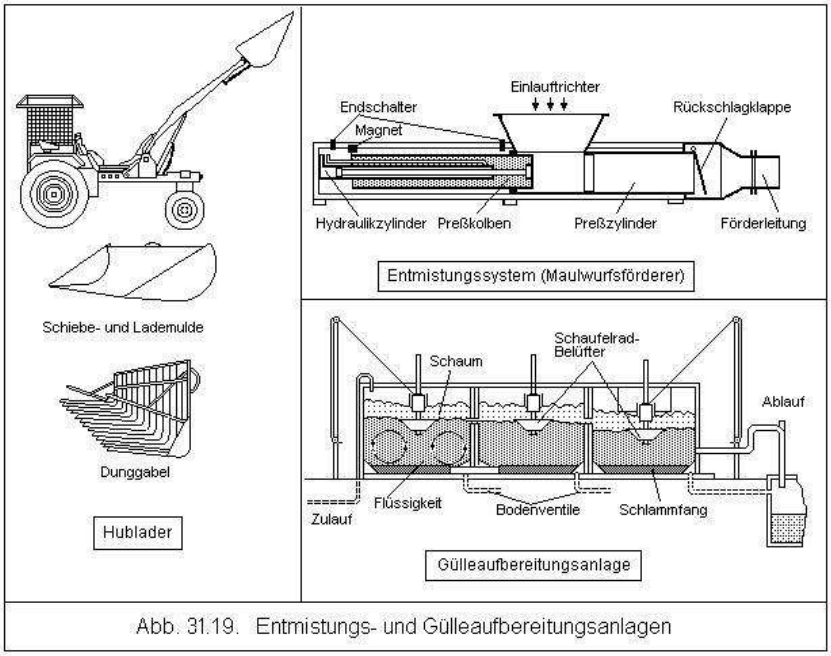


Abb. 31.19. Entmistungs- und Gülleaufbereitungsanlagen

Stationäre Anlagen sind die Schubstangen-, die Schleppschaufel-, die Kratzerketten- und die Bandentmistungsanlagen. Sie arbeiten nach unterschiedlichen Förderprinzipien (z.B. Schrapperprinzip, Kreisförderprinzip, Presskolbenprinzip).

Als *Desinfektionsgeräte* werden vorwiegend mobile oder stationäre Anlagen benutzt, deren Arbeitsprinzip in der Erzeugung heißen Druckwassers besteht, mit dem die zu desinfizierenden Flächen abgespritzt werden. Ihre wesentlichen Funktionsgruppen sind eine Druckwasserpumpe (AnO), einen Wärmeaustauscher (ÜbO), der durch die Verbrennung von Heizöl über einen Brennkopf beheizt wird, Druckschläuche (ÜbO)

und ein Strahlrohr mit Flachstrahldüse (AbO). Das Steuerungssystem (StO) sorgt für die Einstellung von Fördermenge, Wassertemperatur und Wasserdruck.

31.4.5. Anlagen für die Güllebehandlung

Bei der industriemäßig betriebenen Tierproduktion fallen bedeutende Mengen an Gülle an, die einer besonderen technischen Aufbereitung zugeführt werden müssen. Die Gülle ist ein kolloides fließfähiges Kot-Harn-Gemisch mit kleineren Beimengungen von Futterresten, das einen wertvollen organischen Dünger darstellt. Die rationelle und vollständige Verwertung der Rohgülle bereitet allerdings noch erhebliche Schwierigkeiten.

Die technischen Anlagen zur Gülleaufbereitung haben die Aufgabe, die Gülle zu lagern, sie zu homogenisieren und sie für die weitere Verwertung vorzubereiten. Sie bestehen aus rechteckigen oder zylindrischen Behältern (AbO), deren Fassungsvermögen je nach der anfallenden Güllemenge bis zu mehreren Tausend m^3 betragen kann. Die Gülle wird im Stall in Unterflur-Kanälen gesammelt. Die Förderung der Rohgülle erfolgt durch Kreiselpumpen, die zur Zerkleinerung vorhandener Futterreste mit einem dem Laufrad vorgeschalteten Schermesser ausgerüstet sind. Die Homogenisierung der Gülle innerhalb der Behälter wird durch mechanische, hydraulische oder pneumatische Pumpen (PsO) gesichert. Die in Abb. 31.19. dargestellte Anlage arbeitet nach dem aeroben Kaltverfahren mit Belüftung. Schaufelräder bewegen und belüften die Gülle ständig. Der nach dem biologischen Abbau der organischen Substanz verbleibende Schlamm setzt sich im Schlammfang ab und kann über Bodenventile abgezogen werden.

Die Verwertung der Gülle erfolgt über Verregnung auf Ackerflächen und durch Einsatz als Rohstoff für Biogasanlagen (s. Kap. 20.4.).

31.5. Forsttechnik

Die spezifischen Bedingungen der Forstwirtschaft für die Holzproduktion haben zu einer Vielzahl spezieller forsttechnischer Maschinen und Anlagen geführt, die einerseits im Bereich der Rohholzerzeugung weitgehende Gemeinsamkeiten mit der Agrartechnik aufweisen und andererseits im Bereich der Rohholzbereitstellung vorwiegend Holzverarbeitungs-, Holztransport- und Holzlagertechnik umfassen. Wir wollen deshalb nur einen zusammenfassenden Überblick über typische Techniksysteme der Forstwirtschaft geben.

Für die Bodenbearbeitung zum Bodenvorbereitung für die Aussaat und Auspflanzung gelangen Maschinen und Geräte wie in der Pflanzenproduktion zum Einsatz (Pflüge, Eggen, Grubber, Walzen). Spezifische **Technik der Rohholzerzeugung** sind Forstdrillmaschinen, Pflanzmaschinen für die Aufforstung, Durchforstungsmaschinen und Stubbenrodeanbaugeräte.

Typische **technische Systeme der Rohholzbereitstellung** sind: Rücketraktoren, Kettensägen, Entastungsmaschinen, Entrindungsmaschinen, Holzausformungsplätze, Spaltmaschinen, Transportfahrzeuge für die Stangenholz- und Schichtholzabfuhr und für den Hackschnitzeltransport.

Holzausformungssysteme bestehen im allgemeinen aus einem Ablagepolter aus Stahlschienen, einer Kettenfördereinrichtung zur Längsförderung des Holzes (PsO), einer schwenkbaren Kreissäge (AbO) zum Ablängen der Rohholzstämme, der Abwerfvorrichtung und der Bedienungsstand mit den Schalt- und Steuerelementen (StO) (Abb. 31.20.).

Einmann-Motorkettensägen dienen zum Fällen, Entasten und Einschneiden des Rohholzes. Ihr Arbeitsorgan ist die Schneidkette. Sie ist als Dreilaschenkette ausgeführt und besteht aus den Schneidgliedern, den Treibgliedern und den Bindegliedern. Die Schneidkette ist in der Führungsschiene (Schwert) (FüO) gelagert und wird über ein Kettenantriebsritzel angetrieben. Die Verbindung zum Motor stellt eine Fliehkraftkupplung (ÜbO) her. Als Antriebsorgan werden bevorzugt Einzylinder-Zweitaktmotoren eingesetzt, die mit einer Magnetzündanlage gestartet werden.

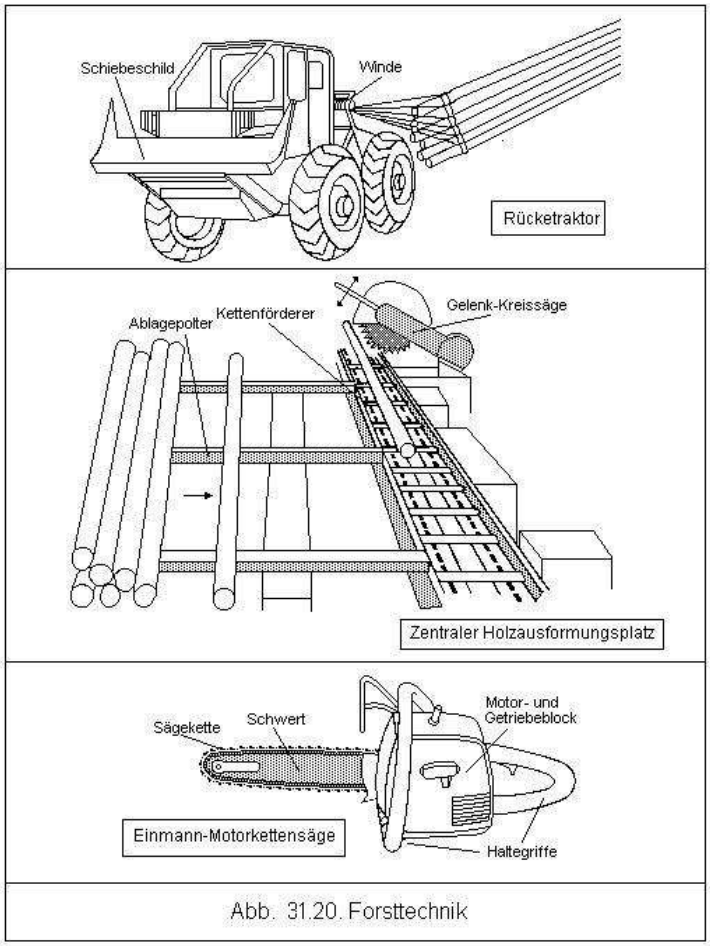


Abb. 31.20. Forsttechnik

31.6. Ausgewählte Beispiele

31.6.1. Schar- Universal- Beet- Aufsattelpflug

Zur Bodenbearbeitung werden, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nur Geräte und einfache Maschinen, d.h. technische Funktionssysteme ohne Antriebsorgane, eingesetzt. Dafür sind vorwiegend wirtschaftliche Aspekte entscheidend, da die Saisonabhängigkeit des Einsatzes und die damit verbundenen geringen Jahresarbeitsstunden je Gerät eindeutig für eine Kopplung mit dem Schlepper als Antriebsaggregat sprechen. Der als Beispiel gewählte Pflug (vgl. Abb. 31.7.) ist als einfache Maschine einzustufen, da er im Bearbeitungsteil außer Arbeitsorganen auch Führungs- und Positionierungsorgane aufweist sowie über einfache Steuerungselemente verfügt (Abb.31.21.).

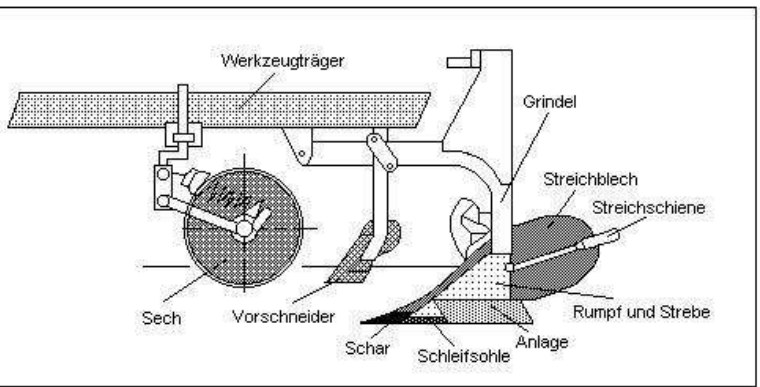


Abb. 31.21. Scharpflug - Bearbeitungsteil

Die ***Arbeitsorgane*** sind in der Regel mehrfach vorhanden, im vorliegenden Falle 5-fach, um die Zugleistung des Schleppers auszulasten und die Arbeitsleistung zu erhöhen. Es sind *Schar, Streichblech und Streichschiene* als Bauteile der Pflugkörper. Das Schar schneidet den Boden parallel zur Oberfläche, das Streichblech reißt den Bodenbalken seitlich ab, wendet ihn und die Streichschiene vergrößert den Wendegrad. Die

vertikale Abtrennung des Bodenbalkens wird bei Bedarf durch ein Vorwerkzeug, dem *Sech* unterstützt, vornehmlich um einen kantigen Furchenrand zu erzielen. Daher steht es meist nur vor dem letzten Pflugkörper. Das *Scheibensech* arbeitet verstopfungsfrei, das einfachere *Messersech* kann nur auf Bewuchs freien Böden eingesetzt werden.

Führungsorgane sind die Teilsysteme, die die beim Wenden des Bodenbalkens entstehenden starken Seitenkräfte auf der Furchenwand abstützen, die *Schleifsohle*, die die nach unten wirkenden Kräfte auf die Furchensohle überträgt sowie der *Rumpf* mit *Querstrebe*, die Schar und Streichblech in stabiler Lage halten. Sie sind Bauteile des Pflugkörpers, der mit dem *Grindel* stufenlos verstellbar am Werkzeugträger befestigt ist.

Positionierungsorgan ist der *Vorschneider*. Er wird eingesetzt, um auf bewachsenen oder mit Stalldung bestreuten Flächen einen flachen Bodenbalken herauszuschneiden und so in die Vorfurche zu stürzen, dass er von dem durch den nachfolgenden Pflugkörper abgelegten Bodenbalken völlig bedeckt wird.

Die ***Energieübertragungs- und Stützfunktionen*** werden weitgehend von den gleichen Bauteilen übernommen, einerseits vom *Werkzeugträger*, der als Holmen mit Zugstange und Querträger oder in Rahmenbauweise vorliegen kann und andererseits von der *Dreipunktaufsattelkupplung* am Schlepper. Die hintere Abstützung erfolgt mittels höhen- und seitenverstellbarem *Hinterrad*, das damit, gemeinsam mit der Kupplung auch Steuerungsfunktion übernimmt.

Weiteres ***Steuerorgan*** ist die *Überlastsicherung*, die Pflugkörper und Kraftübertragungselemente vor Überbeanspruchung durch Hindernisse im Boden schützt. Sie kann als Mehrkörper- oder Einzelkörpersicherung ausgeführt sein, entweder mechanisch wirkend auf Scherstift-, Reibungs- bzw. Federbasis ohne selbsttätige Rückstellung oder auf hydro-pneumatischem Prinzip mit selbsttätiger Rückführung in die Arbeitsstellung (Abb. 31.22.).

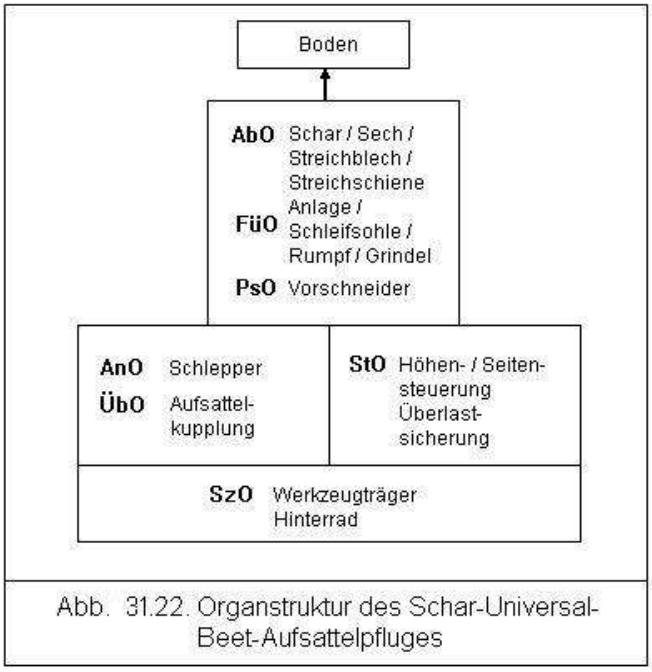


Abb. 31.22. Organstruktur des Schar-Universal-Beet-Aufsattelpfluges

Literatur

31.1. H. Eichhorn / J. Konrad (Hrsg.): Landwirtschaftliches Lehrbuch, Band 4: Landtechnik; Stuttgart 1985
31.2. H. Wener u. a.: Die Landwirtschaft, Band 3 Landtechnik / Bauwesen; München 1986
31.3. H. Schulz u. a.: Landwirtschaftliche Fahrzeuge und Krane; Berlin 1987
31.4. G. Kühn u. a.: Maschinen und Anlagen für die Pflanzenproduktion; Berlin 1986
31.5. E. Thum u. a.: Maschinen und Anlagen für die Tierproduktion; Berlin 1989
31.6. G. Markgraf / E. Wiesner (Hrsg.): Kleine Enzyklopädie Land - Forst - Garten; Leipzig 1984
31.7. K. Kugler u. a.: Maschinen und Geräte für die Pflanzenproduktion; Berlin 1984
31.8. H. Meiners u. a.: Fachkenntnisse Landmaschinenmechaniker; Hamburg 1993
31.9. R. Blumenthal: Technisches Handbuch Traktoren; Berlin1960
31.10. R.F. Kunze: Das neue Traktorlexikon; Würzburg 1993
31.11. E. Granz / J. Weiss / W. Pabst / K.E. Strack: Tierproduktion; Berlin und Hamburg 1990
31.12. H. Schulz (Federführung) u. a.: Landwirtschaftliche Fahrzeuge und Krane; Berlin 1978
31.13. W. Blasse (Federführung) u. a.: Grundlagen der industriemäßigen Obstproduktion; Berlin 1977
31.14. D. Ebert (Federführung) u. a.: Grundlagen der Produktion von Mähdruschfrüchten; Berlin 1976
31.15. Rh. Geissler / E. Baumann: Grundlagen der Gemüseproduktion; Berlin 1985
31.16. K. Pilz (Federführung) u. a.: Industriemäßige Tierproduktion - Grundlagen; Berlin 1978
31.17. H. Fitzthum (Federführung) u. a.: Technische Anlagen und Ausrüstungen für die Tierproduktion; Berlin 1978
31.18. E. Mothes: Technologie der Tierproduktion; Jena 1981
31.19. W. Pampel: Grundlagen der Forsttechnik und Forsttechnologie; Berlin 1978
31.20. W. Steffens (Hrsg.): Industriemäßige Fischproduktion, Berlin1979
31.21. G. Holzapfel: Landtechnik heute und morgen; Berlin 1976
31.22. Autorenkollektiv: Grundwissen für Forstfacharbeiter (Waldbau - Rohholzerzeugung - Forstschutz); Berlin 1979
31.23. Autorenkollektiv: Grundwissen für Forstfacharbeiter (Forstnutzung - Rohholzbereitstellung - Mechanisierung): Berlin 1975

32. Bautechnik

32.1. Allgemeine Charakteristik der Bautechnik

Die Bauindustrie, die zu Beginn des 20.Jahrhunderts noch ein im wesentlichen handwerklich ausgerichteter Wirtschaftszweig war, hat sich in den letzten Jahrzehnten in einem Maße technisiert, dass sie in weiten Bereichen industriemäßige Produktionsmethoden anwendet und sich dabei einer umfangreichen spezialisierten Technik bedient. Die Bauproduktion ist unter anderem dadurch gekennzeichnet, dass sie es - ähnlich wie die Landwirtschaft - mit einem ortsgebundenen Arbeitsgegenstand (dem Baukörper) zu tun hat, zu dem sie sowohl das Baumaterial wie auch die umfangreiche Bautechnik zu bringen hat. Das ist mit relativ kurzer Produktionsdauer an einem Standort, häufigem Standortwechsel und mit einer hohen Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen an der Baustelle verbunden. Charakteristisch ist weiterhin, dass die verschiedenen, historisch gewachsenen Teilprozesse (Tiefbau, Hochbau, Ausbau) wegen des weitgehend subjektiven Prinzips der Arbeitsteilung ein sehr unterschiedliches technologisches Niveau aufweisen. Zu den Besonderheiten der Bauproduktion zählt weiterhin die meist individuelle Gestaltung der Bauwerke, die eine Serienerzeugung von Standardbauteilen zumindest einschränkt und die Anwendung industrieller Technologien begrenzt. Erst die modernen Technologien des monolithischen Betonbaus und die Block- und Plattentechnologien sowie die Stahlskelettbauweisen haben Wege zur weitgehenden Technisierung der Bauprozesse geebnet.

Aus der Sicht der allgemeinen Technologie kommt der Bautechnik eigentlich nicht der Rang einer eigenständigen Klasse technischer Systeme zu, weil die bautechnologischen Vorgänge im System der Bearbeitungsvorgänge (s. Kap. 6.2., Tab. 6.1.) kein eigenes Feld haben. Die in der Bautechnologie angewandten technologischen Vorgänge entstammen weitgehend den Stoffformungsverfahren, den Stoffwandlungsprozessen und den Transportoperationen. Es sind z.B. Mischverfahren bei der Herstellung von Beton oder Kalkmörtel, Urformverfahren beim Gießen von Beton, Fügeverfahren bei der Errichtung von Mauerverbänden, Umformverfahren beim Biegen von Bewehrungsstahl für monolithischen Betonbau, Transportoperationen beim Fördern von Mörtel oder von Mauersteinen, Trennverfahren beim Ausbaggern von Baugruben oder stoffeigenschaftsändernde Verfahren beim Verdichten von Baugrund. K.FIEDLER u. a. vertreten nach eingehenden Untersuchungen die Meinung, dass man der Bautechnologie mit einer solchen Betrachtungsweise nicht gerecht werden kann, sondern eine spezifische Gliederung entwickelt werden muss (Lit. 32.2. S. 116 ff.). Dieses Argument gilt allerdings für alle produktionszweigorientierten Technologien (z.B. Bergbautechnologie, Elektrotechnologie, Nahrungsgütertechnologie, Lederverarbeitungstechnologie).

Allgemeintechnologisch bleibt die Bautechnologie in die bekannten Klassen von Bearbeitungsvorgängen eingeordnet. Wir halten es jedoch für zweckmäßig, den technischen Systemen der Bauwirtschaft im Rahmen der allgemeintechnischen Charakterisierung der technischen Systeme ein eigenes Kapitel zu widmen. Die Berechtigung zur gesonderten Betrachtung der Bautechnik leiten wir vor allem aus ihrem relativ hohen Spezialisierungsgrad für die Bautechnologie und den daraus resultierenden Besonderheiten ab. In gewissem Sinne verkörpert die Bautechnik deshalb einen eigenen Typus technischer Systeme. Wir fassen unter dem Begriff Bautechnik die Gesamtheit der technischen Systeme zusammen, die für bautechnologische Verfahren und Prozesse eingesetzt werden. Die Bautechnologie umfasst sowohl die Vorfertigungsprozesse als auch die Baustellenprozesse selbst. Typische Baustellenprozesse sind monolithische Beton- und Stahlbetontechnologien, Montagetechnologien, Maurertechnologien, Ausbautechnologien, Erdbau- und Gründungstechnologien. Die Produktion von Baustoffen wird damit nicht einbezogen, sie wird im Rahmen der Stoffwandlungstechnologie (als Baumaterialienproduktion) und der Bergbautechnologie (als Technologie der Rohstoffgewinnung für die Baumaterialienproduktion) erfasst. Nicht berücksichtigen werden wir bei unseren Betrachtungen auch solche auf Baustellen eingesetzte Technik, die keine besonderen Spezialisierungsmerkmale für die Bautechnologie aufweisen wie allgemeine Werkzeuge und Geräte, Pumpen und Kraftmaschinen, allgemeine Fahrzeuge und ähnliches.

Für die Gliederung der Bautechnik lassen sich aus der allgemeinen Technologie keine die Spezifik dieses Techniktyps berücksichtigenden Kriterien unmittelbar ableiten. In der bautechnischen Literatur finden sich als Gliederungsaspekte verschiedene Kriterien:

Nach Produktionsstufen:

Produktionsstufe 1

Gewinnen und Produktion von Baustoffen (Technik in Kieswerken, Splittaufbereitungsanlagen, Zementwerke)

Produktionsstufe 2

Vorfertigung von Bauteilen, Bauelementen und Baugruppen (Betonwerke, Bauelementevorfertigung, Bewehrungsvorfertigung)

Produktionsstufe 3

Baustellenproduktion

Nach Fertigstellungsstufen des Bauwerks:

Erschließungs- und Gründungsprozesse
Montageprozesse
Ausbauprozesse

Nach der technologischen Funktion:

Bagger
Gründungs- und Verdichtungsmaschinen
Aufbereitungsmaschinen
Hebezeuge und Fördermittel
Spezialtransporter

Wir folgen der Gliederung nach technologischen Funktionen, weil sie am stärksten technologisch orientiert ist und geben in Abb. 32.1. eine Übersicht, die den folgenden Kapiteln zugrunde liegt.

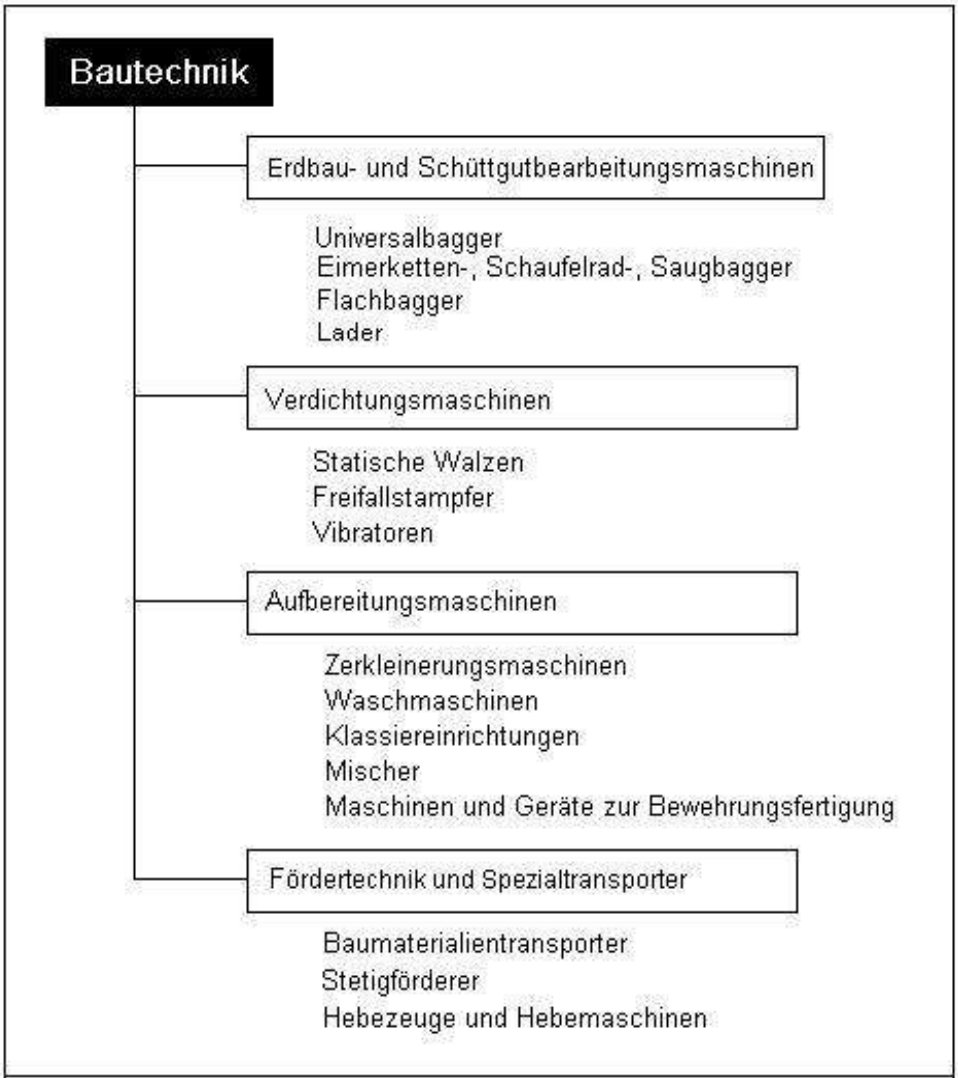


Abb. 32.1. Übersicht über die Bautechnik

32.2. Übersicht über die Hauptgruppen und deren Merkmale

32.2.1. Erdbau- und Schüttgutbearbeitungsmaschinen

Bei allen Bauarbeiten müssen mehr oder weniger große Mengen Erd- bzw. Gesteinsmassen vom Baugrund gelöst, abgetragen, umgesetzt, verladen, transportiert und an anderer Stelle abgesetzt werden. Die dabei eingesetzten Maschinen werden unter dem Begriff Erdbau- und Schüttgutbearbeitungsmaschinen zusammengefasst. Sie sind im Einzelnen konstruktiv für Bodenaushübe, Flächenabtragungen und -einebnungen sowie für das Umsetzen, Transportieren und Absetzen von Erdstoffen und Schüttgütern ausgelegt.

Die technischen Systeme dieser Gruppe von Baumaschinen lassen sich in Universalbagger, Flachbagger und Lader untergliedern.

Universalbagger sind Bagger mit auswechselbaren Arbeitsorganen. Sie zeichnen sich durch vielfältige Einsatzmöglichkeiten aus. Je nach konstruktiver Auslegung arbeiten sie als Hochlöffelbagger, Tieflöffelbagger, Greifbagger oder Zugschaufelbagger (Abb.32.2.).

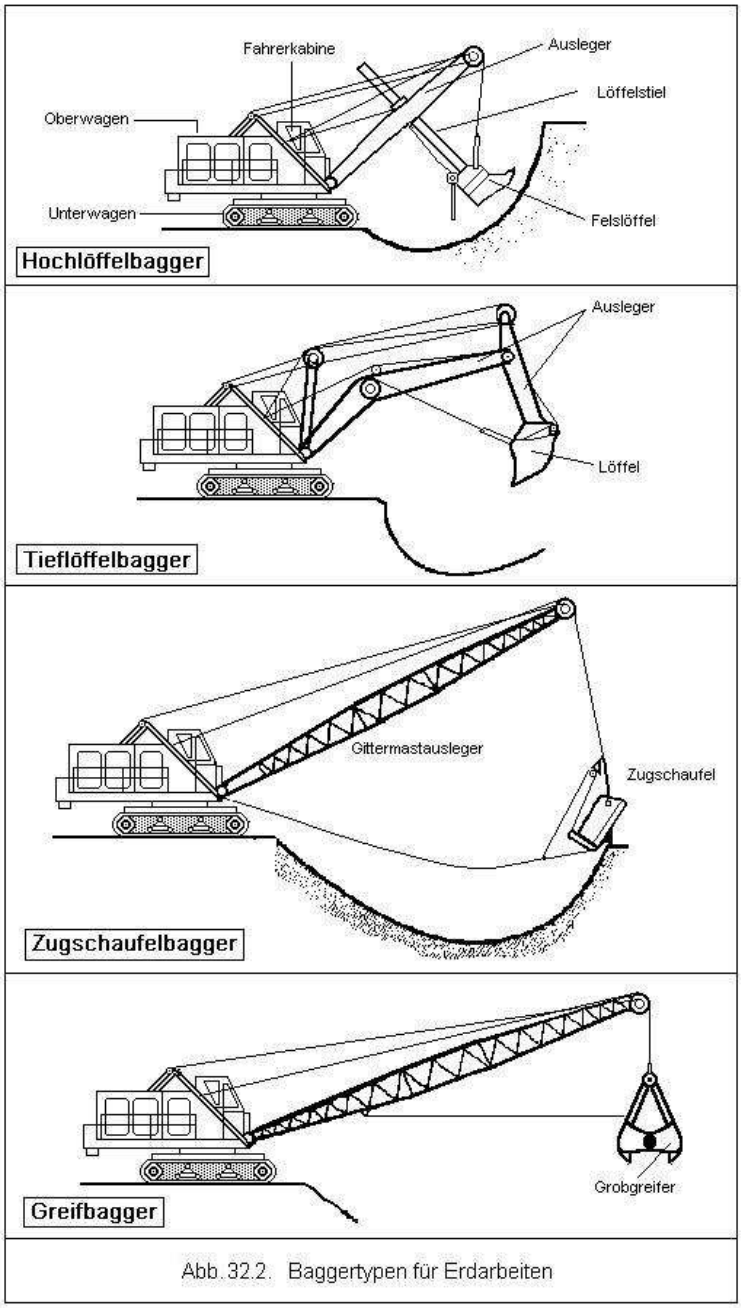


Abb. 32.2. Baggertypen für Erdarbeiten

Ihre grundlegenden Baugruppen sind der Unterwagen, der Oberwagen und das Arbeitsorgan. Der Unterwagen trägt die gesamte Ausrüstung des Systems. In Abhängigkeit von den Einsatzanforderungen und der Bodenbeschaffenheit an der Baustelle ist er mit einem Radfahrwerk oder einem Raupenfahrwerk ausgerüstet. Raupenfahrwerke sichern eine hohe Standfestigkeit und relativ geringe Bodendrücke. Radfahrwerkbagger können durch zusätzliche Abstützungen die erforderliche Standfestigkeit erhalten. Der Oberwagen ist mit dem Unterwagen durch einen Drehkranz verbunden. Er trägt das Maschinenhaus mit dem Antriebsmotor (allgemein ein Dieselmotor), den Auslegerarmen, der Hydraulikanlage bzw. (bei Seilbaggern) den Seilzugwerken, Getrieben und Seilführungen sowie die Steuer- und Regelanlagen. Stationäre Bagger haben als Antriebe auch starke Elektromotoren.

Als unterschiedliche Arbeitselemente kommen folgende Arbeitsorgane zum Einsatz: Hochlöffel, Tieflöffel, Greifer, Kranhaken und Zugschaufel. Die Übertragung der Arbeits- und Steuerungsleistung erfolgt über Seilzüge oder hydraulische Systeme. Die Hochlöffelausrüstung besteht aus dem Ausleger, dem Löffelstiel und dem Löffel. Der Löffel besitzt an seiner Vorderseite Reißzähne aus Stahl, die den Boden gut lösen können. Die Entleerung des Löffels erfolgt durch eine Bodenklappe. Der Tieflöffel weist einen analogen Aufbau auf. Die Entleerung wird durch Hochschwenken realisiert. Die Greiferausrüstung wird von einem Ausleger und dem Greifer gebildet. Die Greiferbewegungen werden durch Seilzug oder hydraulische Arbeitszylinder bewirkt. Zugschaufelausrüstungen werden dann eingesetzt, wenn größere Flächen abzutragen sind.

Universalbagger arbeiten absatzweise. Für die Bewältigung umfangreicher Erdbewegungen und für Spezialaufgaben werden auch stetig arbeitende Bagger eingesetzt: Eimerkettenbagger, Schaufelradbagger und Saugbagger. Sie wurden zunächst als Großgeräte für den Einsatz zur Kiesgewinnung und für den Bergbau (in Tagebauen zum Kohle-, Kalk- und Erzabbau) entwickelt. Für spezielle Aufgaben im Bauwesen stehen heute aber auch Grabenbagger und Grabenfräsen zur Verfügung.

Flachbagger sind technische Systeme für Flächenabtragungen, Geländebegradigungen und für die Gestaltung von Geländeprofilen. Sie bearbeiten nur relativ dünne Schichten des Erdbodens. Zu den Flachbaggern gehören Planierraupen, Grader (Straßenhobel) und Schürfkübelfahrzeuge (Scraper) (Abb.32.3.). Die Antriebe sind Dieselmotoren. Als Fahrwerke werden sowohl Raupen- wie auch Radfahrwerke eingesetzt.

Planierraupen bestehen aus einem Kettenschlepper als Grundgerät. Sie besitzen als Arbeitsorgan den Planierschild. Er ist auf einem Schubrahmen mittels einer Schubstange (Führungsorgan) befestigt und kann über Hydraulikzylinder (Elemente des Steuerungsorgans) sowohl in vertikaler Richtung zur Einstellung der abzuhebenden Spanstärke wie auch zur Fahrebene geneigt und im Anstellwinkel geschwenkt werden. Mit dem Schild wird ein flacher breiter Span aus dem Erdreich gelöst, nach vorn geschoben und seitlich abgedrängt. Die Förderweite für den einzelnen Schub ist relativ kurz und beträgt 10 bis 15 m. Die Schildbreiten liegen zwischen 2.80 m und 3.20 m. Planierraupen verfügen neben dem Schild oft auch über fest montierte Aufreißer, mit denen festere Böden gelockert werden können.

Grader oder Straßenhobel sind zwei- oder dreiachsige Maschinen und haben als Hauptfunktion das Planieren von Bodenflächen. Sie bestehen aus einem Fahrwerk als Grundgerät, an dem ein langgestreckter Tragholm mit der Vorderachse angebracht ist. Der Hauptholm trägt in der Mitte den Drehrahmen und den Schardrehkranz für den Planierschild. An ihm sind ebenfalls die Hydrauliksysteme für die Höhen- und Seitenverstellung sowie für das Schwenken des Schildes positioniert. Als zusätzliche Ausrüstung können Heckaufreißer und Frontschild befestigt werden. Die Anordnung des Schildes zwischen der Vorder- und Hinterachse ermöglicht einen günstigeren Planiereffekt als bei den Planierraupen.

Scraper werden als Motorscraper mit Eigenantrieb oder als Anhängescraper (mit Zugraupe als Antriebssystem) ausgeführt. Zwischen den beiden Fahrachsen ist ein absenkbarer Kübel (Arbeitsorgan) angeordnet. Der Kübel wird zum Boden abgesenkt. Beim Vorwärtsfahren löst die Schneide des Kübels einen Bodenspan, der dabei in den Kübel gedrückt wird. Ist der Kübel gefüllt, wird er angehoben und geschlossen. An anderer Stelle kann der Kübelinhalt durch Kippen oder Ausstoßer in einer dünnen Schicht wieder ausgebracht werden. Scraper können auf diese Weise sowohl zur Bodenabtragen wie auch zum Bodeneinbau eingesetzt werden.

Lader. Als Lader werden mit Rad- oder Raupenfahrwerk ausgerüstete Maschinen bezeichnet, die mittels einer Ladeschaufel Schüttgut von Lagerplätzen oder loses Gestein in Steinbrüchen aufnehmen, transportieren und außerhalb des Ladebereiches wieder absetzen bzw. verladen können. Lader sind auch in der Lage Bodenaushub vorzunehmen, indem sie die Ladeschaufel durch die Fahrbewegung in den Boden stoßen und ihn durch Heben der Schaufel lösen. Die Ladeschaufel ist über der starren Vorderachse angeordnet. Gelenkt wird die Maschine über die bewegliche Hinterachse, weil die Vorderachse durch die volle Ladeschaufel stark

belastet wird. Die Ladeschaufel wird hydraulisch bewegt. Je nach den verschiedenartigen Bewegungsmöglichkeiten der Ladeschaufel werden Front-, Schwenk- und Überkopflader unterschieden.

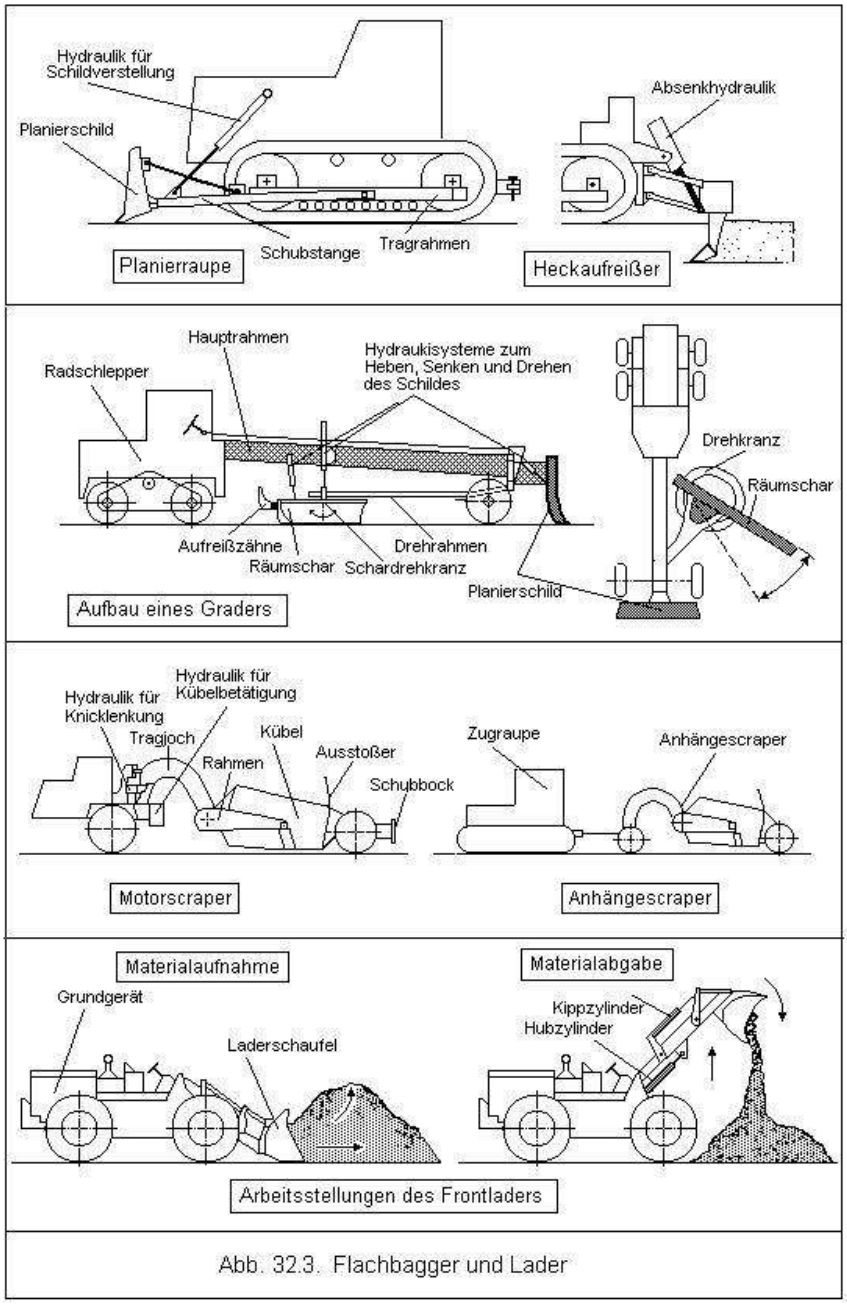


Abb. 32.3. Flachbagger und Lader

32.2.2. Verdichtungsmaschinen

Die Verdichtung des Baugrundes gehört zu den grundlegenden technologischen Vorgängen im Bauwesen. Sie hat die Funktion, aufgeschütteten oder den durch Gründungsarbeiten aufgelockerten Boden im Interesse eines tragfähigen Baugrundes zu verfestigen. Im Zusammenhang mit dem Betonbau haben Verdichtungsverfahren besondere Bedeutung erlangt, weil der in die Schalungen und Formen eingebrachte Beton zahlreiche Hohlräume aufweist, die beseitigt werden müssen, damit der Beton der notwendige Festigkeit und die rostsichere Umhüllung des Bewehrungsstahls erreicht.

Das Verdichten kann einerseits durch Druckausübung (Walzen, Stampfen) und andererseits durch Schwingungseintragung (durch Klopfen oder Vibration) erfolgen. Die Wirkungsweise der Verdichtungsmaschinen beruht im Wesentlichen auf diesen beiden unterschiedlichen Wirkprinzipien.

Statische Verdichter üben durch ihre Masse Druck auf das zu verdichtende Material aus. Die dabei wirkenden äußeren Kräfte dienen der mechanischen Überwindung der inneren Reibung des zu verdichtenden Gutes.

Typische Verdichter dieses Typs sind die Walzen. Man unterscheidet Glattmantelwalzen und Schaffußwalzen. Sie finden ausschließlich bei der Bodenverdichtung Anwendung. Moderne Walzen sind zusätzlich mit einem Vibrator ausgerüstet, der den wirtschaftlichen Einsatz unter unterschiedlichsten Bodenbedingungen ermöglicht.

Dynamische Verdichter sind Stampfer (bis 250 Schläge/min), Rüttelstampfer (bis 1000 Schläge/min) und Vibratoren (mehr als 1000 Schläge/min). Sie bewirken die Verdichtung des Bodens bzw. des Betons dadurch, dass das Material in Schwingungen versetzt wird, wodurch die Reibungskräfte zwischen den Teilchen überwunden und die Verdichtung erreicht wird. Für Bodenverdichtungen kommen bei bindigen Böden vorwiegend Stampfer und Rüttelstampfer, bei nichtbindigen Böden Vibratoren zum Einsatz. Beton wird fast ausschließlich durch Vibratoren verdichtet.

Die *Stampfer* werden durch Elektromotoren oder Verbrennungsmotoren angetrieben. Die Auf- und Abwärtsbewegung der Stampfplatte verdichtet das Material.

Vibratoren erzeugen die Schwingungen durch rotierende Massen mit Unwuchten. Ist der Rotationskörper starr mit dem Vibratorfuß verbunden, entstehen nichtgerichtete Kreisschwingungen. Bei beweglicher Kopplung der umlaufenden Unwuchtmassen oder bei gegenlaufenden Unwuchten entstehen gerichtete Schwingungen (Abb.32.4.). Für die unterschiedlichen Einsatzarten wurden verschiedene Vibratortypen entwickelt. Man unterscheidet Oberflächenvibratoren, Außen- und Innenvibratoren.

Oberflächenvibratoren (Rüttelplatten oder Rüttelbohlen) bestehen aus einer biege-, torsions- und schwingungssteifen Grundplatte mit Abmessungen bis zu 0,50m · 3,00m (Vibrationstisch, Vibrationsbohle) mit einem bzw. mehreren Vibratoren. Sie werden für die Bodenverdichtung und für die Verdichtung von Bauteilen von der Oberfläche aus eingesetzt (Oberflächenverdichter). Oberflächenvibratoren müssen eine relativ hohe Eigenmasse aufweisen, um eine genügend große Tiefenwirkung zu haben.

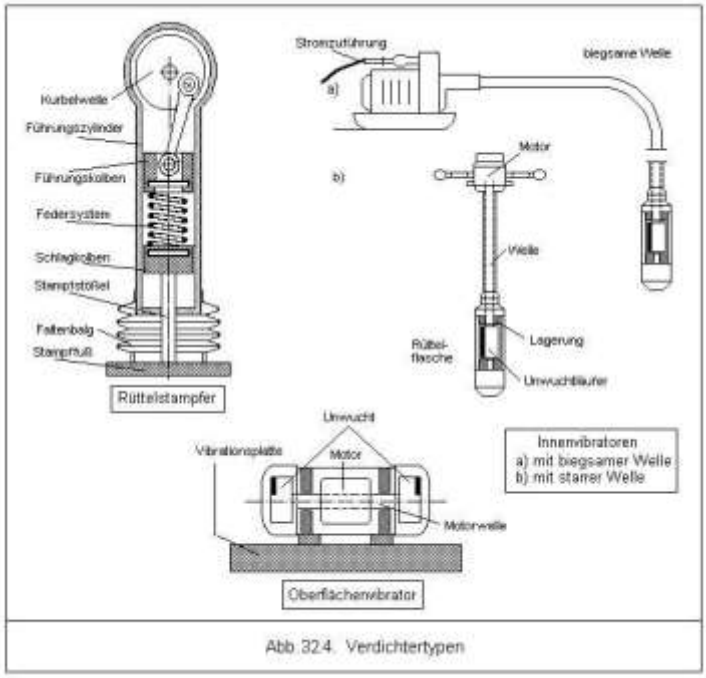


Abb 32.4. Verdichtertypen

Außenvibratoren werden für das Verdichten eingeschalter Betonteile verwendet. Sie bestehen aus einer Grundplatte und dem Motor, an dessen Welle sich zwei Unwuchten befinden. Außenvibratoren übertragen ihre Schwingungen an die Schalung und von dort aus auf den Frischbeton. Wegen der relativ geringen Tiefenwirkung können mit Außenvibratoren nur Betonschüttungen mit maximal 60 cm Dicke verdichtet werden.

Innenvibratoren haben die Form eines flaschenförmigen Stabes und werden in den frischen, noch breiigen Beton eingetaucht (Abb.32.5.). Die Unwuchtschwingungen (Frequenzen von 9000 bis 15000 Hertz) sind

horizontal gerichtet. Der Vibratorstab muss deshalb mit senkrechten Bewegungen geführt werden. Die Unwucht in der Vibrierflasche kann entweder durch eine starre oder eine bewegliche Welle angetrieben werden.

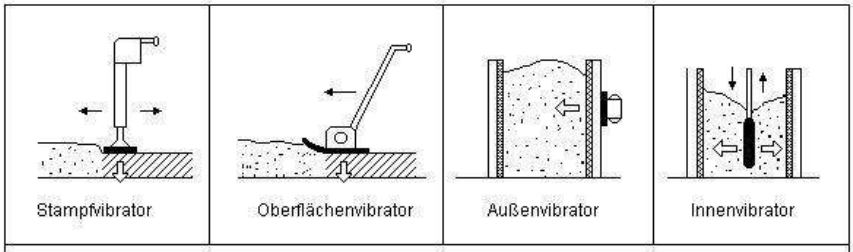


Abb. 32.5. Einsatzformen von Vibratoren

32.2.3. Aufbereitungsmaschinen

Allgemein werden unter dem Begriff Aufbereitungsmaschinen in der Bautechnologie solche technischen Systeme zusammengefasst, die Baumaterialien zur Weiterverarbeitung im Bauprozess vorbereiten. Dazu gehören Mischmaschinen und Mischanlagen, Zerkleinerungsmaschinen, Wasch- und Sortieranlagen für Zuschlagstoffe und Aufbereitungsmaschinen für Straßendecken und Betonstahl.

Mischmaschinen werden sowohl in der Vorfertigung als auch auf Baustellen verbreitet eingesetzt. Ihre Funktion ist das innige Vermischen von Zuschlagstoffen (Sand, Kies, Splitt, Schotter), Bindemitteln (Zement, Kalk) und Wasser. Mischanlagen werden auch für die Herstellung bituminöser Gemische im Straßenbau eingesetzt. Eine komplette Aufbereitungsanlage umfasst neben den Mischern auch entsprechende Dosierungs- und Fördereinrichtungen, gegebenenfalls auch Lagereinrichtungen für die kurzzeitige Zwischenlagerung des fertigen Mischguts. Zu den Aufbereitungsanlagen für bituminöses Mischgut gehören noch Trocknungssysteme für die Zuschlagstoffe. Je nach den Anforderungen stehen für die Mörtel- und Frischbetonherstellung sowohl einfache handbetätigte Baustellenmischanlagen wie auch leistungsfähige automatisch betriebene zentrale Aufbereitungsanlagen zur Verfügung.

Für den Mischvorgang werden zwei verschiedene Wirkprinzipien genutzt: das Mischen durch Umwälzen im freien Fall und das Zwangsmischen durch Rührwerke. Danach werden Freifallmischer und Zwangsmischer unterschieden. Bei beiden Gruppen hat sich eine Vielzahl unterschiedlicher Typen herausgebildet, die sich in einzelnen funktionellen oder konstruktiven Merkmalen unterscheiden (Abb.32.6.).

Freifallmischer unterscheiden sich nach der Arbeitsweise in periodisch oder kontinuierlich arbeitende Mischer, nach der Art der Entleerung in Mischer mit Gegenlauf- oder Gleichlaufentleerung. Bei den *Zwangsmischern* ergeben sich Unterschiede insbesondere aus der Art des Rührwerks (Planetenmischer, Rotormischer) und nach der Anordnung der Mischerwelle (Tellermischer, Trogmischer).

Der Mischvorgang bei den Freifallmischern erfolgt durch Drehung der Mischtrommel um die horizontale Achse unter dem Einfluss der Schwerkraft. Das in die Trommel eingebrachte trockene Gut (Sand, Kies, Kalk, Zement) wird durch an der Innenseite des Behälters angebrachte Mitnehmerschaufeln mitgeführt. Es fällt aus der erhöhten Position zurück und vermischt sich dabei. Später wird Anmachwasser zugeführt. Die Entleerung erfolgt bei Kipptrommelmischern durch Kippen der rotierenden Trommel. Bei feststehender Trommelachse wird die Entleerung durch Gegenlauf des Behälters in eine schwenkbare Schurre realisiert.

Für große Baustellen bzw. stationäre Betonbereitungsanlagen existieren vollmechanisierte *Mischanlagen.* Diese stellen ein Maschinensystem aus mehreren Komponenten dar. Neben der Mischmaschine gehörten dazu Dosiereinrichtungen für die einzelne Komponente der Baustoffe, Zuführeinrichtungen, Lagersysteme (Silos) für die Bindemittel, Zuschlagstoffe und Frischbeton und Steuereinrichtungen. Ihrer Struktur nach sind sie verkettete Funktionssysteme.

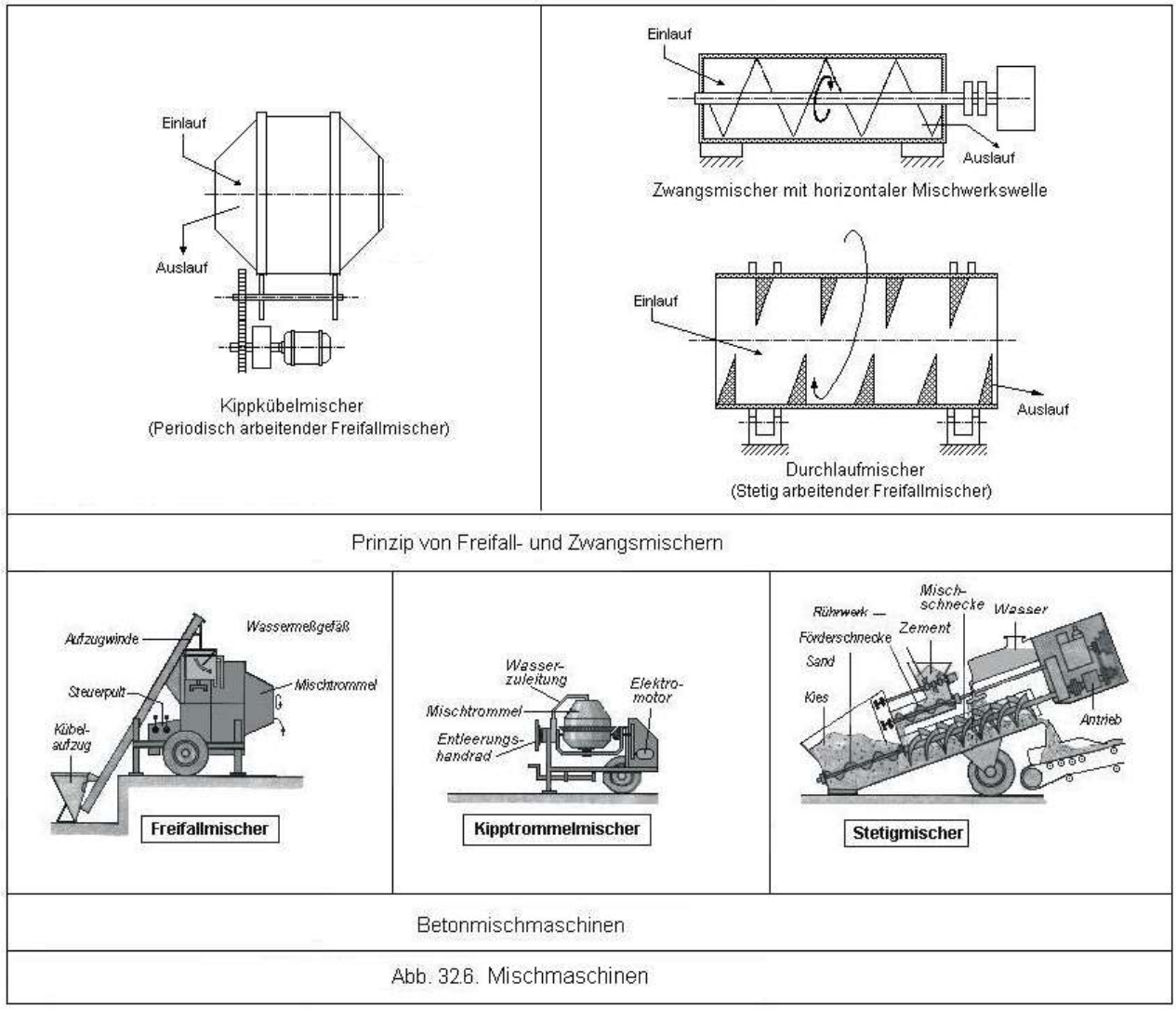


Abb. 32.6. Mischmaschinen

Zerkleinerungsmaschinen und Wasch- und Sortieranlagen werden gebraucht, um die hohen Anforderungen an die Betonzuschlagstoffe zu erfüllen. Das Material aus Kiesgruben wird in Wasch- und Siebanlagen von dem Feinmaterial befreit und klassiert. Rohmaterial aus Steinbrüchen muss mit Brechern und Mühlen auf die gewünschte Korngröße zerkleinert und ebenfalls in Wasch- und Siebanlagen behandelt werden. Die typischen Maschinen für diese Bearbeitungsverfahren sind Brecher, Mühlen, Klassieranlagen und Waschanlagen. Sie sind nicht nur für die Bauindustrie charakteristisch, sondern ebenso im Bergbau, in der stoffwandelnden Industrie. in der Agrarproduktion und in der verarbeitenden Industrie anzutreffen. Sie wurden im Zusammenhang mit den Stoffformungssystemen dargestellt, auf die wir deshalb hier nur verweisen.

Aufbereitungstechnik für Betonbewehrungsstahl wird benötigt, um den Bewehrungsstahl für Beton in die einbaugerechte Form zu bringen. Dabei muss der Stahl gerichtet, auf Länge geschnitten, entsprechend einem Biegeplan gebogen und dann zur Bewehrung zusammengefügt werden. Als charakteristische technische Systeme werden dafür Richtgeräte, Schneidegeräte, Biegegeräte, Flechtzangen und Schweißgeräte eingesetzt.

32.2.4. Spezialtransporter und Fördertechnik

Der Anteil der Transportprozesse ist in der Bauproduktion sehr hoch und steigt mit der zunehmenden Technisierung der Bauprozesse weiter. Die optimale Durchführung der Transportaufgaben ist deshalb von großer Bedeutung für die Ökonomie und die rationelle Organisation der Bauprozesse.

Für den außerbetrieblichen Transport von Baumaterialien zu den Baustellen werden in großen Umfang Transportmittel des Straßen- (aber auch des Eisenbahn- und Schiffstransports) eingesetzt. Dazu gehören Lastkraftwagen, wie sie in allen Bereichen der Volkswirtschaft Verwendung finden, mit denen Sand, Kies, Mauerziegel, Zement in Säcken, Baustähle und kleinere Bauelemente transportiert werden. Die auf den Bau-

stellen eingesetzten Fahrzeuge müssen allerdings meist geländegängig sein, über eine größere Bodenfreiheit verfügen, starke Federungen besitzen und über Allradantrieb verfügen.

Neben diesen allgemeinen Transportmitteln verfügt das Bauwesen über eine Anzahl spezialisierter Transportmittel. Insbesondere sind für einige Massenbaustoffe (Zement und Fertigbeton) und für schwere und sperrige Bauelemente des Industrie- und Verkehrsbaus Spezialtransportmittel entwickelt worden. Dazu gehören vor allem Zementsilofahrzeuge (bzw. -Anhänger), Tieflader mit Paletten für Montageelemente, fahrbare Betonmischer und Muldenkipper (Dumper) (Abb.32.7.).

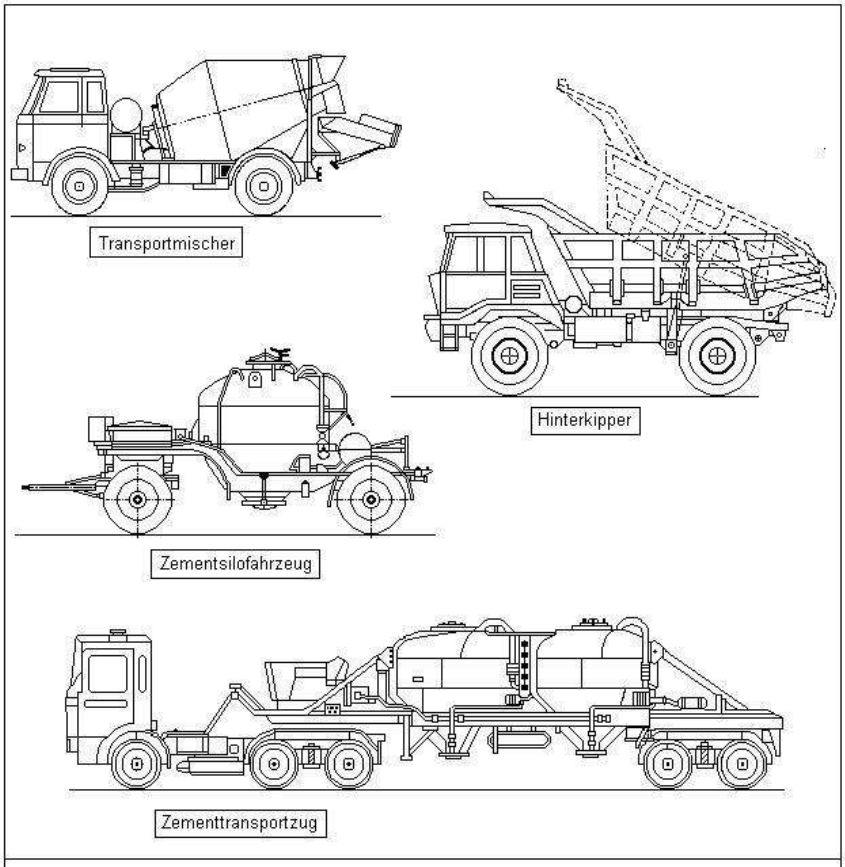


Abb.32.7. Spezialtransporter des Bauwesens

Der innerbetriebliche Transport (d.h. die Fördervorgänge auf der Baustelle) erfolgt in der Hauptsache durch Fördersysteme, wie wir sie im Kapitel 30 „Transport- Umschlag- und Lagersysteme“ dargestellt haben: durch Gurtförderer, Förderschnecken, Becherwerke und durch Pumpen. Gleiches gilt für die Hebezeuge, wie Krane, Aufzüge, Winden und Lastaufnahmemittel. Wir wollen in diesem Abschnitt nur auf solche Systeme eingehen, die für das Bauwesen spezialisiert sind und entsprechende Besonderheiten aufweisen.

Für die Mechanisierung der Arbeiten auf der Baustelle war die maschinelle Förderung von Mörtel und Beton in Rohrleitungen von großer Bedeutung. Es wurden deshalb spezielle *Mörtelpumpen* entwickelt. Sie arbeiten sowohl nach dem Prinzip der einfachen Kolbenpumpe wie auch dem der Membranpumpe. Im Unterschied zu den Flüssigkeitspumpen muss der Mörtel jedoch durch einen Fallschacht zugeführt werden. Bei Kolbenpumpen wird der Mörtel aus einem Einfülltrichter angesaugt und in die Förderleitung gedrückt. Die Ventile sind als Kugelventile ausgeführt und wirken selbsttätig. Zwischen Druckkolben und Förderleitung ist ein Windkessel geschaltet, der für einen gleichmäßigen, von den Kolbenhüben unabhängigen Materialstrom bei der Mörtelentnahme sorgt. Der in den Druckkessel aufsteigende Mörtel drückt die Luft im oberen Teil des Zylinders bis auf etwa 2 MPa zusammen. Die technische Entwicklung hat den ursprünglich mechanischen Kolbenantrieb weitgehend durch den hydraulischen Antrieb ersetzt.

Bei den Mörtelmembranpumpen wird der Kolbendruck über eine Druckflüssigkeit auf die Membran übertragen. Kugelsaug- und Druckventile regeln den Förderstrom. Auch hier sorgt ein Windkessel für einen gleichmäßigen Förderstrom (Abb.32.8). Der Überdruck im Luftkessel drückt den Mörtel in die Schlauchlei-

tung. Über eine Überlaufleitung und den Überlaufschieber kann der Luftkessel mit dem Mörtelbehälter verbunden werden.

In jüngerer Zeit hat die Rotorbetonpumpe an Bedeutung gewonnen. Das Förderprinzip beruht darauf, dass an einem Rotor befestigte Rollen den aus dem Fülltrichter auslaufenden Mörtel durch einen Pumpschlauch in die Förderleitung drücken. In der Pumpkammer herrscht Unterdruck, damit der gequetschte Schlauch wieder in seinen kreisförmigen Querschnitt zurückkehrt. Schieber und Ventile entfallen bei dieser Pumpenart. Der Pumpschlauch als Verschleißteil ist relativ langlebig und lässt sich kurzzeitig austauschen.

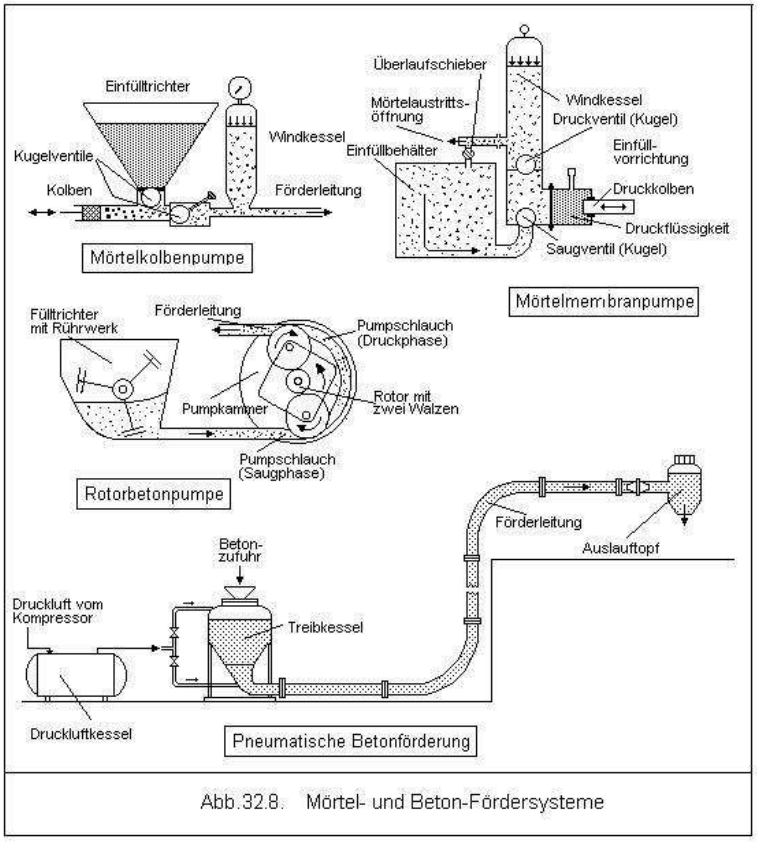


Abb.32.8. Mörtel- und Beton-Fördersysteme

Neben diesen technischen Lösungen wird auch die pneumatische Betonförderung angewandt. Die Anlage besteht aus einem Kompressor, einem Druckkessel, der für einen konstanten Druck sorgt, dem Treibkessel, der Förderleitung und dem Auslauftopf. Der Beton wird in den Treibkessel gefüllt. Mittels Druckluft, die sowohl auf den Beton im Treibkessel wie auch auf die Förderleitung direkt wirkt, wird er in die Förderleitungen gedrückt und der Förderdruck über einen Auslauftopf abgebaut.

Zu den Förderanlagen der Bauindustrie gehören auch die *Hebezeuge*. Ihre Aufgabe ist es, Lasten senkrecht oder schräg nach oben zu fördern. Handgetriebene Anlagen werden als Hebezeuge, maschinengetriebene als Hebemaschinen bezeichnet. Zu den Hebezeugen gehören Flaschenzüge, Druckwinden und Hebeböcke. Gegenüber den auch in anderen Produktionszweigen angewandten technischen Systemen weisen sie keine wesentlichen Besonderheiten auf. Wir haben sie bereits im Zusammenhang mit den Umschlagsystemen in Kapitel 30.2.2. der Transport-, Umschlag- und Lagersysteme behandelt.

32.3. Organstruktur

Die Organstruktur der Bautechnik entspricht im Prinzip dem allgemeinen Strukturmodell technischer Systeme. Baumaschinen bestehen aus den gleichen Funktionsorganen wie die Werkzeugmaschinen, die Arbeitsmaschinen, die Transportsysteme oder die Energiewandler. Die spezielle Struktur der bautechnischen Systeme ergibt sich aus den technologischen Besonderheiten (den Arbeitsaufgaben und den Einsatzbedingungen). Es sind vor allem 2 Merkmale, die gesonderte Erwähnung verdienen. Das sind zum einen die auf bautechnologische Vorgänge spezialisierten Arbeitsorgane und zum anderen die den Erfordernissen der Bautechnolo-

gie entsprechende Ortsbeweglichkeit der Maschinen. Sie zeigt sich darin, dass diese Maschinentypen mit einem Fahrwerk ausgerüstet sind. In Abb.32.9. werden diese Besonderheiten der Struktur berücksichtigt.

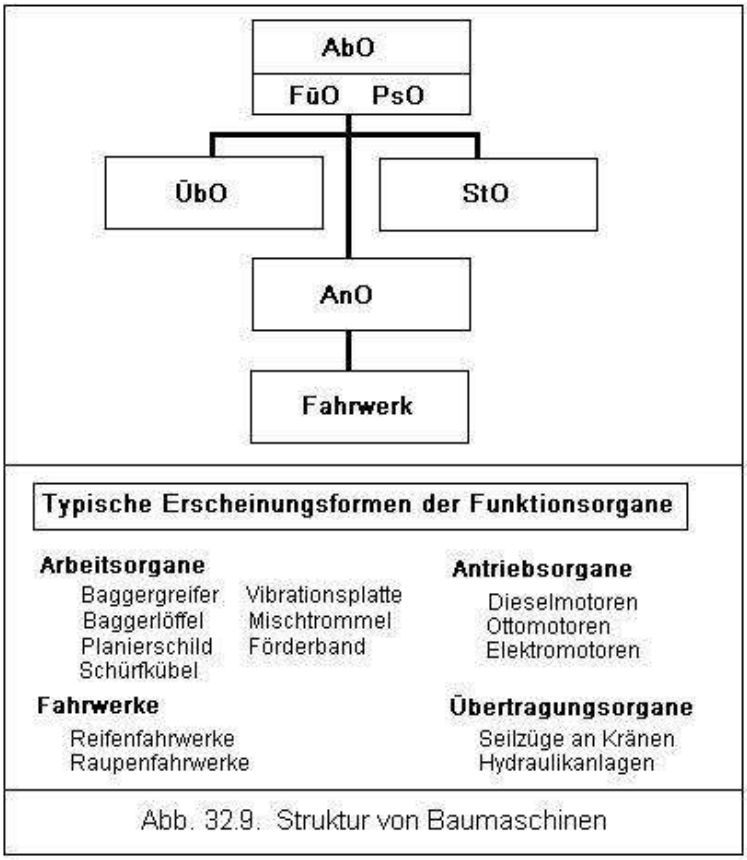


Abb. 32.9. Struktur von Baumaschinen

Typische *Arbeitsorgane* bautechnischer Systeme sind bei den Erdbaumaschinen Baggergreifer, Baggerlöffel, Ladeschaufeln, Planierschilde, Reißzähne und Schürfkübel (Zugschaufeln), bei den Aufbereitungsmaschinen Mischtrommeln, bei den Verdichtungsmaschinen Walzen, Rütteltische, Vibrationsplatten und Vibratorflaschen, bei der Fördertechnik Förderbänder, Förderketten, Fördertröge, Kranhaken und Fördergeschirr. Im Betonbau übernehmen die Schalungen und Formgebungselemente die Funktion der Gießformen in der Metallformung,

Als *Antriebsorgane* sind Verbrennungsmotoren (vorzugsweise Dieselmotoren) und Elektromotoren im Einsatz. Für Maschinen mit geringen Eigenbewegungen oder stationäre Anlagen werden elektrische Antriebe bevorzugt, da elektrische Energie heute auf allen Baustellen verfügbar ist. Elektromotoren sind meist unmittelbar dort angeordnet, wo die Antriebsenergie gebraucht wird und bedürfen keiner aufwendigen Kraftübertragungsleitungen. Antriebe für Turmdrehkrane, Mischerantriebe für Betonmischanlagen und Trommelantriebe für Bandförderer sind Beispiele für elektrisch betriebene Baumaschinen. Maschinen mit größerem Bewegungsradius, die durch die Kabelzuführungen für den elektrischen Strom in ihrer Beweglichkeit eingeengt würden, sind mit Verbrennungsmotoren ausgerüstet. Als Beispiele nennen wir Bagger, Grader, Dumper und Explosionsverdichter.

Die *Übertragungsorgane* sind sowohl als mechanische wie auch als hydraulische Systeme ausgelegt.

Fahrwerke sind Strukturelement aller ortsbeweglichen Baumaschinen. Es werden sowohl Räderfahrwerke wie auch Raupenfahrwerke verwendet. Beide Fahrwerkstypen haben ihre Vor- und Nachteile. Räderfahrwerke sind sehr wirtschaftlich. Sie haben eine geringere Masse, üben keine zerstörende Wirkung auf befestigte Fahrbahnen aus, verfügen aber nur über geringere Schub- und Zugkräfte, üben eine hohen Bodendruck aus. Ihre Geländegängigkeit ist gering, und sie sind im Geländebetrieb störanfälliger.

Raupenfahrwerke werden vor allem an langsamen und nur über kürzere Strecken fahrenden Baumaschinen eingesetzt. Sie verfügen über hohe Schub- und Zugkräfte, eine hohe Steigfähigkeit und geringe Wenderadien. Ihr Bodendruck ist relativ gering. Ihre hohe Masse und der hohe Fahrwiderstand erfordern hohe Antriebskräfte. Die Raupenketten unterliegen hohem Verschleiß und wirken zerstörend auf feste Fahrbahnen.

32.4. Ausgewählte Beispiele

32.4.1. Kipptrommelmischer

Der Kipptrommelmischer ist eine verbreitet auf den Baustellen eingesetzte Maschine zur Mörtelbereitung in kleineren Mengen (Abb.32.10).

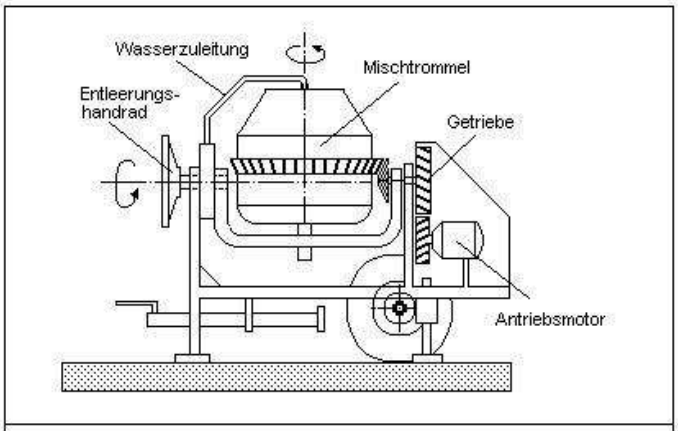


Abb.32.10. Kipptrommelmischer

Die drehbare Trommel bildet das Arbeitsorgan. Sie wird mit den einzelnen zu vermischenden Komponenten (Bindemittel, Zuschlagstoffe und Wasser) in festgelegten Anteilen gefüllt. Die Trommel ist kippbar gelagert, um das fertige Gemisch nach unten entleeren zu können. Zur Erhöhung des Mischeffekts sind im Trommelinneren Schaufeln angebracht (Positionierungsorgan). Sie heben während des Drehens das Mischgut an und lassen es aus gehobener Stellung frei fallen (Freifallmischer). Bei Mischern bis zu 150 l Fassungsvermögen erfolgt das Füllen und Entleeren durch eine einzige Öffnung, meist durch Hand. Größere Mischer werden durch motorgetriebene Aufzüge beschickt. Zur Entleerung wird die Trommel mittels eines Handrades gekippt und bei gleichzeitigem Gegenlauf entleert.

Als Antriebsorgan dient ein Elektromotor.

Das Übertragungsorgan ist ein Zahnrad- und ein Riemengetriebe. Es überträgt die mechanische Energie des Motors auf die Trommel. Das für den Antrieb der gefüllten Trommel notwendige hohe Drehmoment erfordert eine entsprechende Auslegung von Antrieb und Getriebe. Die Trommeldrehzahl liegt zwischen 20 und 25 U/min.

Elemente eines Steuerungsorgans finden sich in Form von Endschaltern, die die Aufzugbahn in der oberen und unteren Stellung begrenzen.

Das *Stützorgan* wird vom Gestell gebildet, das eine festen Stand der Maschine sichern soll. Es ist ein aus rohrförmigen Trägern geschweißtes Gerüst. Durch ein Fahrwerk mit zwei Rädern ist der Mischer ortsveränderlich. Am Gestell sind die einzelnen Baugruppe (Motor, Getriebe, Schaltelemente) befestigt.

Das Strukturmodell des Kipptrommelmischers gibt Abb.32.11. an.

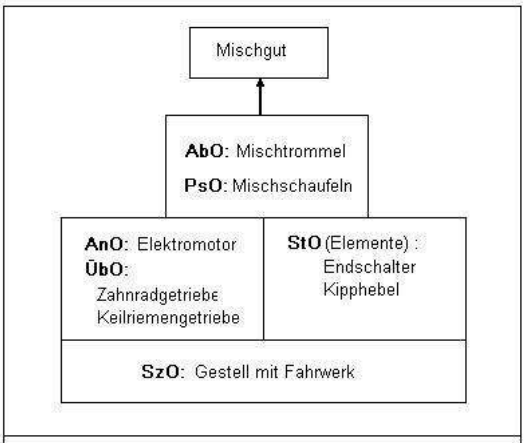


Abb.32.11. Organstruktur des Kipptrommelmischers

32.4.2. Walzen

Walzen sind bautechnische Systeme zur Verdichtung von Boden und lockerem Gestein. Durch Überrollen des zu verdichtenden Materials werden infolge der hohen Eigenmasse der Walze die zur Verdichtung notwendigen Kräfte übertragen. Durch zusätzlichen Ballast kann die Verdichtungswirkung entsprechend erhöht werden. Walzen können als selbstfahrende Maschinen oder als schleppergezogene Anhängegeräte gestaltet sein (Abb32.12.).

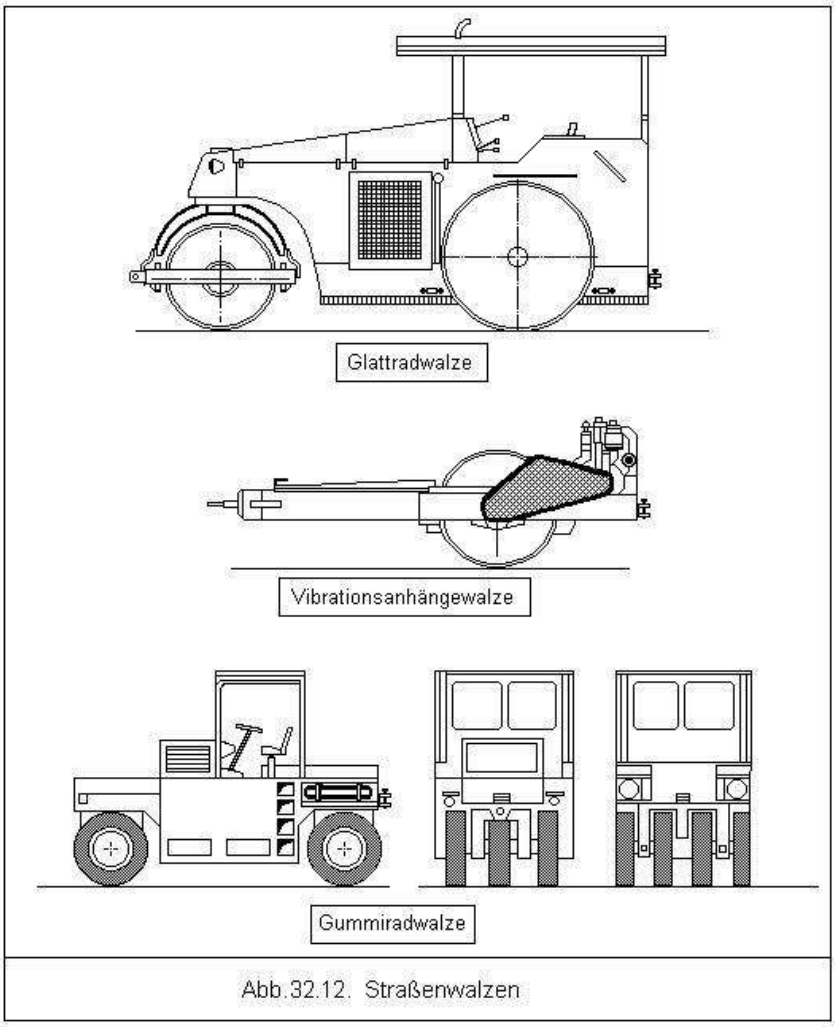


Abb.32.12. Straßenwalzen

Das Arbeitsorgan der Walzen sind die Walzenkörper. Sie können unterschiedliche Oberflächenformen und Materialausführung aufweisen (Glattwalzen, Schaffußwalzen, Gummiradwalzen). Die Gummiradwalze wird aus mehreren nebeneinander liegenden Einzelrädern gebildet, die auf den einzelnen Achsen so gegeneinander versetzt sind, dass die Räder die zu verdichtende Fläche vollständig erfassen. Gummiradwalzen werden dort eingesetzt, wo neben der Verdichtung das Material gleichzeitig geknetet werden muss. Das ist bei der Schwarzdeckenfertigung im Straßenbau und beim Einbau des Lehmkernes in Erddämmen der Fall.

Anhängewalzen werden oft als Vibrationswalzen ausgeführt. Sie können dann kleiner und leichter gehalten werden. Die Vibration wird durch motorbetriebene Unwuchterzeuger hervorgerufen.

Die Walzen werden von einem stabilen Rahmen getragen. Er nimmt außerdem den Antriebsmotor (Antriebsorgan) und die Übertragungs- und Steuerungssysteme auf.

32.4.3. Spritzbetonieranlage

Spritzbetonieren ist ein technologisches Verfahren, bei dem sog. Spritzbeton in einer oder mehreren dünnen Schichten auf Flächen aufgetragen wird. Der Spritzbeton besteht aus Portlandzement mit mindestens 40 Mpa Normfestigkeit und Sand (bzw. Kies) mit einer maximalen Korngröße von 8 mm. Die Spritztechnologie wird dort angewandt, wo wasserundurchdringliche und wetterfeste Betonoberflächen geschaffen werden sollen, z.B. bei dünnwandigen Stahlbetonkonstruktionen, bei Gewölbe- und Behälterauskleidungen.

Spritzbetonieranlagen bestehen aus einem Spritzgerät (der Zementkanone), dem Kompressor mit Luftreiniger, dem Wasserbehälter und der Spritzdüse (Abb. 32.13.). Die einzelnen Teilsysteme sind durch pneumatische Schläuche miteinander verbunden. Das Spritzgerät ist ein Kessel, der in zwei Schleusenkammern geteilt ist. In ihnen befindet sich das trockne Gemisch von Zement und Zuschlagstoffen. Die Teilung in zwei Kammern ermöglicht das kontinuierliche Arbeiten der Maschine bei periodischer Auffüllung des trocknen Betons. Mittels Druckluft von 0,15 bis 0,35 Mpa das Betongemisch in die Düse gedrückt. Zugleich gelangt Wasser dosiert in die Spritzdüse. Das sich bildende Mörtelgemisch wird mit hoher Geschwindigkeit (bis 80 m/s) auf die zu betonierende Fläche gespritzt und bildet dort eine dichte Mörtelschicht. Ein Teil des Mörtels (bis zu 30%) wird von der Fläche zurückgeworfen und fällt als Absprung zu Boden. Die aufgetragene Schicht darf höchstens 25 mm stark sein. Nach jeweils 1 bis 2 Stunden Antrockenzeit können weitere Schichten aufgebracht werden.

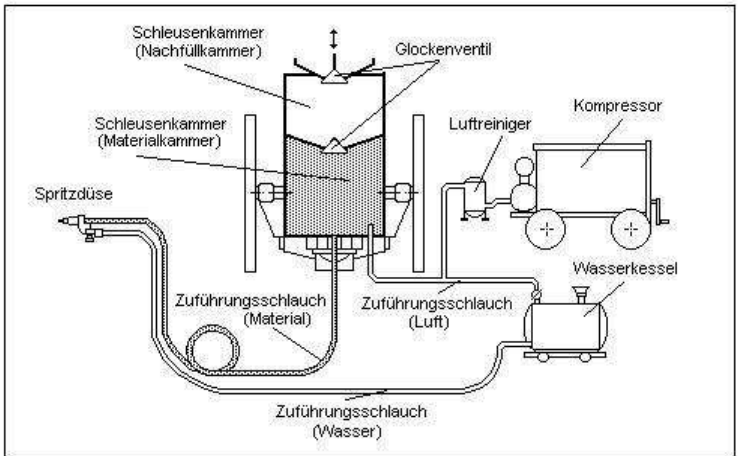


Abb.32.13. Spritzbetonieranlage

Die Organstruktur einer Spritzbetonieranlage zeigt Abb. 32.14.

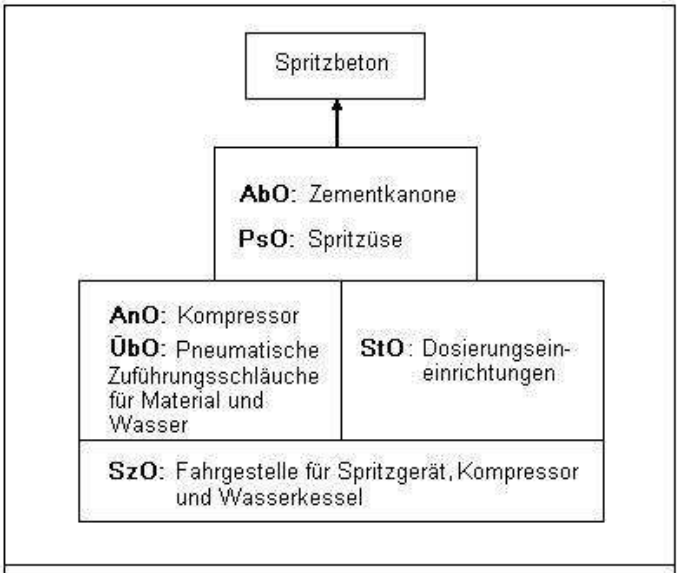


Abb.32.14. Organstruktur einer Spritzbetonieranlage

Literatur

32.1. H. Nowitzki / R. Schwarz : Baumaschinenkunde; Berlin 1979
32.2. K. Fiedler / G. Bannier / R. Berbig / J. Piehler: Grundlagen der Bautechnologie; Berlin 1975
32.3. D.Lemser: Grundlagen der Mechanisierung und Automatisierung der Bauprozesse; Berlin 1976
32.4. H. Pörschmann / Chr. Gleue: Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse im Bauwesen; Berlin 1980
32.5. W. Knaupe / E. Nakel / K. Roßberg / H. Bosold: Tiefbauprozesse; Berlin 1977
32.6. S. Röhling / K.-D. Röbenack / J. Heinrich / N. Danilov: Technologie des monolithischen Beton- und Stahlbetonbaues; Berlin 1978
32.7. H. Nowitzki / R. Schwarz / L. Sprung: Baumaschinen (Grundlagen); Berlin 1989
32.8. H. Heuer / J. Gubany / G. Hinrichsen: Baumaschinentaschenbuch; Wiesbaden und Berlin 1994

33. Robotertechnik

33.1. Robotertechnik als neue Klasse technischer Systeme

Die Robotertechnik stellt eine qualitativ neue Klasse technischer Systeme dar. Die ersten Industrieroboter wurden um 1960 in den USA entwickelt und eingesetzt. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie bis dahin nur durch die menschliche Arbeitskraft ausführbare Operationen zur Handhabung von Werkzeugen und Arbeitsgegenständen auf die Technik überträgt und damit automatisierbar macht. Die Robotertechnik lässt sich in diesem Sinne als automatisierte Handhabetechnik charakterisieren. Ihre umwälzende Bedeutung in der wissenschaftlich-technischen Revolution erhält sie dadurch, dass sie die weitgehende Herauslösung des Menschen aus Produktionsbereichen mit hohem Anteil von Handhabeoperationen ermöglicht und gewisse bis dahin existierende Schranken bei der Automatisierung der Produktionsprozesse überwindet. Solche Schranken bestanden hinsichtlich des Leistungsvermögens der menschlichen Arbeitskraft bei der Handhabung größerer Massen, der Arbeitsdauer ohne Leistungsabfall, der Arbeitsgeschwindigkeit und der Arbeitsgenauigkeit. Der hohe Grad der Universalität der Anwendung der Robotertechnik birgt die Potenz, den Menschen weitgehend aus dem unmittelbaren Fertigungsprozess freizusetzen. Die Industrieroboter sind so gesehen, ein direkter, leistungsfähigerer, ermüdungsfreier und wirtschaftlicherer Ersatz für die menschliche Arbeitskraft.

Handhabeoperationen sind noch in zahlreichen Produktionsprozessen anzutreffen, insbesondere bei den in der metallverarbeitenden Industrie verbreiteten vielstufigen, diskontinuierlich betriebenen und vorwiegend auf mechanischen Wirkprinzipien beruhenden technologischen Verfahren. Die formgebende Bearbeitung durch spanende und umformende Verfahren sowie die meist notwendige Montage zahlreicher Einzelteile zu komplexen Fertigerzeugnissen erfordert eine Folge von Bearbeitungsvorgängen durch zahlreiche unterschiedliche technische Systeme, was mit einer erheblichen Zahl von Handhabeoperationen verbunden ist. Diese zwar meist relativ geringe Anforderungen an Qualifikation und geistige Leistungsfähigkeit der Arbeitskräfte stellenden Tätigkeiten sind in ihrem Bewegungsablauf jedoch oft kompliziert und waren deshalb nicht oder nur mit hohem Aufwand automatisierbar. Das hatte zur Folge, dass die Automatisierung der Hauptprozesse relativ schnelle Fortschritte machte, während die Handhabeoperationen nach wie vor den Einsatz menschlicher Arbeitskraft erforderten. In der Einzel-, Klein- und Mittelserienfertigung liegt dieser Anteil bei 20 bis 30% des Arbeitsvermögens. Die Robotertechnik ermöglicht es, diese Automatisierungslücken zu schließen. Sie ist damit insbesondere wesentliches Element der flexiblen Automatisierung.

Die Bezeichnung für diesen Techniktyp ist aus dem slawischen Wort „rabota“ (= Arbeit) abgeleitet. Sie geht letzten Endes auf den tschechischen Schriftsteller K.CAPEK zurück, der in seinem Schauspiel „RUR“ (Rossums Universal Robots) (1921) menschenähnlich gestaltete Automaten mit diesem Namen belegte, die in den Fabrikhallen eingesetzt wurden, um die Arbeiter von stumpfsinniger, monotoner Arbeit zu entlasten. Die ursprünglich mit diesem Begriff verbundene Vorstellung von der menschenähnlichen Gestalt der technischen Gebilde hat die Entwicklung allerdings gründlich überholt

Die Robotertechnik hat ihre Vorläufer in den durch menschliche Hand gesteuerten Manipulatoren, wie sie bereits seit den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts insbesondere in Labors und an gesundheitsgefährlichen Arbeitsplätzen im Einsatz sind (z.B. zur Handhabung radioaktiver Substanzen oder gefährlichen chemischen oder biologischen Materials). Durch die Verbindung dieser Manipulatoren mit mikroelektronischen Programmsteuerungen entstanden die Industrieroboter.

Der Begriff “Handhaben” umfasst in dem hier verwendeten Sinn den Nachvollzug der für die jeweilige technologische Operation erforderlichen Bewegungsabläufe der menschlichen Hand und des Armes für den Transport von Gegenständen in eine vorher festgelegte Position und die in dieser Position geforderten Bewegungsabläufe. Bei der Klasse der sensorgesteuerten Roboter schließt er das technische Nachvollziehen der Koordinierung von Auge und Hand ein, d.h. die Verbindung von Erkennen und Handeln. Zu den Handhabetätigkeiten zählen Arbeitsgänge wie Zuteilen, Ordnen, Einlegen, Abnehmen, Ablegen, Positionieren, Justieren und Montieren. Handhabetätigkeiten treten in Bearbeitungsvorgängen, bei der Montage, bei der Materialbereitstellung, der Werkzeugzuführung sowie bei der Lagerung und Verpackung fertiger Erzeugnisse auf.

Die Entwicklung der Industrieroboter hat sich nach dem Überwinden von technischen Anfangsproblemen, von ökonomischen Schranken und auch von ideologischen Vorbehalten recht stürmisch vollzogen. Die ersten frei programmierbaren Industrieroboter fanden 1961 bei Handhabeoperationen von Druckgussteilen Anwendung. Um 1970 begann die Roboterentwicklung in allen entwickelten Industrieländern der Welt. Als 1973 die erste internationale Konferenz für Industrierobotertechnik (Nottingham, GB) stattfand, waren be-

reits einige tausend Roboter im Einsatz. 1980 waren es weltweit etwa 30 000 frei programmierbare Systeme. Ihre Zahl hat sich heute weiter vervielfacht, und Industrieroboter gehören zu normalen Ausrüstungen in vielen Produktionsbereichen.

Eine allgemein anerkannte Definition der Industrieroboter ist bis heute nicht gefunden. Wir wollen als Grundlage die von einer Expertengruppe der UNO-Wirtschaftskommission für Europa vorgeschlagene Begriffsbestimmung nutzen: „Der Industrieroboter ist ein automatischer, positionssteuerbarer, programmierbarer, flexibler Multifunktionsmanipulator mit verschiedenen Achsen, der in der Lage ist, Materialien, Teile, Werkzeuge und Spezialinstrumente durch variabel programmierbare Operationen zur Erledigung einer Vielzahl von Aufgaben zu bewegen. Er tritt häufig in Form eines oder mehrerer Arme auf, die in einem Gelenk enden. Seine Steuereinheit benutzt einen Speicher. Mitunter werden Sensoren und Zusatzeinrichtungen genutzt, die auf die Umgebung und äußere Einflüsse reagieren. Diese multifunktionalen Maschinen sind im Allgemeinen dazu vorgesehen, sich wiederholende Funktionen auszuführen. Sie können an andere Funktionen ohne ständige Veränderung der Ausrüstung angepasst werden."

Zusammenfassend lassen sich als *allgemeine technische Charakteristika* der Industrieroboter angeben:

- die Fähigkeit zum automatischen Handhaben von Werkzeugen, Vorrichtungen, Werkstücken und Materialien im Produktionsprozess,
- die hohe Beweglichkeit der Arbeitsorgane durch Bewegungsteuerung in mehreren Freiheitsgraden zur Positionierung und Manipulierung der Objekte in einem ausreichend großen Arbeitsraum,
- die feste oder freie Programmierbarkeit der geforderten Bewegungsabläufe,
- gegebenenfalls das Vorhandensein von Sensoren zur Erfassung Prozessbezogener Informationen.

33.2. Übersicht über die Hauptgruppen der Industrieroboter und ihre Merkmale

Die Industrierobotertechnik hat von Anbeginn eine außerordentlich schnelle Entwicklung erfahren. Trotz der kurzen Existenzzeit hat sich bereits eine Vielzahl von Robotertypen mit sehr unterschiedlichen Einsatzbereichen und Arbeitsaufgaben herausgebildet.

Die *Klassifizierung der verschiedenen Robotertypen* kann nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen, z.B.:

- nach der Bauform (Ständer-, Portal- oder Anbauroboter),
- nach der kinematischen Struktur (DDD, DDS, DSS, SSS),
- nach der Art des Antriebes (elektrische, hydraulische und pneumatische Roboter),
- nach der Bewegungssteuerung (Punktsteuerung und Bahnablaufsteuerung),
- nach dem Automatisierungsgrad (Roboter der 1., 2.. oder 3. Generation),
- nach dem Spezialisierungsgrad (prozessflexible und prozessspezifische Robotertechnik),
- nach der Einsatzcharakteristik in Beschickungs-, Montage-, Transport- und technologische Roboter).

Für die allgemeintechnische Betrachtung sind als Klassifizierungskriterien insbesondere der Automatisierungsgrad und die Einsatzcharakteristik von Interesse.

Nach dem *Automatisierungsgrad* (steuerungstechnischer Aspekt) werden verschiedene Roboter-Generationen unterschieden. Ihnen liegen als Kriterien die Möglichkeiten und der Umfang der Bewegungs-, Objekterkennungs- und Informationsverarbeitungsvorgänge, die durch die Roboter ausgeführt werden können.

Die *erste Generation* arbeitet nach einem festen Steuerungsprogramm ohne Signalrückmeldung an das Steuerungszentrum. Sie führen einen fest vorgegebenen (speicherprogrammierten) Bewegungsablauf durch und wiederholen diesen beliebig oft. Soll er verändert werden, muß das Programm durch ein neues Programm ersetzt werden. Industrieroboter dieses Typs sind relativ einfach aufgebaut und können nur einfache Bewegungen mit geringen Freiheitsgraden ausführen. Die zu greifenden oder zu bearbeitenden Teile müssen wegen des Fehlens von Sensoren in definierter Lage und an vorgegebenen Stellen positioniert sein. Roboter der ersten Generation können nur für etwa 3% der manuellen Tätigkeiten eingesetzt werden. Typische Einsatzgebiete für Roboter dieser Generation sind relativ feststehende Prozessbedingungen mit einfachen, sich ständig wiederholenden unveränderlichen Beschickungs- und Einlegeoperationen, wie sie in der Massen- und Großserienfertigung häufig vorkommen.

Industrieroboter der *zweiten Generation* sind international seit 1977 im Einsatz. Sie verfügen über Sensoren (vorwiegend optische und taktile Erkennungssysteme), die ihnen in bestimmtem Maße das Erkennen physi-

kalischer Merkmale der Objekte (Form, Abmessung, Lage) und die Auge-Hand-Koordinierung ermöglichen. Ihr Programm gewinnt durch die zusätzlichen und in Steuerungsimpulse umgesetzten Prozessinformationen eine gewisse Flexibilität und gestattet, in begrenztem Umfang veränderte Prozessbedingungen zu berücksichtigen. Sie werden vor allem dort eingesetzt, wo kompliziertere, wechselnde und miteinander kombinierte Handhabeoperationen automatisiert werden sollen, z.B. bei einfachen Montageaufgaben, bei Transportaufgaben mit Objekterkennung und -zuordnung. Sie ermöglichen die Automatisierung von 20-30% aller manuellen Arbeitsprozesse.

Die *dritte Generation* der Industrieroboter ist seit 1985 im Einsatz. Sie ist mit Informationsverarbeitungssystemen und mit entsprechenden Erkennungssystemen ausgerüstet, die die Möglichkeit der Selbstanpassung an sich ändernde Umgebungsbedingungen („Lernfähigkeit“) geben. Sie sind frei programmierbar und besitzen die Fähigkeit, Prozesse und Zustände zu modellieren. Mit Hilfe mathematischer Modelle und heuristischer Verfahren können sie die Umgebungs- und Aufgabensituation analysieren und selbständig bestimmte Prozessbezogene Entscheidungen treffen.

Nach ihrer *Einsatzcharakteristik* (Anwendungsaspekt) werden unterschieden:

- *Beschickungsroboter* sind das Bindeglied zwischen bearbeitendem System und den peripheren Einrichtungen. Sie führen Arbeitsgegenstände (Werkstücke, Schüttgut) oder auch Arbeitsmittel (Werkzeuge, Vorrichtungen, Mess- und Prüfmittel) den Bearbeitungssystemen zu und führen Werkzeug- und Werkstückwechsel aus. Sie bilden das Bindeglied zwischen dem Bearbeitungssystem und den peripheren Einrichtungen bzw. dem Transportsystem. Sie werden auch in Fertigungszellen eingesetzt (Abb. 33.1.).

- *Technologische Roboter* bearbeiten Werkstücke. Dazu sind ihre Greifer mit entsprechenden Werkzeugen ausgerüstet (z.B. Schweißgerät, Spritzpistole, Elektroschrauber Fräser, Schleifscheibe). Diese müssen über die zu bearbeitende Fläche oder Fuge in vorgegebenen Bahnen entlanggeführt (z.B. beim Farbspritzen) oder in bestimmte Positionen gebracht werden (z.B. beim Punktschweißen). Die Bahnführung setzt in den meisten Fällen auch definierte Bahngeschwindigkeiten der Bewegungsabläufe der einzelnen Getriebeachsen voraus. Die Greifereinheiten der technologischen Roboter sollen einen relativ großen Greifbereich aufweisen und relativ kurze Umrüstzeiten zulassen.

- *Montageroboter* werden als Portal- und Ständermontagezellen ausgeführt. Die Portallösung gestattet die Unterbringung einer größeren Anzahl von Paletten und Vereinzelungseinrichtungen in der Montagezelle und wird deshalb dann bevorzugt, wenn eine größere Zahl von Teilen zusammengefügt werden muss. Montageroboter sind gegenüber den technologischen Robotern mit einem Montagekopf ausgerüstet. Er besteht im Allgemeinen aus verschiedenen Greif- und Fügewerkzeugen, der Sensoreinheit, dem ungesteuerten Fügemechanismus und der Werkzeugwechseleinrichtung.

- *Transportroboter* sind wesentliche Komponenten beim Übergang von der automatischen Fertigung auf Einzelmaschinen zu Systemlösungen. Sie ermöglichen den automatischen Stofffluss zwischen den einzelnen Bearbeitungsstationen sowie die Materialzufuhr aus Hochregallagern. Sie besorgen den Transport von Werkstücken, Paletten, und Spänebehältern. Als Transportroboter kommen Überflur- wie auch flurgebundene und leitliniengeführte Roboter zum Einsatz.

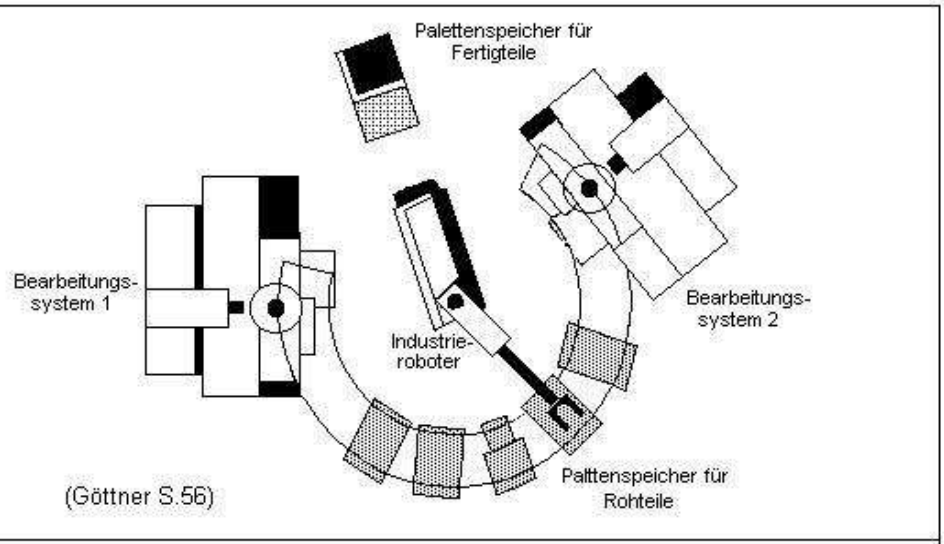


Abb. 33.1. Einsatz eines Industrieroboters in einer Fertigungszelle mit mehreren Bearbeitungssystemen und Palettenspeichern

Charakteristische Kenngrößen für die Bewertung der verschiedenen Robotertypen sind (nach VOLMER):

- die *Tragfähigkeit*, sie gibt Auskunft über die maximal zu handhabende Masse des Objektes
- die *Anzahl der Freiheitsgrade*, die den Umfang der Bewegungsmöglichkeiten des Greifergetriebes und des Greifers angibt
- die *Struktur des Roboters* charakterisiert die kinematische Kette, seine Beweglichkeit und den konstruktiven Aufbau
- den *Arbeitsraum* gibt an, welchen Bewegungsbereich das Greiferführungsgetriebe erlaubt. Er kann Quader-., Kreisring-, Kreisringsegment- oder Tonnenform haben
- die *Verfahrwege und Drehwinkel* geben an, welche Objektbewegungen innerhalb des Arbeitsraumes in den jeweiligen Bewegungsachsen möglich sind
- die *Verfahrgeschwindigkeit* (in m/s) und *Drehgeschwindigkeiten* (in Grad/s) sagt aus, welche maximale Geschwindigkeit der Greiferhand in den jeweiligen Achsen erreichbar ist
- das *Steuerungssystem* bestimmt die Einsatzmöglichkeiten des Roboters
- die *Programmschrittzahl* gibt das Maß für den möglichen Programmumfang an
- die *Positionier- und Wiederholgenauigkeit* macht Angaben über die Unsicherheit in der Positioniergenauigkeit bei mehrmaliger Wiederholung des Bewegungszyklus

Einsatzgebiete. Die Einsatzfelder von Industrierobotern sind auf Grund ihrer universellen Ausrüstungsmöglichkeiten außerordentlich vielfältig. Allgemein lässt sich sagen, dass überall dort, wo Handhabeoperationen noch eine Rolle spielen, Roboter eingesetzt werden können. Das betrifft insbesondere

- Prozesse mit hohem Anteil an monotonen und ermüdenden Arbeitsverrichtungen, z.B. an Fließbändern mit kurzen Taktzeiten und beim Beschicken von Aggregaten mit kurzen Beschickungsrhythmen (Automobilbau, Elektrogerätebau, Plastverarbeitungsmaschinen)
- Prozesse, in denen Werkstücke mit größeren Abmessungen oder Massen bewegt oder längere Wegstrecken überbrückt werden müssen, z.B. beim Beschicken von Schmelzöfen und Schmiedepressen, in Gießereien, beim Beschicken von Brennöfen in der keramischen und Baustoffindustrie, beim Stapeln und Einlagern von Objekten)
- Prozesse, in denen mit gesundheitsgefährdenden Materialien (in Form von Schmutz, Staub, Chemikalien, Lösungsmitteln), hohen Temperaturen und Drücken, gesundheitsschädigender Strahlung gearbeitet wird oder die durch Lärm und Erschütterungen belastet sind (chemische Industrie, keramische Industrie, Baustoffindustrie, Gießereien, Härtereien, Lackierereien).

Demgemäß sind Einsatzschwerpunkte in der metallverarbeitenden Industrie (Maschinen- und Anlagenbau, Fahrzeugbau, Elektrotechnik und Elektronik), aber auch im Bergbau, in der Metallurgie, in der chemischen

Industrie sowie in der Glas- und Keramikindustrie zu finden. In der Perspektive zeichnet sich eine Schwerpunktverlagerung des Robotereinsatzes von prozessgebundenen zur prozessflexiblen Automatisierungslösungen ab. Insbesondere in Produktionsbereichen mit Klein- und Mittelserienfertigung sowie einer große Sortimentsbreite und Variantenvielfalt ermöglichen Industrieroboter der 2. und 3. Generation neue wirtschaftlich vertretbare Lösungen. Die schnelle Weiterentwicklung der Industrieroboter eröffnet weiterhin Fortschritte in Richtung auf automatische Produktionsabschnitte und die automatische Fabrik.

Die **Werkzeugführung** betrifft zahlreiche technologische Aufgaben, die im Prinzip die gesamte Palette der Stoffformungsverfahren vom Urformen bis zum Beschichten und Stoffeigenschaftsändern erfassen. Im Bereich der Urformverfahren sind das automatische Entnehmen der Schmelze aus dem Schmelzofen, ihr Eingeben in die Gießformen, die Entnahme der Abgüsse aus den Formen und ihre Entgratung technologische Funktionen, die heute von Robotern übernommen werden können. Ebenso werden Umformverfahren durch Schmiederoboter ausgeführt. Fügeverfahren realisieren Industrieroboter durch Halten, Bewegen und Führen von Schweißwerkzeugen, Lötgeräten und Elektroschraubern. Beschichtungsaufgaben übernehmen Roboter durch das Führen der Spritzpistole beim Aufbringen von Grund- und Decklackierungen auf Autokarossen oder beim Aufbringen vom Emailleschichten auf Badewannen, Herde, Öfen und Haushaltsgroßgeräte. Stoffeigenschaftsänderungen bewirken Industrieroboter bei Härteprozessen, in denen sie Brenner, Induktionsschleifen oder Duschen mit Kühlflüssigkeiten führen.

In den Bereich der technologischen Funktionen gehört auch das Zuführen und Positionieren von Vorrichtungen, Spannzeugen, Meß- und Prüfzeugen in Produktionsprozessen.

Die **Beschickungsfunktionen** sind ebenfalls sehr vielfältiger Art. Sie können das Zuführen und das Einlegen von Material in die Verarbeitungssysteme, sowie die Entnahme von Teilen, das Zu- und Abführen von Werkstücken oder das Spannen und Zustellen von Werkzeugen umfassen. Typische Anwendungsfälle dieser Art sind das Beschicken von Schmelz-, Härte- und Erwärmungsöfen sowie die Materialzuführung an Plastverarbeitungsmaschinen, Spritzgussanlagen und Druckgussmaschinen.

Verbreitet ist weiterhin der Robotereinsatz zur **Verkettung von Werkzeugmaschinen** (starr und flexibel). Das ist für technologische Strukturen wie Fließstraßen, Fertigungszellen und Fertigungssysteme typisch. In flexiblen Bearbeitungszentren und Fließstraßen können die einzelnen Bearbeitungsstationen durch ein roboterbetriebenes Materialtransport- und -lagersystem miteinander verknüpft werden. Die Robotertechnik übernimmt das Beschicken mit Material und Werkzeugen und die Verbindung zwischen ihnen durch das Weiterbefördern der Arbeitsgegenstände. Die Bearbeitungssysteme können dabei kreisförmig um einen Zentral-Roboter angeordnet sein oder durch Portalroboter bzw. schienengeführte Roboter verbunden sein.

Förderaufgaben übernehmen Industrieroboter bei den verschiedenartigen Formen des innerbetrieblichen Transports durch Zustellen, Zuteilen, Weiterleiten, Abzweigen und Zusammenführen von Arbeitsgegenständen von einer Bearbeitungsstation zur anderen,

In der **Lagerhaltung** sind robotertypische Funktionen das Palettieren, Stapeln, Magazinieren, Umlagern und das Ein- und Auslagern von Werkstücken.

Bei den robotergerechten **Montageaufgaben** handelt es sich um das Beschicken von Montageeinrichtungen, das tastende Erkennen und Ergreifen von Montagebausteinen, um Justierarbeitsgänge und die Durchführung von Montagetätigkeiten (insbesondere Steck-, Stift-, Keil- und Schraubverbindungen unter Verwendung von Einpresswerkzeugen und Schraubern). Die Ausweitung der robotergeführten Montageprozesse wird weitgehend von Fortschritten in der Anwendung der Sensortechnik und der Computertechnik bestimmt, um die z. T. komplizierten Montagevorgänge automatisieren zu können.

In diesem Zusammenhang können auch die **Verpackungsaufgaben** erfasst werden, bei denen es im Prinzip um das Zusammenbringen von Verpackungsgut und Verpackungsmitteln geht.

Eine Übersicht über die Einsatzmöglichkeiten der Robotertechnik gibt Abb. 33.2.

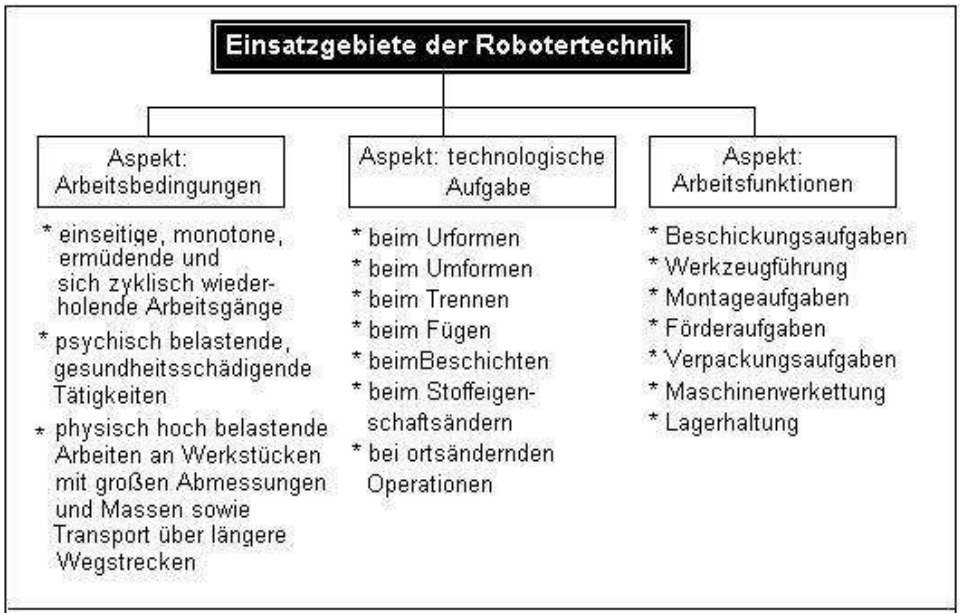


Abb. 33.2. Einsatzgebiete der Robotertechnik

33.3. Organstruktur (Charakteristik der roboterspezifischen Funktionsorgane)

33.3.1. Prinzipieller Aufbau der Industrieroboter

Wie bei allen anderen Typen technischer Funktionssysteme, entspricht der prinzipielle Aufbau der Industrieroboter dem allgemeinen Organstrukturmodell (s. Kap. 22.5.). In der Fachliteratur werden als Hauptbaugruppen von Industrierobotern genannt:

- Greifer - zum Aufnehmen, Halten und Abgeben von Manipulationsobjekten,
- Greiferführungsgetriebe - zum Bewegen und Positionieren der Greifer
- Gestelle - zur Aufnahme aller Baugruppen und festen Verbindung des Roboters mit seinem Standort
- Antriebe - zur Bereitstellung der Operationsenergie für die Greiferbewegungen
- Manipulatorsteuerungen - zur Gewährleistung der vorgegebenen Greiferbewegungen
- Sensorsysteme - zur Erfassung von prozessbezogenen Informationen
- Wegmeßsysteme - zur Erfassung von Informationen über die von den Bewegungsachsen des Manipulators zurückgelegten Wege und Winkel und Weitergabe dieser Informationen an die Steuerung.

In der Betrachtungsweise der „Allgemeinen Techniklehre“ geht es darum, diese Baugruppen der Organstruktur technischer Systeme zuzuordnen, ihre Funktionen zu charakterisieren, sowie die grundlegenden Typen, Funktionsgruppen und Funktionselemente zu bestimmen.

33.3.2. Arbeitsorgane

Das Arbeitsorgan des Industrieroboters ist der ***Greifer*** **(Greiferhand)**. Er ist das Funktionsorgan, das die Objekte (Werkzeuge, Vorrichtungen, Werkstücke, Materialien, Meß- und Prüfmittel) aufnimmt, sie sicher hält, sie in die vorgeschriebene Position bringt, die gewünschten Manipulationen durchführt und sie auch wieder abgibt. Das Vorbild des Greifers ist entsprechend seiner Funktion die menschliche Hand. Diese Hand mit ihren vier Fingern und dem den anderen Fingern gegenüber stellbaren Daumen besitzt 22 Freiheitsgrade, die es ihr ermöglichen, alle denkbaren Formen von Gegenständen zu ergreifen, sie in jeder gewünschten Weise zu bewegen und zu positionieren. Den technischen Aufwand für die vollständige Nachbildung der Funktionen der menschlichen Hand wäre aber völlig unwirtschaftlich und ist für die meisten Einsatzfälle auch nicht nötig. Es sind deshalb eine Vielzahl von Greifertypen und Bauformen für die unterschiedlichsten Anforderungen entwickelt worden.

Als wichtige *Anforderungen an den Greifer* gelten (nach VOLMER):

- optimale Anpassung der Greiferstruktur an die jeweilige Handhabeoperation
- schnelle Umrüstbarkeit des Greifers für sich ändernde Objektgestalt und -größe
- hohe Greifsicherheit, Greifgenauigkeit und optimale Greifkraft
- geringe Masse bei hoher Stabilität
- einfache Wartung und Austauschbarkeit von Verschleißteilen.

Der Greifer ist am Greiferarm angebracht. Das Greiferführungsgetriebe bringt ihn in die gewünschte Position, wo er die Arbeitsverrichtung durchführt. Das Halten der Objekte kann auf drei verschiedene Arten erfolgen: durch Klemmen, durch Umfassen oder durch Haftung. Die Hauptfunktionsgruppen des Greifers sind die eigentliche Greifereinheit, der Antrieb und das Getriebe sowie Sensoren. Die Greifereinheit wird oft mit auswechselbaren Greiferelementen ausgerüstet, um ein schnelles Umrüsten zu ermöglichen. Antrieb und Getriebe sind meist unmittelbar am Drehgelenk des Greifers angebracht. Bei Kompaktgreifern ohne eigenen Antrieb dienen Zahnriemen und Wellenverbindungen als Kraftüberträger, die von den Ständer- und Gelenkarmantrieben gespeist werden. Die Sensoren dienen der Greifkraftbegrenzung.

Die Greifer enthalten in bestimmten Anwendungsfällen Sondereinheiten. Das können technologische Einheiten sein (Schweißzangen, Spritzpistolen, Schrauber) oder Ausgleichseinheiten. Letztere besitzen zusätzliche Freiheitsgrade, um Positionierungsungenauigkeiten bei der Montage oder der Übergabe von Werkstücken an Bearbeitungssysteme auszugleichen.

Die *Haupttypen der Greifer* sind Zangengreifer, Fingergreifer, Magnetgreifer und Sauggreifer.

Zangengreifer sind am weitesten verbreitet. Sie besitzen zwei Greifelemente mit (meist auswechselbaren) Backen, die zangenförmig bewegt werden können (Abb. 33.3.). Sie kommen meist mit einem Antrieb aus, der die beiden Greifarme synchron zueinander bewegt.

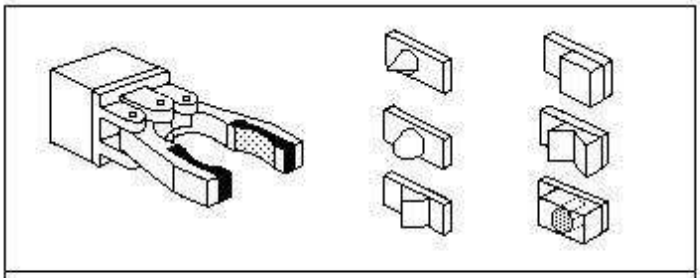


Abb. 33.3. Zangengreifer mit Wechselbacken

Fingergreifer werden durch mindestens 3 mehrgliederige Finger charakterisiert, die sich der Form des zu greifenden Objekts anpassen und die einzelnen Finger unabhängig voneinander bewegen können. Die Finger werden über Zugdrähte geöffnet und geschlossen. Sie stellen relativ hohe Anforderungen an die Steuerung, besitzen aber eine hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an das zu handhabende Objekt. Die Tragfähigkeit der Fingergreifer ist relativ begrenzt. Sie liegt maximal bei 20 N. Eine besondere Bauform stellen die pneumatischen Fingergreifer dar. Sie bestehen aus einem in mehrere Kammern unterteilten Schlauch, der einseitig bewehrt ist. Wird Druckluft in die Finger gedrückt passen sie sich dem zu greifenden Objekt an und fassen es so.

Magnetgreifer nutzen die magnetische Kraft für den Kraftschluß zwischen Greifer und Werkstück. Ihre Anwendung ist auf ferromagnetische Werkstücke begrenzt. Es werden sowohl Elektromagnete wie Dauermagnete eingesetzt. Letztere erfordere zusätzliche Abstreifer zur Abgabe der manipulierten Objekte. Magnetgreifer werden bevorzugt für das Erfassen und Transportieren großflächiger Objekte mit unebenen Oberflächen eingesetzt.

Sauggreifer nutzen den Unterdruck in dem durch einen Verschlußwulst gebildeten abgeschlossenen Raum zwischen Sauger und Objekt, um eine Greifkraft zu erzeugen. Sauggreifer benötigen keine besonderen Antriebselemente. Ihre Größe hängt von der Objektgestalt und -masse ab. Als Werkstoff an den Dichtungsflächen werden Gummi und Asbesttuche eingesetzt.

Abb. 33.4. gibt eine Übersicht über verschiedene Greifertypen.

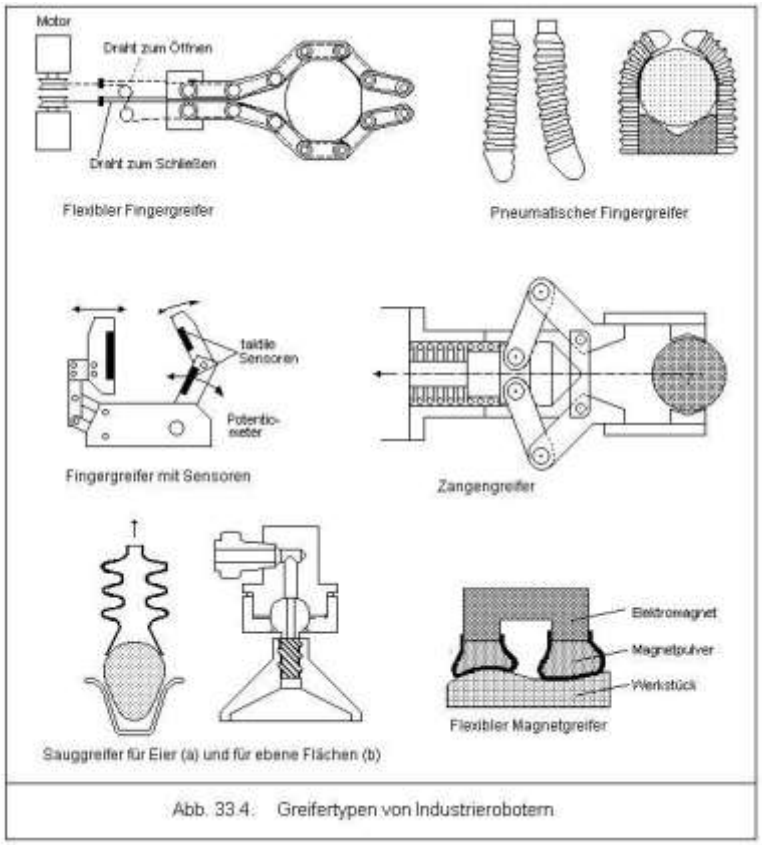


Abb. 33.4: Greifertypen von Industrierobotern

Anstelle der Greiferhand können auch so genannte „*technologische Einheiten*“ als Arbeitsorgan am Greiferarm angebracht sein. Es handelt sich dabei um die spezifischen Bedingungen des Roboters angepaßte Maschinenwerkzeuge zur Durchführung technologischer Verfahren, wie Schweißen, Farbspritzen, Schrauben, Bohren oder Montieren. Sie sind z. T. starr an den Bewegungseinheiten des Greifers befestigt oder aber in der Lage, eigene Bewegungen auszuführen. Das ist z.B. bei Punktschweißzangen der Fall, die meist durch Pneumatikzylinder angetrieben werden.

33.3.3. Führungs- und Positionierungsorgane

Die Führungs- und Positionierungsorgane werden durch die Greiferführungsgetriebe repräsentiert. Zu ihnen gehören der Greiferarm und die Greiferführung. Die Greiferarme sind starre Bauteile, die durch die Greiferführung gelenkig miteinander verbunden werden.

Da die Funktion des *Greiferführungsgetriebes* darin besteht, den Greifer als Arbeitsorgan auf vorgegebenen Bahnen in die jeweils gewünschte Position zu dirigieren, ist es als Führungsorgan zu bestimmen. Der Arbeitsgegenstand wird vom Greifer aufgenommen, der ihn dann ebenfalls positioniert, z.B. durch Eingabe in die Bearbeitungseinheit. Unter diesem Aspekt nimmt das Führungsgetriebe auch Positionierungsfunktionen wahr. Bei den Industrierobotern ist wegen dieser Doppelfunktion eine eindeutige Abgrenzung zwischen Positionieren und Führen nicht immer möglich, weil das Arbeitsorgan sowohl Werkzeuge als auch Arbeitsgegenstände aufnimmt, so dass beide Funktionen zusammenfallen. Der jeweilige Betrachtungsaspekt bestimmt die Zuordnung. Es soll deshalb nicht streng zwischen Führungsorgan und Positionierungsorgan unterschieden werden.

Bedeutsam für die Strukturanalyse der Industrieroboter ist weiterhin, dass die Greiferführung ein integriertes Teilsystem darstellt, in dem Antriebe, Übertragungssysteme und Bewegungsapparat eine funktionelle Einheit bilden. Jeder Greiferarm besitzt einen eigenen Antrieb mit Kraftübertragungssystem. Eine getrennte Betrachtung der Teilsysteme dient der Charakterisierung der einzelnen Funktionsgruppen. Während der Bewegungsapparat (bestehend aus Greiferarm und Greiferführung) unter dem Aspekt des Führungsorgans dargestellt werden soll, finden die Antriebe unter den Antriebs- und Übertragungsorganen ihre Berücksichtigung.

Die *Greiferarme* können als kastenförmige Profile oder runde Führungsstangen ausgebildet sein. Für die Kastenform sind Vierkant-, Dreikant- und Sechskantprofile im Einsatz. Sie besitzen eine hohe Biege- und Torsionssteifigkeit. Ihre ebenen Führungsflächen bieten einfache und sichere Führungsmöglichkeiten. Im Hohlraum der Profile lassen sich Energie- und Steuerleitungen bequem unterbringen. Rundprofile werden durch eine oder mehrere Führungsflächen gegen Verdrehen gesichert.

Die *Greiferführung* umfasst die Linear-(Schub-) und Dreh-(Gelenk-)einheiten.

Lineareinheiten sind wesentliche Funktionselemente des Greiferführungsgetriebes. Sie können horizontal, vertikal oder über Gelenke in bestimmtem Winkel angeordnet sein. Lineareinheiten bestehen aus Antrieb, Führungen und Schlitten und dienen der Realisierung von geradlinigen Greiferbewegungen. Dabei werden hohe Anforderungen an die statische und dynamische Steife des Systems gestellt, um die geforderte Positioniergenauigkeit zu erreichen. Lineareinheiten werden in bestimmten Fällen auch als Teleskoparme ausgeführt, z.B. um große Hublängen bei kleiner Baugröße zu erreichen.

Dreheinheiten sind meist die erste auf dem Ständer angeordnete Baugruppe. Sie bilden einen Drehtisch, auf dem die weiteren Greiferführungselemente aufgebaut werden können und erweitern den Arbeitsraum des Roboters um einen weiteren Freiheitsgrad. Dreheinheiten am Übergang zwischen Greiferführung und Greifer sichern dessen freie Beweglichkeit um die Achse. Gelenkeinheiten dienen als Verbindungselemente zwischen den Lineareinheiten und erzeugen einen bestimmten Schwenkwinkel zur Erweiterung des Arbeitsraumes. Für solche Gelenkeinheiten werden spielfreie Bewegungsübertragung, Übertragung großer Kraftmomente und kurze Schwenkbewegungen bei hohen Winkelgeschwindigkeiten gefordert.

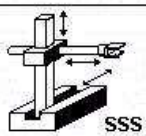
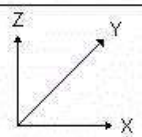
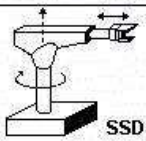
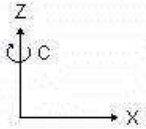
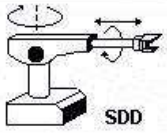
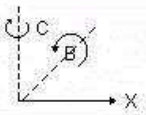
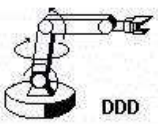
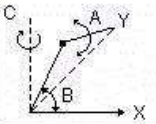
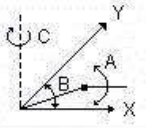
Achskombination	Variation der Getriebe	Koordinaten	Achsen
3 Schubeinheiten		Kartesische Koordinaten	
2 Schubeinheiten 1 Dreheinheit		Zylinder-koordinaten	
1 Schubeinheit 2 Dreheinheiten		Kugelkoordinaten	
3 Dreheinheiten		Gelenk-koordinaten	
m Schubeinheiten n Dreheinheiten		z.B. Kartesische und Gelenk-koordinaten	

Abb.33.5. Kinematische Grundstrukturen von Robotern

Jeder Industrieroboter ist in seiner Grundgestalt ein kinematisches System, das aus einer Kombination von Schub- und Dreheinheiten besteht, In Abhängigkeit von der kinematischen Ausbildung des Führungsgetriebes lässt sich die Vielzahl der existierenden Bauformen auf wenige *Grundstrukturen* zurückführen. Im Prinzip lassen sich 4 grundlegende Getriebestrukturen unterscheiden. Sie ergibt sich aus der Kombination der Schiebe- und Drehachsen (S = Schieben, D = Drehen) (Abb. 33.5.):

- Systeme mit 3 Schubeinheiten SSS
- Systeme mit 2 Schubeinheiten und 1 Dreheinheit SSD
- Systeme mit 1 Schubeinheit und 2 Dreheinheiten SDD
- Systeme mit 3 Dreheinheiten DDD

Alle weiteren Kombinationen mit mehr als 3 Bewegungseinheiten lassen sich aus diesen Grundformen ableiten (z.B. S / DSS, DDS / DD oder SDDD / D).

Zu jeder Grundstruktur gehört ein bestimmter Arbeitsraum Die Art der Kombination der Funktionsgruppen (Greiferarme, Schub- und Dreheinheiten) bestimmt den Arbeitsraum des Systems. Auch dabei lassen sich einige Grundtypen unterscheiden (Abb.33.6.):

- quaderförmige Arbeitsräume mit kartesischen Koordinaten
- kugelförmige Arbeitsräume mit Kugelkoordinaten
- zylinderförmige Arbeitsräume mit Zylinderkoordinaten
- torusförmige Arbeitsräume mit Gelenkkoordinaten

Die größte Zahl der Roboter entspricht dem Strukturtyp DDD (Gelenkarmroboter). Ihr Grundaufbau wird von einem Grundgestell gebildet, auf dem ein Drehgestell mit einem Ausleger angeordnet ist. Der Ausleger kann um seine vertikale Achse gedreht werden. Er besteht aus mehreren durch Drehgelenke verbundenen Gliedern. Gelenkarmroboter haben einen torusähnlichen Arbeitsraum und werden durch eine hohe Bewegungsflexibilität gekennzeichnet. Der Steuerungsaufwand ist allerdings recht hoch. Sie sind Universalroboter, die in allen Einsatzgebieten Anwendung finden. Besonders geeignet sind Gelenkarmroboter für technologische Aufgaben und für die Montage. Sie werden mit einem Arbeitsraum bis zu 6 m Durchmesser und 300 kg Nutzlasttragfähigkeit gebaut. Abb. 33.7. zeigt das Schema eines Gelenkroboters mit 6 Freiheitsgraden.

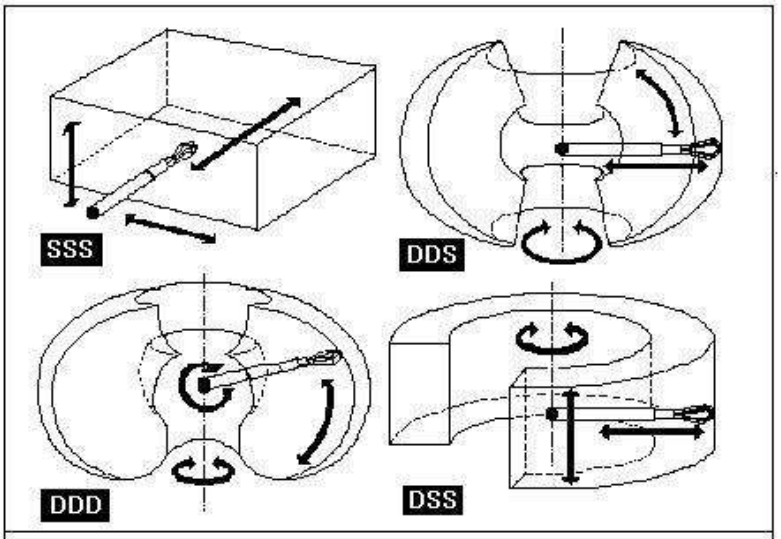
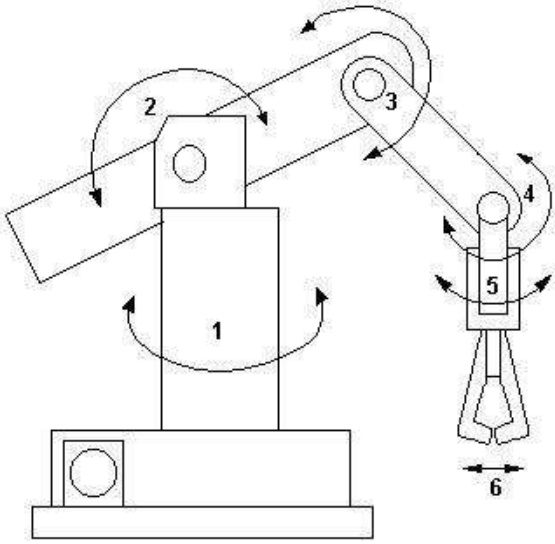


Abb.33.6. Arbeitsräume der Grundstrukturen der Industrieroboter

Roboter mit der Grundstruktur DDS werden durch eine auf einem Drehgestell stehende Säule charakterisiert, die um ihre vertikale Achse gedreht werden kann. Auf ihr ist ein Ausleger als schwenkbare Schubeinheit angebracht. Sie sind besonders für Beschickungsaufgaben geeignet.

Für die Grundstruktur DSS ist ebenfalls die Ständerbauform typisch. Roboter dieses Typs sind vor allem für die Zuführung, Abführung und Weitergabe von Werkstücken im Einsatz. Die einzelnen Bearbeitungs- und Paletteneinheiten müssen ebenso wie bei DDD- und DDS-Robotern kreisförmig um den Roboter angeordnet sein.

Roboter der Struktur SSS folgen kartesischen Koordinaten. Sie sind hinsichtlich Aufbau, Arbeitsraum und Bewegungsablauf am übersichtlichsten. Sie eignen sich für Arbeitsaufgaben mit geradlinigen Arbeitswegen und garantieren eine hohe Positioniergenauigkeit. Der Steuerungsaufwand ist relativ gering, oft genügt eine einfache Punkt-zu-Punkt-Steuerung. Haupteinsatzfelder dieses Strukturtyps sind das Lichtbogenschweißen und Beschickungsaufgaben.



Gelenk	Drehwinkel	Gelenk	Drehwinkel
1 Säule	290 Grad	4 Handgelenk	220 Grad
2 Schultergelenk	180 Grad	5 Greiferdrehung	360 Grad
3 Ellenbogengelenk	220 Grad	6 Greiferöffnung	werkzeugabhängig

Abb.33.7. Grundaufbau eines Roboters der kinematischen Struktur DDD

Tendenziell entwickelt sich die Robotertechnik in Richtung auf Baukastensysteme. Sie gestatten den Aufbau optimal angepasster und wirtschaftlich vertretbarer Lösungen aus standardisierten Funktionsgruppen und -elementen, durch die die spezifischen Anforderungen an die unterschiedlichsten Einsatzgebiete erfüllt werden können. Die Baukastenkonzeptionen umfassen Schub- und Dreheinheiten, verschiedene Antriebe, Steuerungen unterschiedlichen Programmumfangs sowie Sortimente von Sensorbestückungen. Möglichkeiten des Baukastenkonzepts für die Gestaltung von Industrierobotern zeigt Abb. 33.8.

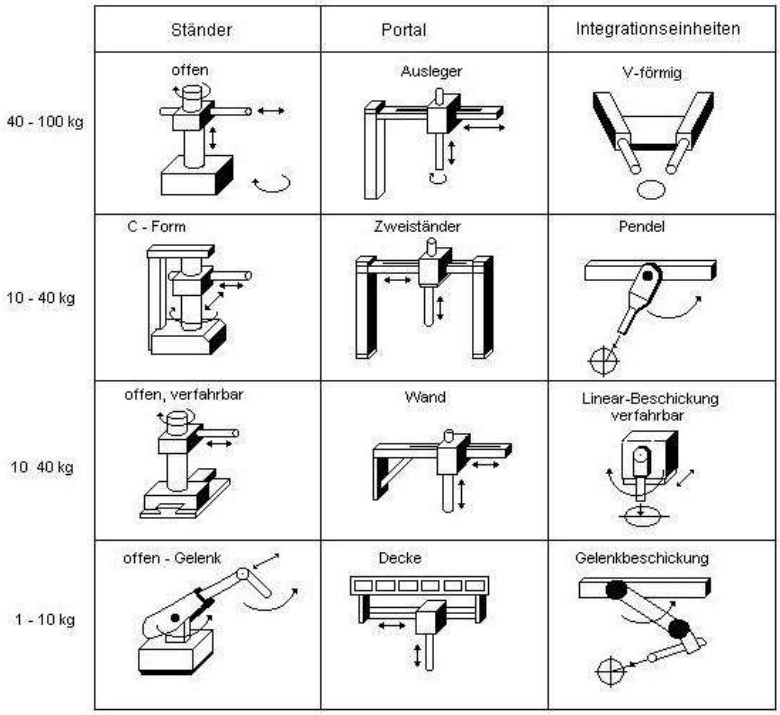


Abb.33.8. Baukastenkonzept für die Gestaltung von Industrierobotern

33.3.4. Antriebs- und Übertragungsorgane

Jeder Industrieroboter ist mit mehreren voneinander unabhängigen Antrieben ausgerüstet. Ihre Zahl hängt von der Zahl der Bewegungsachsen bzw. den zu bewegenden Schub- und Dreheinheiten ab. Sie haben die Aufgabe, die Glieder des Führungsgetriebes zu bewegen. Die Art der Antriebe wird weitgehend von den Einsatzanforderungen des Roboters bestimmt, wie Weglänge, Masse des zu handhabenden Objekts, Bewegungsgeschwindigkeit, Positioniergenauigkeit, aber auch von wirtschaftlichen Überlegungen.

Es werden sowohl elektromechanische, hydraulische als auch pneumatische Antriebe eingesetzt. Anteilmäßig entfallen gegenwärtig etwa 30% auf elektrische, 50% auf hydraulische und 20% auf pneumatische Antriebe.

Für *elektrische Antriebe* sind Leistungsschrittmotoren, Gleichstromservomotoren und eisenlose Scheibenläufermotore besonders geeignet. Sie werden möglichst direkt am Greiferhandgelenk angebracht. Größere Motoren müssen allerdings zentral eingebaut werden. Das verlangt dann mechanische Kraftübertragung durch Keilwellen, Seile, Ketten, Hebelgetriebe und Wellengetriebe. Elektrische Antriebe herrschen bei technologischen Robotern vor.

Hydraulische Antriebe werden besonders für Beschickungsaufgaben eingesetzt. Ihr Vorteil gegenüber anderen Antrieben besteht in der hohen Energieleistung bei kleinen Abmessungen. Nachteile sind Verrohrungserfordernisse, mögliche Ölverschmutzung und begrenzte Einsatzmöglichkeit bei höheren Temperaturen.

Pneumatische Antriebe sind vor allem bei Kleinmanipulatoren und zur Greiferbetätigung im Einsatz.

Linearantriebe sollen bei geringer Eigenmasse und unkomplizierter Kraftübertragung die geforderte Hublänge mit erforderlicher Verfahrgeschwindigkeit realisieren. Weiterhin soll ihre einfache Steuerung durch Wegmeßsysteme gewährleistet sein. Diese Forderungen können sowohl durch elektrische wie auch durch hydraulische und pneumatische Antriebe erfüllt werden. Pneumatische und hydraulische Antriebe ohne Wegmeßsystem sind besonders für Lösungen geeignet, in den nur zwei Positionen (bestimmt durch die Endpunkte des Pneumatikzylinders oder Anschläge) angefahren werden müssen. Sollen beliebige Punkte angefahren werden, muß ein Wegmeßsystem vorhanden sein, von dem entsprechende Signale für die Steuerung des Öl- bzw. Luftstroms ausgehen. Als elektrische Antriebe können Schrittmotoren ohne Wegmeßsystem eingesetzt werden, die ohne Rückmeldung genau bestimmte Fahrwege einhalten. Weitere Möglichkeiten sind elektrische angetriebene Zahnstangentriebe oder Spindeltriebe.

Als *Antriebe von Dreheinheiten* sind Elektromotoren mit Zahnstangengetriebe, Wellgetriebe oder Schneckengetriebe im Einsatz. Bei hydraulischen oder pneumatischen Antrieben können Drehbewegungen über Drehwinkel- oder Drehkolbenmotoren bewirkt werden.

33.3.5. Steuerungs- und Optimierungsorgane

Funktionsgruppen des Steuerungsorgans sind die Steuerung, das Sensorsystem. das Wegmeßsystem und die Recheneinheit.

Die **Steuerung** sichert das koordinierte Bewegen des Greifers in der vorgegebenen Bahn und Geschwindigkeit. Sie kann sowohl fest vorgegeben sein oder frei programmierbar erfolgen. Es werden pneumatische und elektrische Steuerungen angewandt. Anspruchsvollere Steuerungsaufgaben sind ausschließlich auf elektronischer Basis lösbar.

Bei Robotersteuerungen der 1.Generation unterscheidet man problemgebundene Steuerungen und Universalsteuerungen.

Problemgebundene Steuerungen bilden eine konstruktive Einheit mit dem Roboter und sind in diesen integriert. Sie werden als Festprogrammsteuerungen, Punktsteuerungen (PTP - point to point) oder Bahnsteuerungen (CP - continous path) ausgeführt. Festprogramme werden als Zeitplan-, Führungs- oder Ablaufsteuerungen realisiert. Sie entsprechen im Prinzip vergleichbaren Steuerungen für Werkzeugmaschinen. Der Bewegungsablauf ist durch feste Verdrahtung, durch Nocken, Anschläge oder Kurvenscheiben vorgegeben.

Nichtnumerische Punktsteuerungen gestatten veränderte Bewegungsabläufe durch verstellbare Anschläge, Nocken, Lichtschranken oder elektrische Weggeber. Sie sind besonders für Roboter mit kartesischen Koordinaten geeignet. Am verbreitetsten sind gegenwärtig numerische Punktsteuerungen, weil sie sehr flexibel

und zugleich wenig aufwendig sind. Die Signale für den Bewegungsablauf sind in einem Programmspeicher fixiert und werden über einen Mikroprozessor in Steuerbefehle umgesetzt.

Bahnsteuerungen sind numerische Steuerungen mit elektronischer Signalverarbeitung. Das Programm speichert auf Magnetträgern die charakteristischen Punkte der Bewegungsbahn, die dann Schritt für Schritt abgefahren werden.

Universalsteuerungen sind Programmsteuerungen (PC-Steuerungen, programmable control) und freiprogrammierbare Rechnersteuerungen (CNC-Steuerungen, computerized numerical control). Sie sind mit einem oder mehreren miteinander verbundenen Rechnern ausgerüstet. Die Programme werden auf der Basis entsprechender Programmiersprachen aufgestellt. Sie ermöglichen eine hohe Flexibilität und Funktionsdichte. Ihr Einsatzfeld sind vielachsige Roboter in komplexen Automatisierungsaufgaben und Montageroboter.

Bei Steuerungen für Roboter der 2. und 3. Generation werden die Bewegungsabläufe durch Sensorinformationen aus der Arbeitsumgebung gesteuert. Sich ändernde Prozeßbedingungen können über die Rechnereinheit berücksichtigt werden

Sensoren als Funktionsgruppe des Steuerungsorgans sind “technische Sinnesorgane”. Sie sind eine unverzichtbare Baugruppe in jedem Roboter der 2. und 3. Generation. Ohne sie wären Roboter nicht oder nur sehr beschränkt einsatzfähig. Ihre Funktion entspricht der der menschlichen Sinnesorgane, sie beruht allerdings auf anderen Funktionsprinzipien. Durch Sensoren werden die flexiblen Roboter befähigt, Arbeiten auszuführen, die vorher durch menschliche Sinnesorgane gesteuert wurden. Ihre Aufgabe besteht darin, Binärentscheidungen zu treffen (z.B. Erreichen von Positionen, Signale über das Vorhandensein von Teilen), physikalische Größen zu erfassen (z.B. geometrische Abmessungen, Kräfte, Temperaturen), Muster zu erkennen und Systemanalyse zu geben (z.B. Objekterkennung, Greifen ungeordneter Objekte).

In den letzten Jahrzehnten ist eine Vielzahl unterschiedlichster *Sensortypen* entwickelt worden, die es gestatten, beliebige Messgrößen wie Kraft, Druck, Drehmoment, Temperatur, Masse, Dichte, Volumen, Schwingungen, Drehzahlen, Füllstand, Schichtdicken, Oberflächenbeschaffenheit, Helligkeit, Feuchtigkeit, Strömungsgeschwindigkeit, elektrische Feldstärke, elektrische Leitfähigkeit, *p*H-Wert u. a. zu erfassen. Dabei bedient man sich fast aller bekannten physikalischen und chemischen Wirkprinzipien. Die Sensoren werden zur Feststellung der Umgebungseigenschaften, der Erfassung von Ort, Lage und Eigenschaften des Handhabeobjektes und zur Führung der Greiferhand eingesetzt.

Nach der Arbeitsweise der Messfühler werden unterschieden:

- Taktile Sensoren
- Optische Sensoren
- Resistive Sensoren
- Kapazitive Sensoren
- Induktive Sensoren
- Thermische Sensoren
- Akustische Sensoren
- Festkörpereffekt-Sensoren

Prinzipieller Aufbau. Sensoren bestehen aus einem Messfühler oder Messwertgeber, durch den der zu erfassende Zustand am Objekt aufgenommen wird. Ein nachgeschalteter Wandler überführt die nichtelektrischen Messgrößen in elektrische Signale. Ein drittes Element dient der Vorverarbeitung der elektrischen Signale durch Signalanpassung, -umformung und -verstärkung, die dann als Steuersignale oder als Eingangssignale für übergeordnete Steuerungssystem zur Verfügung stehen. Letzteres ist dann der Fall, wenn der Sensor mit einem Mikroprozessor gekoppelt ist und so zu einem „intelligenten“ Sensor wird (Abb.33.9.).

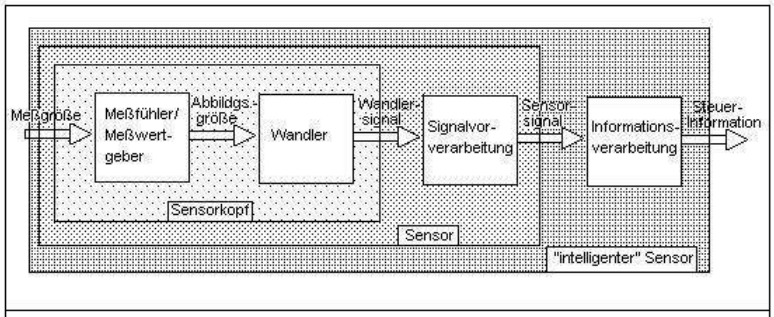


Abb. 33.9. Allgemeine Struktur eines Sensors

Wegmeßsysteme sind eine weitere Funktionsgruppe des Steuerungsorgans. Für die Steuerung des Bewegungsablaufs müssen die von den Bewegungsachsen des Roboters zurückgelegten Wege und Winkel gemessen und in Steuerungsinformationen umgesetzt werden. Dazu dienen die Wegmeßsysteme. Sie bestehen aus Messwertgebern, Signalumformern, Signalverstärkern und gegebenenfalls aus Signalwandlern. Für jede geregelte Achse muss ein eigenes Meßsystem im Roboter installiert sein. Die Wegmeßsysteme erfassen die jeweilige Lage des Greifers und garantieren so, dass die Übergabe- bzw. Übernahmepunkte mit hoher Genauigkeit angefahren werden können.

Die **Rechnereinheit** ist ein übergeordnetes Informationssystem, das dem Steuerungssystem vom Speicher abgerufene Informationen übermittelt oder vom Steuerungssysteme empfangene Prozessinformationen verarbeitet und in korrigierte Steuersignale umsetzt. Sie ist wie eine CPU von Informationssystemen aufgebaut.

33.3.6. Stützorgan

Das Stützorgan wird vom *Gestell* gebildet. Es nimmt die Dreh- und Schubeinheiten auf und gibt dem gesamten System den Halt.

Funktionseinheiten der Gestelle sind Ständer, Säulen und Verfahreinheiten. Ständerelemente sind Grundplatten und feststehende Tische. Sie sorgen für eine feste Verbindung des Roboters mit seinem Standort. Sie können auf dem Fußboden, an der Wand oder der Decke der Werkhalle angebracht sein. Die Säulen bilden auf den Ständerelementen Ausleger oder Portale. Auf diesen passiven Elementen, die meist in Baukastenweise ausgeführt sind, läuft der eigentliche Bewegungsapparat des Roboters. Sie sind für stationäre Roboter charakteristisch (Abb. 33.10.).

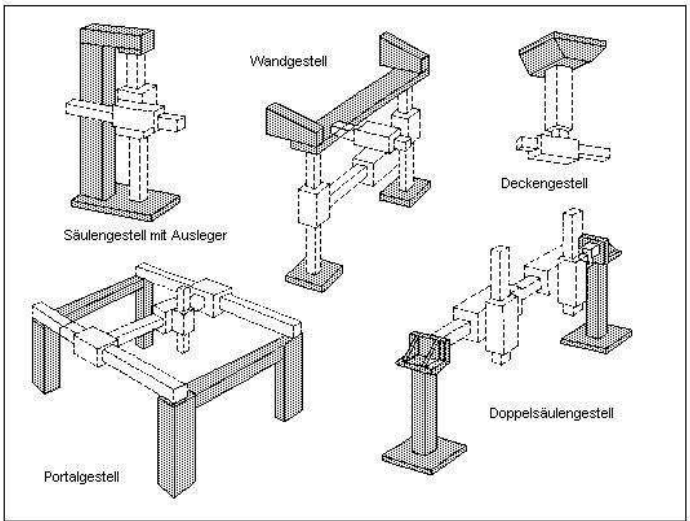


Abb. 33.10. Gestellbauformen für Industrieroboter

Dem Stützorgan wollen wir auch die bei beweglichen Robotern vorhandene *Verfahreinheit* zurechnen. Sie kann als schienengebundener Untersatz, als Räderfahrwerk, als Fahrwagen, als Konsolverfahreinheit, als Portalverfahreinheit oder auch als Hängebahn gestaltet sein, worauf der Roboter montiert ist. Dadurch kann er an den zu bedienenden Bearbeitungs- und Speichersystemen vorbeigeführt und für die Arbeitsoperationen

positioniert werden. Für kurze Verfahrwege eigenen sich Kreuztische mit elektrischem Antrieb über Wälzschraubengetriebe. Verfahreinheiten erweitern den Arbeitsraum des Roboters.

33.3.7. Allgemeines Organstrukturmodell

Zusammenfassend aus den Darstellungen zu den Funktionsorganen läßt sich das allgemeine Organstrukturmodell der Industrieroboter ableiten (Abb. 33.11.).

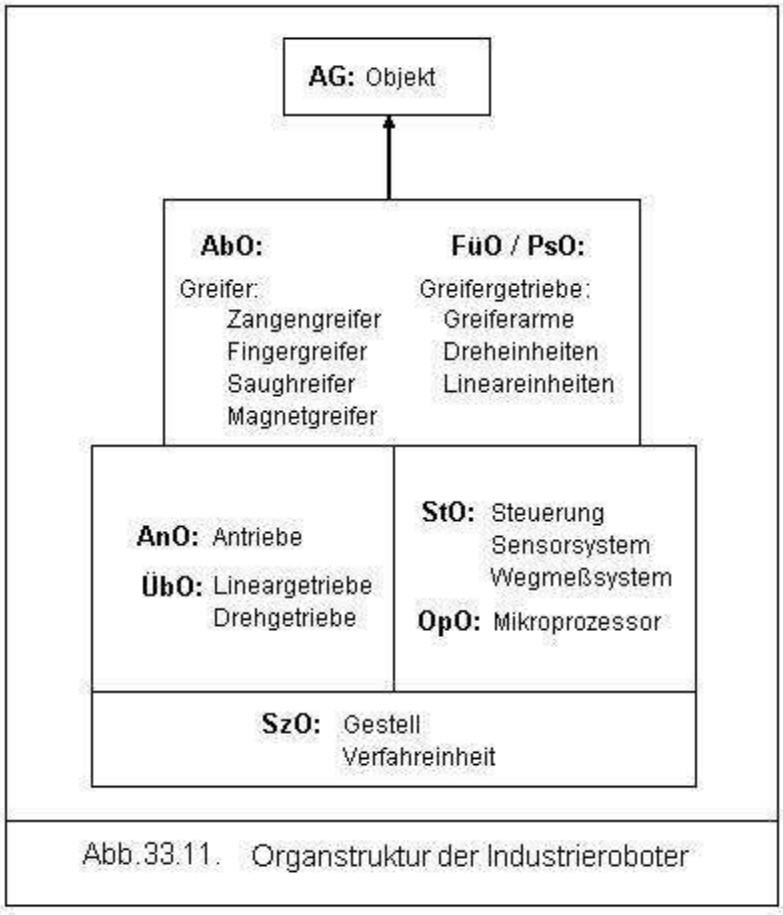


Abb.33.11. Organstruktur der Industrieroboter

33.4. Ausgewählte Beispiele

33.4.1. Montageroboter

Der Anteil der Montagearbeiten macht in einigen Industriezweigen (z.B. im Maschinenbau, im Fahrzeugbau und in der Elektrotechnik) 30 bis 40 % des gesamten Fertigungszeitaufwandes aus. Die automatisierte Montage durch Roboter steht allerdings erst am Anfang ihrer Entwicklung. Montageaufgaben stellen hohe Anforderungen an die Handhabetechnik, weil oft komplizierte Bewegungsabläufe erforderlich sind, die einzelnen Teile in sehr unterschiedlichen Positionen zusammengefügt werden müssen und eine hohe Präzision bei großer Wiederholungszahl erreicht werden muss. Die Teile müssen bei ihrer Entnahme aus Magazinen oft geordnet und in ihrer Gestalt erkannt werden. Insbesondere verlangen Fügeaufgaben wie das Einführen eines Bolzens in eine genaue Bohrung oder das Aufstecken eines Lagers auf eine Welle höchste Präzision, um ein Verkanten oder Verklemmen zu vermeiden. Der Stand der Robotertechnik erlaubt aber bereits die automatische Montage beispielsweise von Wechselstromlichtmaschinen, Rasenmähermotoren, Waschmaschinenpumpen, Bohrmaschinengetriebe, Schreibmaschinen, Taschenrechnern und Staubsaugern sowie die Bestückung von Leiterplatten mit elektronischen Bauelementen.

Allgemein folgen Montagesysteme einer Technologie, bei der die zu fügenden Teile durch das Führungsgetriebe zunächst grob positioniert werden. Die Montageeinheit sorgt dann durch eine Ausgleichseinheit für die

notwendige Feinpositionierung. Dazu dienen entsprechende Erkennungseinheiten oder Fügeeinheiten mit elastischen Gliedern zum verkantungsfreien Fügen.

Die Greifersysteme der Montageroboter sind mit spezifischen Sensorsystemen ausgestattet. Sie umfassen eine Vielzahl taktiler Sensoren und oft auch Fernsehkameras zur Objekterkennung.

Montagerobotersysteme benötigen als periphere Einrichtungen entsprechende Zuführungssysteme, damit die zu fügenden Einzelteile in den Arbeitsraum des Roboters gelangen.

Das in Abb. 33.12. dargestellte Montagerobotersystem dient der Zusammenfügung von zylindrischen Teilen. Es umfasst zwei Robotereinheiten mit SSS-Struktur und DSS-Struktur, die jeweils mit spezifischen Greifern ausgestattet sind. Die Werkstücke werden über Zuführungsbahnen bereitgestellt. Ein Hilfsroboter entnimmt das Teil von der Zuführung und positioniert es. Der Montageroboter führt das zweite Teil von einer anderen Bahn zu und fügt beide Teile zusammen.

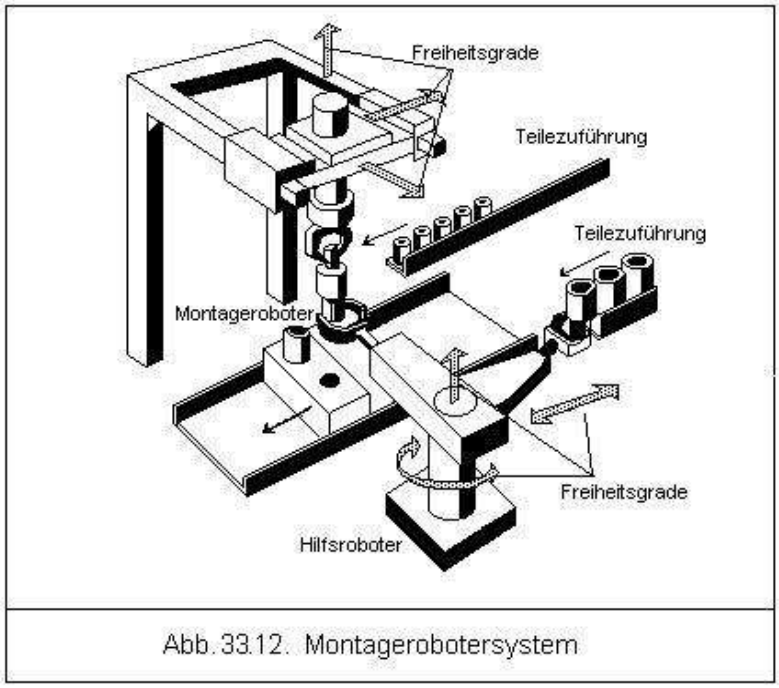


Abb. 33.12. Montagerobotersystem

33.4.2. Schweißroboter

Schweißen ist ein in zahlreichen Produktionsprozessen häufig angewandtes, allerdings sehr aufwendiges technologisches Verfahren. Deshalb wurden früh Schweißroboter entwickelt, die vor allem in der Automobilindustrie, im Waggonbau, im Schiffbau und im Behälterbau Anwendung finden. Ein 10 00 t-Schiff enthält z.B. 150 km Kehlnähte, an einer Autokarosserie müssen bis zu 10 000 Punktschweißungen und 20 m Lichtbogenschweißnähte ausgeführt werden.

Schweißroboter sind zunächst aus den für alle Roboter typischen Funktionsgruppen aufgebaut (Gestell, Greiferführung, Antriebe, Wegmeßsystem). Sie können in Säulen- oder Portalbauweise ausgeführt sein. Darüber hinaus werden sie durch weitere spezifische Funktionseinheiten gekennzeichnet, die sich aus den technologischen Erfordernissen ergeben. An Schweißroboter werden besondere Anforderungen hinsichtlich der Beweglichkeit, Positioniergenauigkeit und Geschwindigkeit gestellt. Sie haben bis zu 6 Freiheitsgrade, erreichen eine Wiederholgenauigkeit von 0,5 bis 1 mm und Arbeitsgeschwindigkeiten von 300 bis 500 mm/s.

Schweißwerkzeugführung ist neben den Translations- und Rotationseinheiten mit einer Positionssteuerung (einschließlich entsprechender Sensoren) ausgestattet, die eine ausreichende Führungsgenauigkeit des Schweißwerkzeugs sichert. Es ist außerdem eine Kollisionsschutzeinheit in die Werkzeughalterung eingebaut, die den Brenner (bzw. die Punktschweißzange) vor der Schweißteil- oder Geräteberührung und damit vor der Zerstörung schützt.

Als Schweißwerkzeuge sind Brenner für Mig/Mag-Schweißung und Punktschweißzangen im Einsatz. Zum schweißtechnischen Teil gehört die Lichtbogensteuerung, die den Drahtvorschub, die Überwachung des

Lichtbogens, des Schutzgasstromes und des Kühlwassers sowie die Steuerung des Schweißprozesses umfasst.

Die Schweißteilaufnahme soll eine exakte Positionierung des Schweißteils sichern und durch eigene Freiheitsgrade die Beweglichkeit des Roboters ergänzen. Sie besteht aus der Grundplatte und Dreh- und Schwenkvorrichtungen zur günstigen Positionierung des Schweißteils.

In Abb.33.13. ist ein Portalschweißsystem mit 6 technologischen Einheiten für das Widerstandspunktschweißen dargestellt. Es ist für die Fertigung von Pkw-Bodengruppen ausgelegt. Die einzelnen Punktschweißroboter besitzen 2 Freiheitsgrade. Die Schweißteile werden von oben zugeführt und nach der Bearbeitung wieder entnommen.

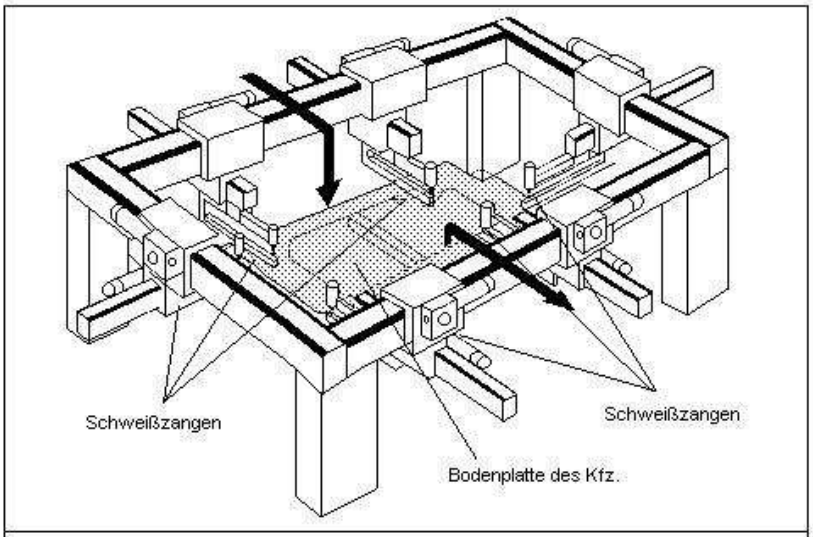


Abb.33.13. Roboterschweißsystem für Pkw-Bodengruppen

Literatur

33.1. J. Volmer: Industrieroboter; Berlin1981
33.2. S. Kiese / E. Naumann: Roboter im Blickpunkt; Leipzig 1983
33.3. St. Hesse: Golems Enkel, Leipzig/Jena/Berlin 1986
33.4. R. Göttner / N. Seydewitz: Roboter heute und morgen; Leipzig / Jena / Berlin 1985
33.5. I. Aleksander / P. Burnett: Die Roboter kommen; Basel / Boston / Stuttgart 1984
33.6. E. Naumann / K. Schuricht: Sensoren - technische Sinnesorgane? Leipzig 1987
33.7. Autorenkollektiv: Herausforderung Mikroelektronik; Berlin 1985
33.8. J. Dubrau / W. Netzschwitz: Mikroelektronik; Berlin 1983

34. Haushaltstechnik

34.1. Allgemeine Charakteristik der Klasse

Das 20.Jahrhundert ist auch das Jahrhundert der Haushaltstechnik. Parallel mit der Technisierung aller Zweige der Produktion und der nichtproduzierenden volkswirtschaftlichen Bereiche hat die Technik auch den Haushalt erobert. Mit wachsendem Lebensstandard wuchsen auch die Bedürfnisse nach technischen Geräten zur Entlastung der Hausarbeit.

Eine wesentliche technische Voraussetzung dafür war die Verfügbarkeit einer Antriebsquelle, die den Bedürfnissen des Haushalts entsprach. Mit dem Elektromotor und der zügigen Elektrifizierung der Wohnwelt stand seit den 30iger Jahren des 20. Jahrhunderts ein universelles System zur Verfügung.

In einem sich ständig beschleunigenden Prozess hat sich seitdem die Technik alle Bereiche des modernen Haushalts erobert und bestimmt dort in entscheidendem Maße den Tätigkeitsablauf. Sie hat die Hausarbeit von Grund auf verändert und wesentlich erleichtert. Neben einer Vielzahl von Kleingeräten wie Handrührgeräten, Bügeleisen, Kaffeemaschinen und Toastern gehören heute Staubsauger, Kühlschränke, Elektroherde, Geschirrspülmaschinen und Waschmaschinen zur Standardausrüstung der Haushalte. Der wachsende Umfang der Haushaltstechnik lässt sich sehr gut daran ablesen, dass bereits Mitte der 70iger Jahre in einem durchschnittlichen Haushalt Technik im Wert von 20 00 Mark installiert war. Der erreichte Ausstattungsgrad der Haushalte mit technischen Großgeräten lässt sich aus Tabelle 34.1. ablesen.

	Ausstattungsgrad in %		
	1986	1990	1993
Kühlschrank	80	81	82
Tiefkühltruhe	70	73	75
Kühl-ud Gefrierkombination	23	27	29
Elektrisches Grillgerät	40	40	40
Mikrowellenherd	-	35	50
Vollwaschautomat	95	97	98
Wäschetrockner	20	40	42
Wäscheschleuder	25	25	25
Bügelmaschine	17	17	17
Geschirrspülmaschine	40	70	75
Elektrische Nähmaschine	76	77	77
Staubsauger	99,5	99,5	99,5

Tabelle 34.1. Ausstattung der Haushalte mit langlebiger Technik (BRD)

Die technischen Systeme des Haushalts werden umgangssprachlich und in der Literatur allgemein als Geräte und auch als Maschinen bezeichnet. Im strengen Sinne unserer strukturorientierten Definition der verschiedenen Klassen technischer Systeme (s. Kap. 22.5.) erfassen diese Bezeichnungen sowohl Geräte, einfache Maschinen, klassische Maschinen wie auch programmgesteuerte Maschinen.

So sind Messer, Schäler, Büchsenöffner, Reibeisen, Schlagbesen, Rührlöffel, Schöpfkellen und Kochtöpfe im technischen Sinne Werkzeuge.

Gerätestruktur weisen Dosenöffner mit einarmigem Hebel oder Flügelrad, mechanische Quirle, Rührsiebe und Kartoffelpressen auf.

Auf die Entwicklungsebene einfacher Maschinen gehören handbetriebene Schneide-, Schnitzel- und Reibemaschinen, sowie der Fleischwolf.

Alle elektrisch angetriebenen Haushaltsmaschinen wie Elektromixer, Schneidemaschinen, Kaffeemaschinen, Staubsauger, Ventilatoren gehören auf die Hierarchieebene der klassischen Maschinen. Das gilt aber auch für einfache Kochplatten, Toaster und Tauchsieder.

Darüber hinaus haben eine Reihe von Haushaltsmaschinen die Merkmale programmgesteuerter Maschinen, wie die Waschmaschine, die Universalküchenmaschine, das Mikrowellengerät, die Geschirrspülmaschine, der Backofen mit pyrolytischer Selbstreinigung oder der Warmwasserspeicher.

Wir wollen im Folgenden dem allgemeinen Sprachgebrauch folgen, uns aber der systematischen Zuordnung der verschiedenen Systeme in die unterschiedlichen Hierarchieebenen der Funktionssysteme bewusst sein.

Eine Einteilung der Haushaltstechnik lässt sich verständlicherweise nicht aus der Technologie-Systematik ableiten. Es sind vor allem form- und eigenschaftsändernde Stoffbearbeitungsverfahren und Energiewandlungsprozesse, die im Haushalt ihre Anwendung finden. So werden Stoffformungsverfahren bei den Schneide- und Schnitzelgeräten, bei Mixgeräten und Küchenmühlen genutzt. Es werden stoffeigenschaftsändernde Verfahren bei den Waschgeräten, Küchenabzugshauben und Bügelgeräten angewandt. Energiewandlungsprozesse und -umformungsverfahren sind die Grundlage für die Funktion von Koch- und Backgeräten sowie in der Kühltechnik.

Für die *Gliederung der Haushaltstechnik* legen wir im Folgenden die wesentlichen Funktionsbereiche, in denen die Haushaltstechnik eingesetzt wird, zugrunde (Abb. 34.1.)

Abb. 34.1. Übersicht über die Haushaltstechnik

34.2. Übersicht über die Hauptgruppen und ihre Merkmale

34.2.1. Mechanische Küchengeräte

Die mechanischen Küchengeräte sind die umfangreichste Gruppe der Küchengeräte. Das leitet sich aus den vielfältigen Bearbeitungsformen ab, denen die Lebensmittel bei ihrer Zubereitung unterworfen werden. Gemüse werden vor dem Kochen durch Schälen, Schneiden, Raspeln, Reiben, Schnitzeln und Pürieren in die gewünschte Form gebracht. Andere Nahrungs-, Genuss- oder Würzmittel, wie Getreide, Kaffee und Gewürze werden gemahlen. Häufig müssen verschiedene Komponenten zusammengerührt, geknetet oder gemischt werden. Durch Sieben werden Flüssigkeiten und Feststoffe getrennt oder pulverige Stoffe (z.B. Mehl) von Klumpen befreit. Zur Herstellung von Frucht- und Gemüsesäften werden Separier- oder Pressverfahren eingesetzt. Im Prinzip findet sich auch in der Küchentechnologie die ganze Breite der Stoffformungsverfahren wieder. Selbst solche Verfahren wie Strangpressen tauchen bei der Nudelherstellung und Plastschweißen bei der Verpackung von Gefriergut auf.

Mechanische Küchenmaschinen werden als Handgeräte oder als Standgeräte gestaltet.

Eine erste Gruppe von mechanische Küchenmaschinen sind die **Schneid-, Schnitzel- und Reibemaschinen** (Abb.34.2.). Es sind sowohl handbetriebene wie auch immer stärker elektrisch angetriebene Maschinen im Einsatz. Die Arbeitsorgane sind zur Reinigung und zur Variation der Maschinen leicht demontierbar.

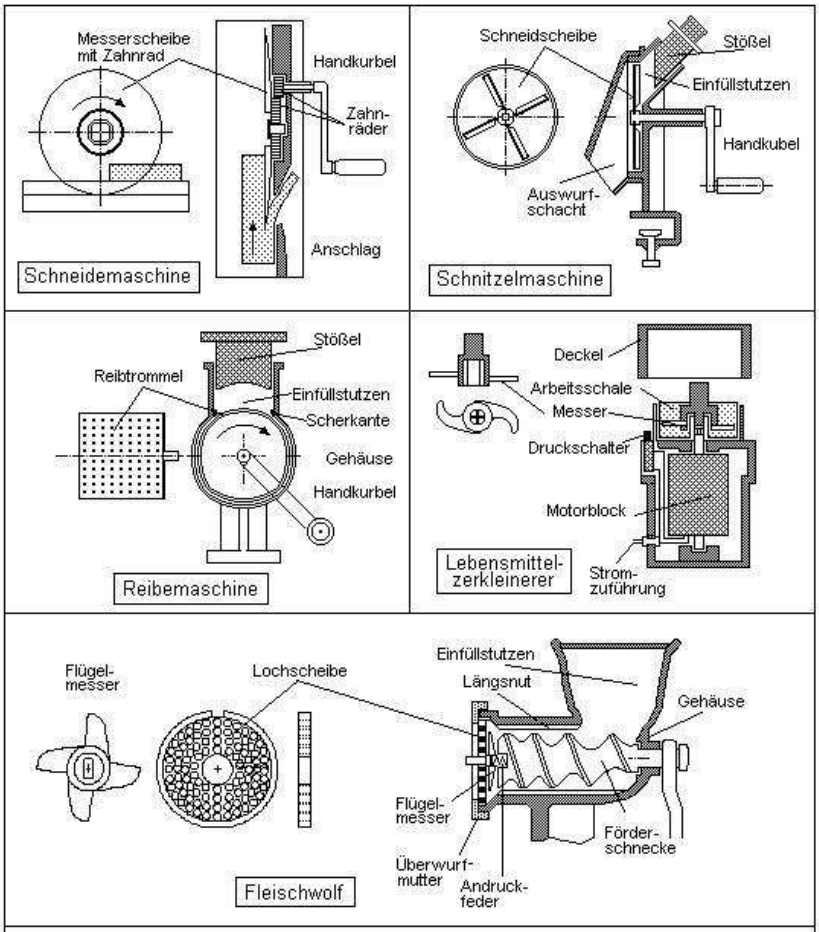


Abb. 34.2. Mechanische Küchemaschinen

Schneidemaschinen (Allesschneider) dienen zum Abtrennen von Scheiben vorgewählter Dicke von Brot, Wurst, Fleisch, Schinken, Käse, Tomaten und vielen anderen Lebensmitteln. Das Arbeitsorgan ist eine kreisförmige Messerscheibe (meist mit Wellen- oder Zahnschliff), die über ein einfaches untersetzendes Zahnradgetriebe durch eine Handkurbel oder einen Elektromotor (Universalmotor 150 W)angetrieben wird. Das zu schneidende Gut wird auf einem leichtgängigen Schlitten zugeführt und die abgetrennte Scheibe nach dem Passieren der Schneide in einem Winkel abgelenkt. Die Dicke der Scheibe kann durch einen verstellbaren Anschlag variiert werden.

Schnitzelmaschinen dienen zur Zerkleinerung vor allem von Gemüse (z.B. Gurken, Kohl, Radieschen, Zwiebeln) in dünne Scheiben oder Streifen. Die Dicke der abgetrennten Streifen ist nicht veränderbar. Sie wird durch den Anstellwinkel der Schneidkanten gegenüber der Messerscheibe bestimmt. Das Schnitzelgut wird über einen Einfüllstutzen zugeführt und mittels eines Stößels an die Schneidscheibe gedrückt. Die Scheibe wird über eine Handkurbel oder einen Elektromotor mit Untersetzungsgetriebe in Rotation versetzt. Die Schnitzel gelangen über den Auswurfschacht in die Küchengefäße.

Reibemaschinen zerkleinern Reibegut in krümelige oder breiige Substanz. Das Arbeitsorgan ist eine einseitig offene Reibtrommel, in die scharfkantige Zähne (für härtere Stoffe), halbkreisförmige Schältaschen (für weicheres Reibegut) oder warzenartige Lochschneiden eingebracht sind. Die Trommeln sind austauschbar und gestatten so die Zerkleinerung mit unterschiedlich großen Reibzähnen. Ähnlich wie bei Schnitzelmaschinen wird das Reibegut in einem Einfüllstutzen an die Reibtrommel herangeführt. Ein Stößel sorgt für die nötige Andruckkraft. Das zerkleinerte Gut gelangt durch die Öffnungen in das Innere der Trommel und tritt durch die offene Seite aus.

Der *Lebensmittelzerkleinerer* wird zur feinen Zerkleinerung von schneidfähigen Lebensmitteln wie Fleisch, hartgekochten Eiern, Käse, Obst, Kartoffeln, Zwiebeln, Gemüse und Kräutern eingesetzt. Er besteht aus einem zylinderförmigen Gehäuse, in dem ein Universalmotor mit den elektrischen Schaltelementen untergebracht ist. Auf den Motorblock ist eine abnehmbare Arbeitsschale aufgesetzt ist. Das zweiarmige Messer wird durch eine Steckkupplung so arretiert, dass es innerhalb der Schale rotiert. Der Deckel schaltet beim Niederdrücken den Motor ein und schaltet ihn beim Loslassen wieder ab. Eine Bremsschaltung bringt das Messer augenblicklich zum Stillstand. Für die Zerkleinerung harter Güter (z.B. Kaffee, getrocknete Hülsenfrüchte, Pfeffer und Muskat) ist die Maschine nicht geeignet.

Der *Fleischwolf* dient zur Zerkleinerung von weichen und zähen Stoffen, insbesondere von Fleisch. Seine funktionsbestimmenden Teilsysteme sind die Förderschnecke und das Kreuzmesser mit der Lochscheibe. Aus dem Einfüllstutzen wird das zu zerkleinernde Gut von der Förderschnecke erfasst und zur Lochscheibe gedrückt. Längsnuten an der Innenseite des Gehäuses verhindern ein Mitrotieren des Gutes. Das in die Öffnungen der Lochscheibe gepresste Gut wird durch das mit der Schnecke rotierende Messer abgeschert. Der Anpressdruck des Messers lässt sich durch eine Andruckfeder und eine Überwurfmutter regulieren. Zur Reinigung lässt sich die Maschine weitgehend zerlegen.

Eine weitere Gruppe stellen die **Mix-**, **Rühr- und Knetmaschinen** dar.

Mixgeräte (bzw. -maschinen) werden als Mixstab oder als Mixbecher ausgeführt. Sie haben die Aufgabe, schneidfähiges Gut zu zerkleinern. Mixstäbe bestehen aus einem meist zylinderförmigen Gehäuse, in das ein Universalmotor eingebettet ist. An der verlängerten Motorwelle sitzt ein mehrflügeliges Messer, das von einem glockenförmigen und zinnenartig durchbrochenen Schutzkranz umgeben ist. Das zu zerkleinernde Gut wird in einem hochrandigen Gefäß durch das Einführen und Auf- und Abbewegen des Mixstabes bearbeitet. Die am Messer auftretenden Zentrifugalkräfte drücken die zerkleinerte Masse aus dem Schutzkranz heraus und ziehen neues Material heran. Häufig werden Mixstäbe auch als Zusatzteil für Handrührmaschinen ausgeführt. Der Mixbecher ist in Kap. 34.4.1. dargestellt.

Die *Handrührmaschine* (Abb.34.3.) besteht aus einem Grundgerät, an das verschiedene Werkzeuge zum Rühren, Kneten, Zerkleinern, Mixen und Pürieren angekoppelt werden können. In einem mit einem Handgriff versehenen Gehäuse sind ein Universalmotor und ein Getriebe mit zwei Abtriebswellen untergebracht. Ein Schneckengetriebe treibt zwei gegenläufige parallele Wellen an. In diese können die Werkzeuge über einen Auswerfer arretiert und auch schnell gewechselt werden. Als Werkzeuge stehen Quirl, Knethaken, Schneebesen und Passierstab zur Verfügung. Mittels eines Stufenschalters können unterschiedliche Drehzahlen eingestellt werden (1200, 900 und 600 U/min). Über einen zweiten Abtrieb, der direkt an der Motorwelle sitzt (bis 18 000 U/min), ist der Betrieb eines Mixstabes möglich. Der Mixstab wird mit Gewinde oder Bajonettverschluss fixiert.

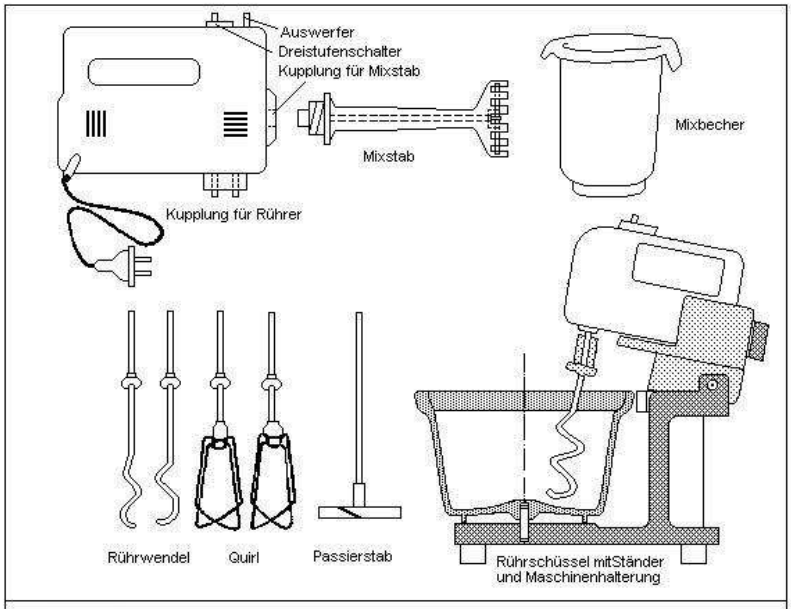


Abb. 34.3. Rührmaschinen

Als Zusatzgerät für die Handrührmaschine ist eine Rührschüssel mit einer Befestigungsvorrichtung für das Handrührgerät entwickelt worden. Es besteht aus einem Gestell, das die Schüssel aufnimmt, und einem einrastbaren Schwenklager mit Klemmbock, der die Handrührmaschine arretiert und in Arbeitsstellung bringt. Die Rührschüssel ist mittels eines Zapfens drehbar gelagert.

Eine weitere Gruppe mechanischer Küchenmaschinen sind die **Mühlen.** Sie haben die Aufgabe, hartkörniges Gut (Kaffee, Pfeffer, Getreide) zu zerkleinern. Speziell für das Mahlen von Kaffee sind zahlreiche Typen von Kaffeemühlen entwickelt worden. Im Wesentlichen beruhen sie auf zwei unterschiedlichen Prinzipien: dem Schlagmesser- und dem Mahlwerksprinzip.

Die *Schlagmessermühlen* sind sehr einfach aufgebaut. In einem zylinderförmigen Gehäuse ist ein Universalmotor (Leistung etwa 150 W, 15 000 U/min) senkrecht untergebracht. Die Motorwelle ragt direkt in den Arbeitsraum der Mühle. Auf ihr ist ein zweiarmiges kräftiges Schlagmesser befestigt. Es ist so gestaltet und angeordnet, dass auch kleinere Mengen Kaffeebohnen erfasst und bearbeitet werden. Durch den Deckel wird ein Momentschalter betätigt, um zu sichern, dass nur bei geschlossenem Gefäß der Mahlvorgang ablaufen kann.

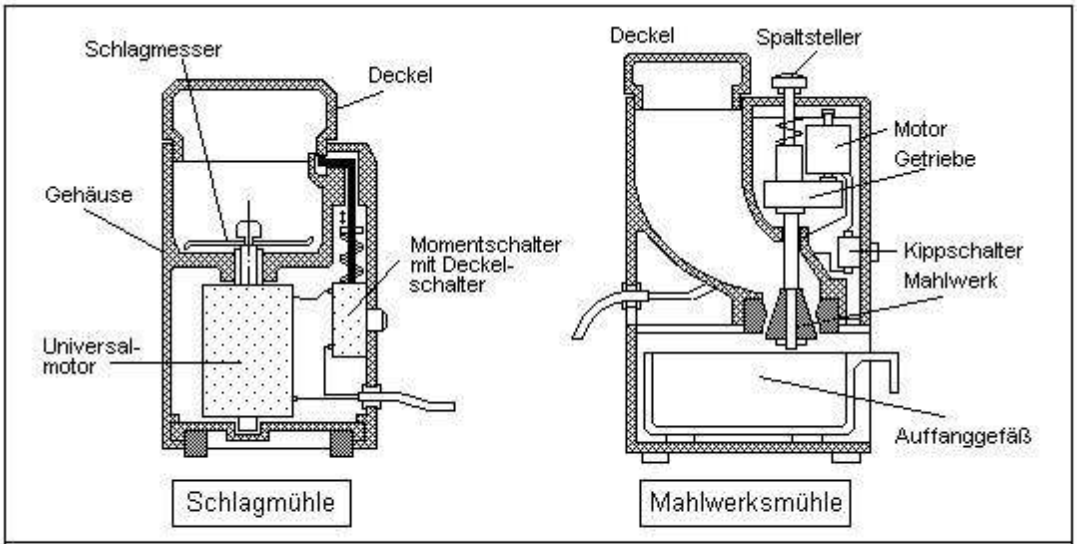


Abb. 34.4. Kaffeemühlen

Ein anderes Prinzip liegt der *Mahlwerksmühle* zugrunde. Das Arbeitsorgan ist hier ein Mahlkegel, der in einer Mahlpfanne rotiert. Die Kegelflächen beider Teilsysteme haben ein feilenartiges Profil, wodurch die unzerkleinerten Bohnen eingezogen und ein zurückweichen verhindert wird. Das Mahlgut gelangt unter Schwerkrafteinfluss aus dem Vorratsraum in den Spalt zwischen Kegel und Pfanne, wird dort zerkleinert, tritt unter aus dem Mahlwerk aus und fällt in ein Auffanggefäß. Der Feinheitsgrad des Mahlguts kann durch Verändern der Spaltgröße des Mahlwerks variiert werden. Der Antrieb des Mahlwerks erfolgt über ein Untersetzungsgetriebe durch einen Universalmotor (etwa 75 W) (Abb.34.4.).

Nach dem gleichen Prinzip arbeiten Pfeffermühlen. Sie sind im Allgemeinen handbetrieben.

Zu den verbreitetsten Küchenmaschinen gehört die **Universal-Küchenmaschine**. Mit ihr können die verschiedensten in der Küche durchzuführenden Arbeiten wie Zerkleinern, Schnitzeln, Reiben, Hacken, Mahlen, Rühren, Kneten, Schlagen und Mischen ausgeführt werden.

Sie besteht aus einem Grundgerät und zahlreichen verschiedenen Zusatz-(Arbeits-)-Geräten. Das Grundgerät wird vom Antriebsmotor (Universalmotor mit bis zu 650 W Leistung) und dem dazu gehörige Getriebe sowie zwei Abtriebswellen mit entsprechenden Kupplungen für die Zusatzgeräte gebildet. Für den Antrieb der verschiedenen Anbaugeräte sind sehr unterschiedlichen Drehzahlen der Abtriebswellen notwendig (Tabelle 34.2.). Der erste Abtrieb ist direkt mit der Motorwelle verbunden und besitzt dessen Drehfrequenz. Die zweite Abtriebswelle wird über ein mehrstufiges Untersetzungsgetriebe angetrieben. Die Varianzbreite der möglichen Drehzahlen wird weiterhin durch einen Mehrstufenschalter oder eine stufenlose elektronische Drehzahlregelung erreicht (Abb.34.5.).

Bearbeitungsvorgänge	Drehzahlbereiche (U / min)
Kneten, Hacken, Saftpressen	50 - 250
Schnitzel, Raspeln, Reiben	250 - 500
Mischen, Rühren, Sahneschlagen	500 - 2 000
Mixen, Zentrifugieren	2 000 - 10 000
Schlagmahlen	10 000 - 15 000

Tabelle 34.2. Drehzahlbereiche für Küchentechnologien

Als Zusatzgeräte für den hochtourigen Abtrieb stehen Schlagmühle, Mixaufsatz und Saftzentrifuge zur Verfügung. An die zweite Kupplung können Rührschüssel mit Knetwerk und Quirl, Schnitzel- und Reibewerk, Fleischwolf und Zitruspresse angeschlossen werden.

Neben den bisher dargestellten Maschinen wird im Haushalt eine Vielzahl weiterer mechanischer Kleingeräte eingesetzt. Als weitere Beispiele seien genannt: *Fruchtpressen, Entsafter, Büchsenöffner, Messerschleifer und Küchenwaagen*

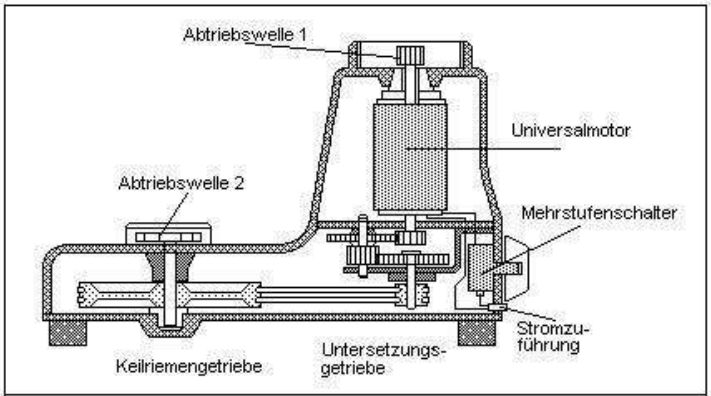


Abb. 34.5. Universalküchenmaschine (Grundgerät)

34.2.2. Wärmegeräte

In der Gruppe der Wärmegeräte erfassen wir Koch- und Backgeräte und Warmwassergeräte.

Kochgeräte und Backgeräte gehören zur Grundausstattung jeder Küche. Für die Speisenzubereitung sind sie unentbehrlich. Großgeräte werden sowohl als Elektrogeräte wie auch als Gasgeräte ausgeführt. In etwa 20% der deutschen Haushalte wird neben elektrischer Energie Gas (vorwiegend Erdgas) zum Kochen und Backen verwendet. Daneben ist eine Vielzahl von elektrischen Kleingeräten für die Speisenzubereitung verfügbar. Wir werden uns im folgende auf die Elektrogeräte konzentrieren und nur bei Backherden und Durchlauferhitzern auch gasbetriebene Geräte betrachten. Zu den Kochgeräten im Haushalt zählen Kochplatten, Glaskeramikkochfelder, Induktionskochstellen,

Backöfen, Mikrowellengeräte, Frittiergeräte, Grillgeräte und Toaster.

Kochplatten werden für das Erwärmen (bzw. Erhitzen und Kochen) von Lebensmitteln und Flüssigkeiten in Kochgefäßen verwandt. Sie werden in drei standardisierten Größen von 145 mm, 180 mm und 220 mm eingesetzt. Das Wirkprinzip der Kochplatte besteht in der Erwärmung eines ebenen Plattenkörpers durch einen isoliert eingebetteten Heizleiter.

Standardkochplatten bestehen aus einem massiven Metallkörper, in den ein isolierter elektrischer Heizleiter auf der gesamten Plattenfläche eingebettet ist. Der stromdurchflossene Leiter überträgt seine Wärme auf die Platte und von dort auf den Gefäßboden des Kochgeschirrs. Die große Masse der Platte hat eine hohe Wärmekapazität zur Folge und damit lange Anheiz- und Abkühlzeiten. Dieser Plattentyp wird deshalb heute nur noch selten verwandt. An seine Stelle ist die *Ringkochplatte* getreten. Sie besteht aus dünnwandigem Gusseisen mit relativ kleinen Anheiz- und Abkühlzeiten und zeichnet sich dadurch aus, dass nur eine breite Ringzone beheizt wird. Beide Plattentypen besitzen jeweils drei Heizwicklungen. Über einen 7-Taktschalter können so die verschiedenen Temperaturbereiche für Ankochen, Braten, Fortkochen und Warmhalten gewählt werden.

Die Ringkochplatte wird in drei verschiedenen Varianten hergestellt: als Normalkochplatte, als Blitzkochplatte und als Automatikkochplatte.

Die Normalkochplatte besitzt neben dem Plattenkörper mit eingelagerten Heizleitern und dem Stufenschalter keine weiteren Funktionselemente.

Die Blitzkochplatte hat bei gleichem Durchmesser eine höhere Heizleistung als die Normalkochplatte und weist dadurch in der höchsten Schaltstufe kürzere Anheizzeiten und eine geringere Verlustwärme beim Abkühlen auf. Bei im Prinzip gleichem Aufbau wie die Normalkochplatte besitzt sie einen sog. Protektor. Das ist ein Bimetallschalter, der beim Erreichen einer Grenztemperatur von etwa 500 °C eine Heizwicklung abschaltet und so die Überhitzung der Platte verhindert.

Bei Automatikkochplatten kann die gewünschte Heizleistung über einen Vorwahlschalter stufenlos eingestellt und durch einen Regler mit Wärmefühler und Ausdehnungsmembrane realisiert werden. Bei Erreichen der vorgegebenen Temperatur unterbricht der Regler den Stromfluss. Sinkt die Temperatur unter den Sollwert ab, schließt der Regler den Stromkreis wieder. Die Vorteile der Automatikplatte liegen sowohl in einer vorwählbaren Plattentemperatur, in kurzen Anheizzeiten (weil der Anheizvorgang immer mit der vollen Heizleistung erfolgt) und im Schutz vor einer Überhitzung der Kochplatte.

Glaskeramikkochflächen besitzen anstelle der Kochplatten markierte Kochzonen, unter denen Heizstrahler angeordnet sind. Der Strahlungsheizkörper hat eine tellerförmige Bodenfläche, die mit einer Wärmedämmschicht belegt ist. Als Heizquellen sind zwei unterschiedliche Systeme im Einsatz. Sie können zum einen aus Heizspiralen bestehen, die in ringförmige Kanäle eingebettet sind. Zum anderen können die Heizkörper mit Halogen-Hellstrahlern ausgerüstet sein (Abb. 34.6.).

Halogen-Hellstrahler haben kürzere Anheizzeiten, weil sie mit Temperaturen bis zu 2180°C arbeiten (Heizspiralen bis zu 1000°C) und damit eine höherfrequente Wärmestrahlung erzeugen, die die Glaskeramikfläche leichter durchdringt. Glaskeramikflächen sind pflegeleicht, funktionell und dekorativ, was ihnen zunehmende Verbreitung sichert. Sie gestatten ein leichtes Hin- und Herschieben der Töpfe und Pfannen auf der Fläche und erleichtern so das Unterbrechen des Kochvorgangs, ohne das Gefäß vom Herd nehmen zu müssen. Der glaskeramische Werkstoff zeichnet sich durch hohe Beständigkeit gegen Temperaturschwankungen aus. Er hat eine schlechte Wärmeleitfähigkeit und wird deshalb nur an den unmittelbar beheizten Stellen heiß. Dadurch fließt auch keine Wärmeenergie unnötig ab. Nachteilig ist ihre Kratzempfindlichkeit.

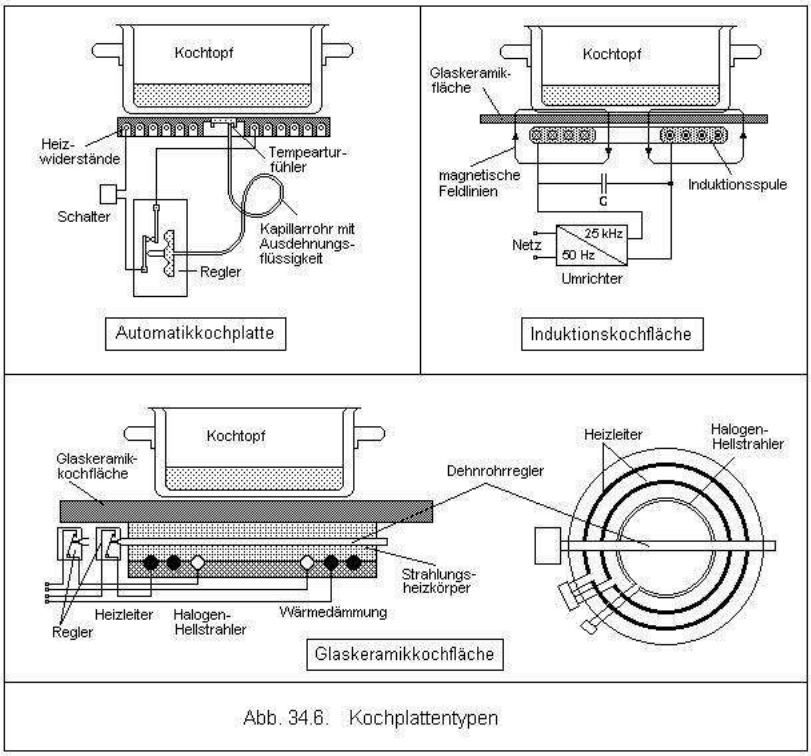


Abb. 34.6. Kochplattentypen

Induktionskochflächen sind die neueste Variante der Kochflächen. Unter einer Glaskeramikfläche befinden sich anstelle der Heizspiralen Induktionsspulen aus starken Kupferleitern. Zu jeder Spule ist ein Kondensator parallel geschaltet und ein steuerbarer Umrichter formt den 50-Hz- Wechselstrom in mittelfrequenten 25 kHz Wechselstrom um. Gekocht werden kann auf diesen Kochfeldern nur mit Kochgeschirr, das einen magnetisch gut leitenden Boden besitzt (Gusseisen, emaillierter Stahl). Edelstahl ist nur bedingt geeignet, ungeeignet sind Töpfe aus Aluminium, Kupfer, Glas und Keramik. Diese Forderung an das Geschirr ergibt sich aus der Wirkungsweise der Induktionskochstellen. Die Induktionsspule und der Kondensator bilden einen Schwingkreis, der ohne Kochgeschirr in Resonanz ist und deshalb nur einen kleinen Strom aufnimmt. Steht ein Topf mit einem magnetisch gut leitenden Boden auf der Kochfläche, wird der magnetische Fluss verstärkt und der Schwingkreis aus der Resonanz gebracht. Er nimmt einen höheren Strom auf und erzeugt im Stahlboden auf induktivem Wege Wirbelströme, die den Boden erhitzen.

Backöfen dienen zum Backen, Kochen, Braten und Grillen von Lebensmitteln. Nach der Art der Beheizung werden zwei Systeme unterschieden: Standardbacköfen und Umluftbacköfen (Abb.34.7.).

Der *Standardbackofen* besteht aus einem mit Tragleisten versehenen Backraum (dem Arbeitsorgan), der durch eine Klappe an der Vorderseite geöffnet und beschickt werden kann. Auf den Tragleisten können Backbleche oder Roste mit Koch- und Bratgefäßen in unterschiedlicher Höhe im Ofenraum platziert werden.

Die Beheizung des Backofens erfolgt durch Heizstäbe unterhalb de Bodens (Unterhitze) und an der Oberseite in Deckennähe (Oberhitze). Die Wärmeübertragung auf das Back- und Bratgut erfolgt durch Wärmestrahlung und Konvektion der Luft im Ofenraum. Unter- und Oberhitze sind getrennt schaltbar. Die Leistung der Heizstäbe liegt zwischen 1100 W und 3000 W. Die Ofenraumtemperaturen sind mittels eines Temperaturreglers zwischen 50 °C und 250°C vorwählbar und regelbar.

Zusätzlich zur Oberhitze kann ein Grillheizkörper (Leistung 2000 bis 3000 W) an der Oberseite des Innenraumes angebracht sein, der gesondert schaltbar ist.

Beim *Umluftbackofen* wird die Wärmeübertragung durch Zwangskonvektion erreicht. Der Heizkörper ist bei diesem Typ als Ringheizkörper (1200 bis 2600 W) ausgebildet und an der inneren Rückwand des Ofenraumes angebracht. Ein Ventilator saugt durch ein Luftleitblech mit zahlreichen Durchtrittsöffnungen aus dem Backraum die Luft an und führt sie an der Heizspirale vorbei. Von dort aus gelangt sie wieder in den Garraum. Die Luft wird 40 - 50-mal in der Minute umgewälzt und sorgt so für eine gleichmäßige Temperatur in allen Bereichen des Backraumes. Die Ofenraumtemperatur kann durch Regler stufenlos vorgewählt und eingehalten werden.

Der Umluftbackofen weist gegenüber dem Standardofen einige Vorteile auf. Wegen der durch die Zwangskonvektion der Luft bedingten besseren Wärmeübertragung auf das Gargut kommt das System mit etwa 30 K niedrigeren Temperaturen für die gleichen Back- und Bratvorgänge aus. Neben dem geringeren Energieaufwand ergeben sich daraus auch geringere Verschmutzungen des Ofenraumes durch eingebrannte Fettspritzer. Während beim Standardbackofen jeweils nur eine Einschub-Ebene genutzt werden kann, ist es möglich, mehrere Ebenen gleichzeitig zu nutzen.

Neben den Elektrobacköfen sind in etwa 20 % der Haushalte Gasgeräte in Gebrauch. Für das Gas als Heizquelle sprechen einige gewichtige Gründe. Es liefert sofort die volle Wärme, kann stufenlos reguliert und ohne Nachheizen gestoppt werden. Es erfordert keine besonderen Topfmaterialien. Seit dem Einsatz von Zündsicherungen in Gasgeräten birgt die Nutzung von Gas im Haushalt keine besondere Gefahr mehr.

Gasbacköfen haben im Prinzip die gleiche Bauart wie Elektroöfen. Die Beheizung erfolgt durch ein unter dem Backraum befindliches Brennersystem. Die voreingestellte Backtemperatur wird durch einen Thermofühler und ein entsprechendes Reglersystem, das die Gaszufuhr reguliert, konstant gehalten. Über dem Brennersystem liegt ein gelochtes Unterblech. Im Backraum ist im oberen Bereich der Rückwand eine Beleuchtung angebracht. Die Wände des Backraumes sind wärmeisoliert.

Ähnlich wie bei den Elektrogeräten ist der Backofen meist mit mehreren Kochstellenbrennern, die in einer Kochmulde angeordnet sind, kombiniert.

Der in der Industrie beobachtbare Trend zur Nutzung neuer Formen der Operationsenergie spiegelt sich auch im Haushalt wider. Ein Beispiel dafür sind **Mikrowellengeräte.** Als Mikrowellen wird eine elektromagnetische Strahlung bezeichnet, deren Frequenzbereich zwischen der Wärmestrahlung und den Ultrakurzwellen liegt ($2 \cdot 10^9$ bis $3 \cdot 10^{12}$ Hz) liegt. In der BRD wird für Haushaltsmikrowellengeräte einheitlich die Frequenz von 2450 MHz verwandt. Das Wirkprinzip ihres Einsatzes zum Auftauen, Erwärmen und Garen von Lebensmitteln besteht darin, dass durch das elektromagnetische Wechselfeld die Moleküle mit Dipolmoment zur Schwingung angeregt werden und sich die Substanz durch die innere Reibung schnell erwärmt. Als wesentliche Eigenschaften der Mikrowellen sind bei ihrer Nutzung zu berücksichtigen: sie werden von Metallen reflektiert, ohne dass es zu einer wesentlichen Erwärmung kommt, sie durchdringen Glas, Porzellan, Keramik, Plaste ohne Energieverlust, und sie werden von Lebensmitteln (insbesondere durch die Wassermoleküle) absorbiert, wobei diese erwärmt werden.

Mikrowellengeräte ähneln äußerlich einem kleinen Backofen (Abb.34.8.). Das Arbeitsorgan ist der Garraum. Die Operationsenergie wird vom Magnetron hervorgebracht, das ist eine Elektronenröhre, die durch ein konstantes Magnetfeld gesteuert wird. Es erzeugt kontinuierlich elektromagnetische Wellen mit einer Strahlungsleistung von 500 bis 700 W im Garraum und wird durch ein Gebläse gekühlt. Die gesamte Leistungsaufnahme (Anschlussleistung) des Gerätes ist etwa doppelt so hoch wie die Garraumleistung. Eine elektronische Steuerung mit Netzfilter, Relais, Hochspannungstransformator, Hochspannungsgleichrichter, Hochspannungskondensator, Heiztransformator und Zeitschaltwerk regelt den Prozess. Vom Magnetron aus gelangt die Strahlung über den Koppelstift in einen Hohlleiter und über die Einkopplung in den Garraum, dessen Abmessungen, so gestaltet sind, dass sich durch die Wellenreflexion an den Edelstahlwänden stehende Wellen im Raum ausbilden. Ein rotierender Reflektor sorgt für eine möglichst homogene Verteilung des elektromagnetischen Feldes. Die Bodenplatte, auf der die Erhitzungsgefäße platziert werden, ist strahlendurchlässig und etwas erhöht über dem Metallboden des Garraumes angebracht, damit die Mikrowellen von allen Seiten in das Gargut eindringen können. Wegen der Eigenschaften der Mikrowellen müssen die Gefäße aus strahlendurchlässigem Material sein.

Zum Schutz gegen ein Austreten der Mikrostrahlung ist der Garraum mit Edelstahlblech umkleidet. Auch die Türklappe muss besonders durch eine Hochfrequenzabdichtung und einen Verschluss mit Sicherheitsschalter ausgestattet sein. Das Sichtfenster besteht aus Glas mit eingegossenem Drahtgitter. Die Garraumdämpfe werden über vergitterte (und damit strahlungsundurchlässige) Kanäle und Gebläse seitlich oder rückwärts abgeführt.

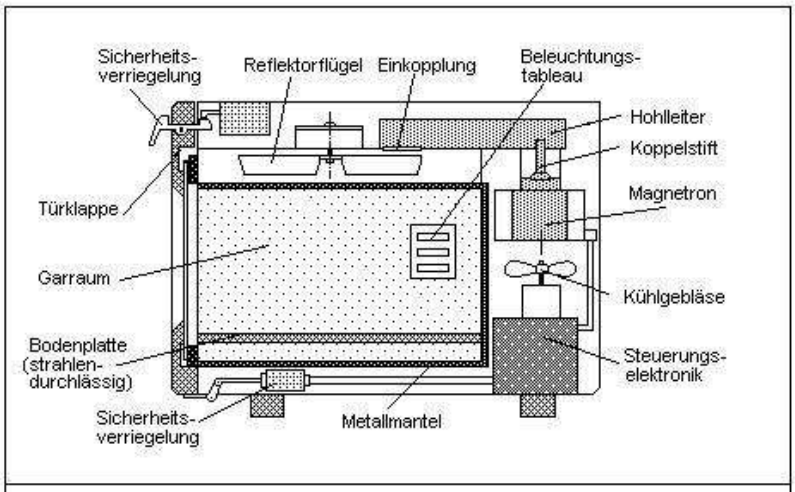


Abb. 34.8. Mikrowellengerät

Die Lebensmittel können im Mikrowellengerät zwar gegart, aber nicht gebräunt werden. Es gibt deshalb Gerätetypen, die zusätzlich mit einem Infrarotgrill ausgerüstet sind.

Neben den bisher besprochenen Back-, Koch- und Aufwärmegeräten existieren weitere elektrische Geräte zur thermischen Nahrungsgüterbearbeitung. *Friteusen* sind Elektrogeräte mit kreisförmiger, ovaler oder rechteckiger Grundform, in denen Fett erhitzt werden kann. Sie fassen 1 bis 2 Liter Fett. In einem Metallkorb wird das zu frittierenden Gut in das Fett gesenkt. Die Geräte sind mit einer Temperaturregelung ausgestattet. *Grillgeräte* dienen zum Grillen von Fleisch- und Geflügelstücken unter einer Heizspirale. In 80% der Haushalte werden *Toaster* zum Rösten von Brot, Brötchen und Baguette eingesetzt.

Warmwassergeräte sind eine weitere Gruppe von Wärmegeräten im Haushalt. Zu ihnen gehören Warmwasserspeicher, Heißwasserboiler, Durchlauferhitzer, Wasserkocher, Kaffeemaschinen und Tauchsieder.

Warmwasserspeicher sind Warmwassergeräte mit Wärmedämmung. Sie haben die Aufgabe, Wasser zu erhitzen und warmzuhalten. Sie werden als geschlossene und offene Systeme ausgeführt. *Offene Warmwasserspeicher* bestehen aus einem fest installierten, gut wärmeisolierten, dünnwandigen Behälter aus verzinntem Kupferblech. Ihr Fassungsvermögen liegt zwischen 5 und 10 Litern. Dieser ist mit Wasser gefüllt, das nicht unter dem Druck des Wasserleitungsnetzes steht. Die Erwärmung erfolgt durch einen Rohrheizkörper (Leistung 2000 W) innerhalb des Behälters. Ein Temperaturmeßfühler ermöglicht die Einstellung einer vorgewählten Wassertemperatur. Zur Wasserentnahme wird das Kaltwasserventil geöffnet. Es strömt unten in den Behälter ein und drückt das warme Wasser durch ein Überlaufrohr in den Warmwasserauslauf. Das Auslaufrohr ist nicht durch ein Ventil abgesperrt. Deshalb kann das sich beim Aufheizen ausdehnende Wasser abtropfen. Offene Warmwassergeräte besitzen immer nur eine Zapfstelle. Mischbatterien sind für offene Warmwasserspeicher so gestaltet, dass das Kaltwasserventil den direkten Auslauf des Leitungswassers ermöglicht. Das Warmwasserventil leitet das kalte Wasser in den Behälter und lässt so Warmwasser aus dem Überlauf austreten. Überdruck kann trotz der offenen Konstruktion dann entstehen, wenn ein zu langes Auslaufrohr oder ein zu geringer Auslaufquerschnitt (z.B. durch Kalksteinablagerung) den schnellen Druckabbau des zulaufenden Wassers verhindern.

Geschlossene Warmwasserspeicher stehen unter Überdruck (Druck des Wassernetzes). Der wärmeisolierte Behälter ist deshalb starkwandig (meist aus emailliertem Stahlblech) ausgeführt. Er fasst bei den in Haushalten verbreiteten Typen 40 bis 80 Liter. Er enthält bis zu drei Heizspiralen (von je 2000 W Leistung) und einen Temperaturfühler. Der Warmwasserabgang kann mehrere Zapfstellen versorgen, weil der Wasserdruck im Behälter durch den Kaltwasserzulauf aufrecht erhalten bleibt. Der Behälter wird von einer starken Hartschaumschicht umgeben, um eine ausreichende Wärmeisolation zu garantieren. Die Gestaltung des Wasserzulaufs und der Wasserentnahme ist aus Abb. 16.9. zu entnehmen. Im Kaltwasserzulauf liegt ein Absperrventil, das aber nur bei Reparaturen und Störungen betätigt wird. Als weitere Sicherheitselemente sind ein Rückschlagventil, das den Rücklauf von Wasser in das Leitungsnetz bei Ausfall des Wasserdruckes im Versorgungsnetz verhindert, und ein Membransicherheitsventil eingebaut, das zur Druckentlastung des Behälters dient, wenn durch die Wasserausdehnung beim Aufheizen der Druck über 7 bar ansteigt.

Heißwasserboiler sind Warmwassergeräte ohne Wärmedämmung. Sie haben die Aufgabe, Wasser zu erhitzen und zum baldigen Verbrauch bereitzustellen. Sie basieren auf dem Prinzip der offenen Geräte und werden im Allgemeinen als Duschboiler mit 15 l Inhalt und als Badeboiler mit 80 l Inhalt ausgeführt. Der Behälter besteht aus verzinntem Kupferblech. Das Wasser wird durch einen Rohrheizkörper im Behälterinneren erwärmt. Die gewünschte Wassertemperatur wird von Hand eingestellt. Ein Temperaturbegrenzer schaltet den Strom nach Erreichen der vorgewählten Temperatur ab.

Durchlauferhitzer sind geschlossene Warmwassergeräte, bei denen die Wassererwärmung während der Entnahme erfolgt. Das zu erhitzende Wasser durchläuft ein Rohrsystem oder einen kleinen Behälter. Wird der Entnahmehahn geöffnet, schaltet die Steuerautomatik die Heizung ein. Der relativ geringe Behälterinhalt ermöglicht kleine Baugrößen. Sie haben eine hohe Heizleistung, um das Wasser beim Durchlauf ausreichend zu erwärmen.

Nach der Art der Wassererwärmung und nach der Art der Steuerung lassen sich verschiedene Typen unterscheiden. Als Steuerungs- und Regelungssysteme sind hydraulische, elektronische und thermische Systeme im Einsatz.

Thermisch geregelte Durchlauferhitzer gleichen in ihrem prinzipiellen Aufbau den geschlossenen Warmwasserspeichern. Sie haben einen vergleichsweise sehr kleinen Wasserbehälter, der aus druckfestem Kupferblech besteht. Im Inneren befindet sich das Zulaufrohr für das Kaltwasser und eine Wasserführungsschnecke, die in den Warmwasserauslauf mündet. Um den Behälter herum sind drei Rohrheizkörper angeordnet. Wird das Entnahmeventil geöffnet, schaltet der Wasserstrom über eine Venturidüse und einen Druckdifferenzschalter den Heizstrom ein. Ein Temperaturbegrenzer schaltet beim Überschreiten einer Grenztemperatur von 95°C das Gerät ab. Da die Heizleistung konstant ist, hängt die erreichbare Wassertemperatur von der Durchflussmenge ab. Ein großer Wasserstrom ergibt niedrige Wassertemperaturen, ein geringer Wasserstrom höhere. Der Wasserstrom kann durch einen Wasserstromwähler eingestellt (begrenzt) werden, zugleich beeinflusst aber auch die Öffnung des Entnahmeventil den Wasserstrom.

Hydraulisch und elektronisch gesteuerte Durchlauferhitzer haben als zentrale Funktionsgruppe einen sog. Heizblock. Dieser besteht aus einem von Kanälen durchzogenen Kunststoff- oder Keramikblock. In die Kanäle sind blanke Heizleiter eingelassen, die direkt vom Wasser umströmt werden. Das Wasser wirkt als Isolator. Es darf deshalb einen zulässigen Widerstandsgrenzwert von $\rho = 1100\ \Omega$ nicht unterschreiten.

Abb.34.9. zeigt die verbreitetsten Typen von Warmwassergeräten.

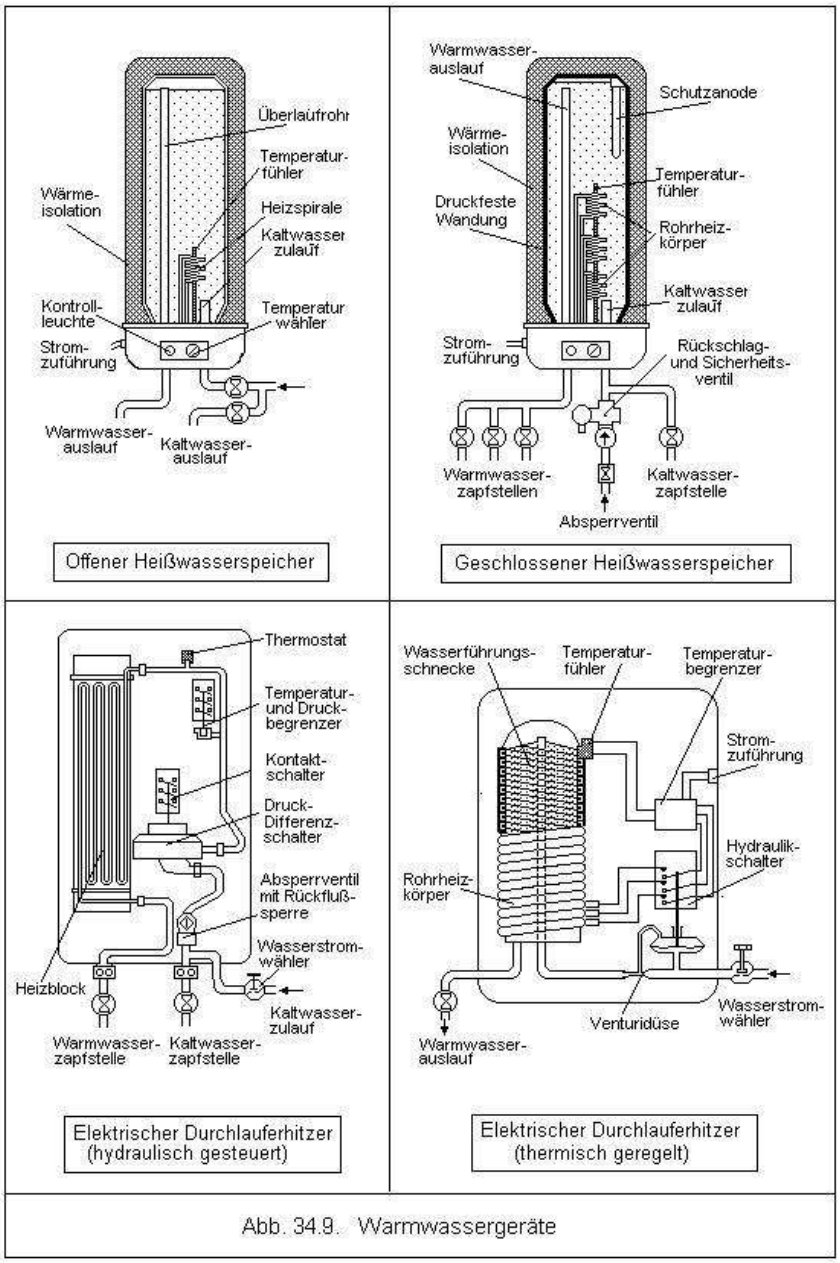


Abb. 34.9. Warmwassergeräte

Kaffeemaschinen sind im Prinzip Wassererhitzer, bei denen das erhitzte Wasser über ein Kaffeepulver enthaltendes Filter geleitet wird. Sie arbeiten im Allgemeinen nach dem Überlaufprinzip. Aus einem Kaltwasserbehälter fließt das Wasser in einen Durchlauferhitzer im Boden der Maschine. Durch Dampfdruck wird es durch ein mit einem Kugelrückschlagventil versehenem Überlaufrohr in einen Trichter mit Papierfilter, in dem sich das Kaffeepulver befindet, geleitet. Der Kaffee tropft von dort in einen Glaskrug oder eine Thermokanne. Durch ein Thermorelais schaltet sich der Strom ab, wenn der Wasservorrat durchgelaufen ist. Dann schaltet sich der Strom für die Warmhalteplatte ein, auf der der Kaffeekrug steht. *Espressomaschinen* nutzen das Boilerprinzip. In einem Druckgefäß wird Dampf erzeugt, der das siedende Wasser mit bis zu 4 bar durch das Kaffeemehl drückt. Der Druckfilter ist über einen Bajonettverschluss abnehmbar und kann so gefüllt und entleert werden (Abb.34.10).

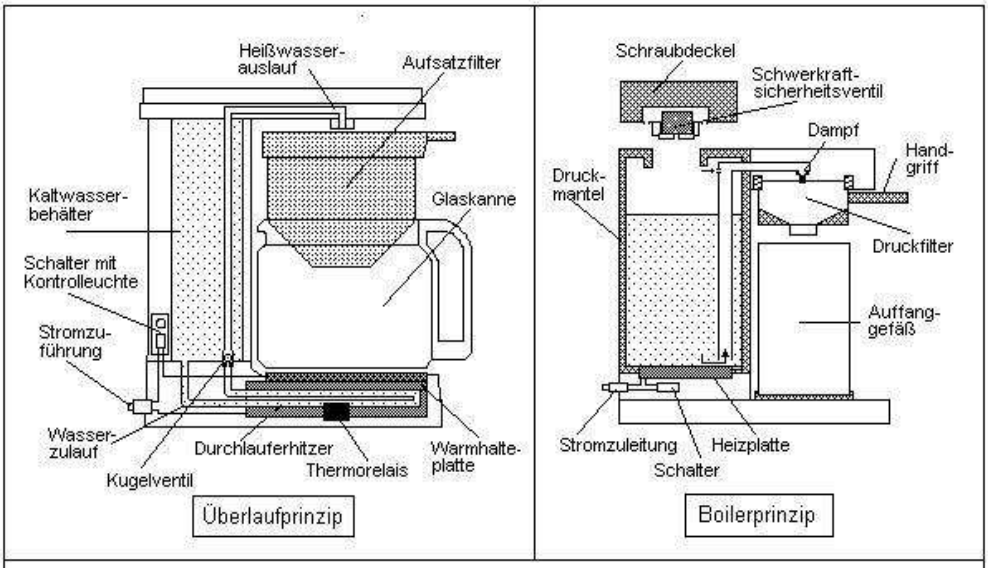


Abb. 34.10. Kaffeemaschinen

34.2.3. Kühl- und Gefriergeräte

Die Geschichte der Kühl- und Gefriergeräte beginnt mit der Entwicklung der ersten brauchbaren Kompressions-Kältemaschine mit Ammoniak als Kältemittel 1875 durch Carl von Linde, obwohl die Grundprinzipien zur technischen Kälteerzeugung - das Absorptionsprinzip und das Kompressionsprinzip - bereits länger bekannt waren. Er entwickelte die Theorie der Kältemaschinen und konnte auf dieser Basis den Wirkungsgrad der Kältemaschinen entscheidend verbessern. Die zunächst auf die Industrie (Brauereien, Schlachtbetriebe, Molkereien, Nahrungsmittelbetriebe, chemische Industrie) begrenzte Anwendung führte in den zwanziger Jahren des 20.Jhdts. zur Entwicklung der ersten Haushaltskühlschränke. Gefriergeräte gibt es seit 1940, Einbaugefrierschränke mit geringem Platzbedarf sind seit 1978 auf dem Markt.

Für den Kühlvorgang nutzt man folgende Naturvorgänge: Beim Verdampfen einer Flüssigkeit entzieht sie ihrer Umgebung Wärme („Verdampfungskälte“). Die Temperatur der Flüssigkeit bleibt dabei konstant, während sich die Umgebung abkühlt. Komprimiert man den Dampf, so erwärmt er sich. Er kann seine Wärme an die kältere Umgebung abgeben und wieder in den flüssigen Zustand übergehen. In Kühlsystemen werden diese Vorgänge in einem geschlossenen Kältemittelkreislauf genutzt. Als Kältemittel für einen solchen Kreislauf eigenen sich Flüssigkeiten mit einem niedrigen Siedepunkt, wie Ammoniak und verschiedene Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW). Letztere werden wegen ihrer schädigenden Wirkung auf die Ozonschicht der Erdatmosphäre zunehmend aus dem Verkehr gezogen.

Kühl- und Gefriergeräte sind heute praktisch in jedem Haushalt zu finden. Die Einteilung der Kühlgeräte kann erfolgen:

nach dem Wirkprinzip:

- Passive Kühlgeräte,
- Aktive Kühlgeräte.

nach der Funktion:

- Kühlgeräte. Sie können als Stand-, Tisch-, Unterbau- oder als Einbaugerät ausgeführt sein. Ihr Nutzinhalt
- entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen liegt zwischen 120 bis 360 l
- Tiefkühlgeräte,
- Gefrierschränke und -truhen.

nach der im Absorberteil erreichbaren Temperatur:

- Kühlgeräte mit * 1-Stern-Fach - Temperatur bis -6°C
- Kühlgeräte mit ** 2-Sterne-Fach - Temperatur bis -12°C

- Kühlgeräte mit *** 3 -Sterne-Fach - Temperatur bis -18°C
- Kühlgeräte mit **** 4 -Sterne-Fach - Temperatur mehr als -18°C

nach der Bauart:

- Kühlboxen
- Kühlschränke
- Kühltruhen

Passive Kühlgeräte sind Thermobehälter und Kühlboxen. Sie sind so aufgebaut, dass sie den Temperaturausgleich zwischen Gefäßinnerem und der Umgebung erschweren.

Thermobehälter haben die Aufgabe, Stoffe (insbesondere Flüssigkeiten) für eine relativ begrenzte Zeit kühl oder warm zu halten. Thermosgefäße sind doppelwandige Glasgefäße, deren Hohlraum zwischen den Glaswänden zur weitgehenden Unterbindung der Wärmeleitung fast luftleer gepumpt ist. Die Glaswände sind verspiegelt und reflektieren Wärmestrahlung fast vollständig. Das Glasgefäß ist zum Schutz gegen mechanische Beschädigung in einem stabilen Mantelbehälter untergebracht und durch Stütz- und Haltegummi in seiner Lage fixiert. Das Gefäß wird durch einen Korkstopfen verschlossen.

Kühlboxen sind dickwandige Behälter, deren Wände aus stark wärmedämmendem Hartschaum bestehen. Die Außen- und Innenhaut bestehen zum mechanischen Schutz und gegen Feuchtigkeitseinwirkung aus glattem Plastmaterial. Der Behälterdeckel ist ebenso aufgebaut. Durch sog. Kühlelemente lässt sich die Wirksamkeit der Kühlboxen erhöhen. Das sind Kunststoffbehälter, die mit einer Flüssigkeit mit hoher spezifischer Wärmekapazität gefüllt sind. Die Kühlelemente werden vorher in einem aktiven Kühlsystem „aufgeladen“, d.h. gefroren. Beim Auftauen halten sie die Temperatur im Kühlraum längere Zeit konstant.

Aktive Kühlgeräte haben die Aufgabe, leicht verderbliche Lebensmittel für einen bestimmten Zeitraum aufzubewahren, Gefriergut je nach der erreichbaren Temperatur im Verdampferfach von einigen Tagen bis zu mehreren Monaten zu lagern oder Lebensmittel einzufrieren.

Ein aktives Kühlaggregat besteht im Prinzip aus einem gut wärmeisolierten Kühlraum, dem Wärmeenergie entzogen wird. Mittels eines geschlossenen Röhrensystems (dem Kälteaggregat) wird diese Wärmeenergie durch ein Kältemittel nach außen abtransportiert und über Kühlrippen an die Umgebung abgegeben.

Bei der Kühltechnik werden im Wesentlichen zwei verschiedene Wirkprinzipien angewandt: das Kompressorprinzip und das Absorberprinzip.

Das *Kompressorprinzip* wird in einem Kältemittelkreislauf realisiert, dessen Hauptkomponenten der Verdampfer, der Kompressor, der Kondensator und das Drosselorgan sind (Abb.16.11.). Der im Kühlraum angeordnete Verdampfer entzieht ihm Wärme durch die Verdampfung des Kältemittels. Das gasförmige Kältemittel wird vom Kompressor angesaugt und verdichtet. Durch die Druckerhöhung erhitzt es sich und wird in den Kondensor, gedrückt. Über die Kühlrippen des Kondensators wird Wärme nach außen abgegeben und das Kältemittel verflüssigt sich wieder. Dabei ändert sich die Temperatur des Kältemittels nur geringfügig, weil die Wärmeabgabe im Wesentlichen durch den Verflüssigungseffekt erreicht wird. Das flüssige Kältemittel strömt durch eine Trockenpatrone. Das darauf folgende Drosselorgan stellt ein Kapillarrohr dar, das den Druck soweit erniedrigt, dass das Kältemittel im Verdampfer wieder gasförmig wird und den Kühlkreislauf von vorne beginnt.

Das *Absorberprinzip* unterscheidet sich vom Kompressorprinzip durch das Fehlen der Kompressionsstufe. An ihre Stelle tritt der sog. Kocher. Die zuzuführende Operationsenergie ist in diesem Falle nicht mechanische Energie sondern Wärmeenergie. Außerdem sind neben dem Kältemittelkreislauf zwei Hilfskreisläufe vorhanden: ein Lösungsmittelkreislauf und ein Hilfsgaskreislauf. Im Einzelnen gehören zum Absorberkühlkreislauf der Verdampfer, der Absorber, der Kocher und der Kondensator (Abb.34.11). Im Verdampfer geht das flüssige Ammoniak als Kühlmittel in den Gaszustand über und entzieht dadurch seiner Umgebung Wärme. Im Absorber wird es in Wasser gelöst, wodurch weiteres Ammoniak aus dem Verdampfer angesaugt wird.

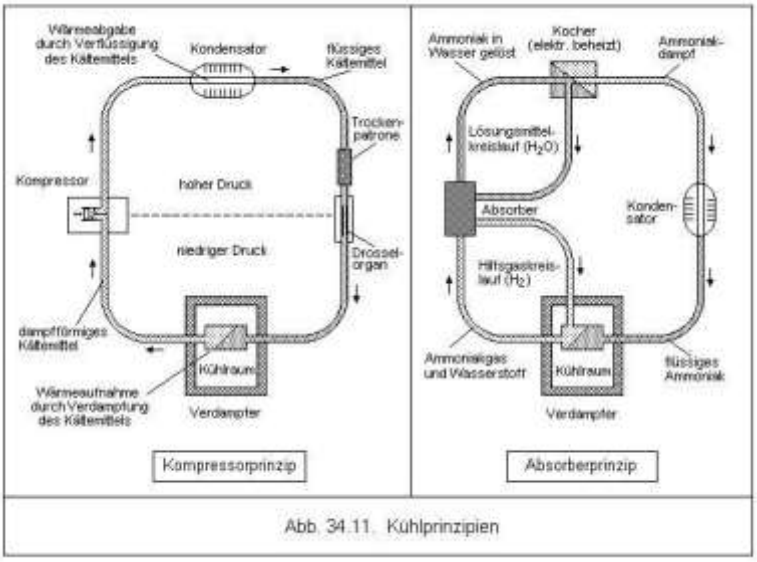


Abb. 34.11. Kühlprinzipien

Die Ammoniak-Wasser-Lösung strömt zum Kocher. Dort wird sie erhitzt und damit das Ammoniak ausgetrieben und unter erhöhtem Druck in den Kondensator geleitet. Das Wasser fließt in einem Nebenkreislauf zum Absorber zurück.

Dem erhitzten Ammoniakgas wird im Kondensator über Kühlrippen Wärme entzogen, und es gelangt wieder verflüssigt in den Verdampfer zurück. Im Verdampfer wird es mit einem Hilfsgas (Wasserstoff) gemischt. Es erniedrigt den Partialdruck des Kältemittels und erzeugt somit die notwendige Druckdifferenz zur erneuten Verdampfung des Ammoniaks. Das Absorberprinzip arbeitet ohne mechanisch bewegte Teile und damit geräuschlos, es hat aber einen 3-mal höheren Energiebedarf als Kompressionsprinzip.

Kühlschränke dienen zur kurzfristigen Aufbewahrung verderblicher Lebensmittel. Die Temperatur im Lagerraum liegt je nach Einstellung zwischen +2 und +8°C. Die meisten Kühlschränke sind heute mit einem Gefrierfach ausgestattet (Ein- bis Vier-Sterne-Fächer). Sie können in unterschiedlicher Bauart als Unterbaukühlschrank, Wandkühlschrank. Standkühlschrank oder als Kühl-Gefrierkombination ausgeführt sein. Das nutzbare Volumen liegt zwischen 60 und 370 Litern. Die Außenmaße der einzelnen Typen sind genormt.

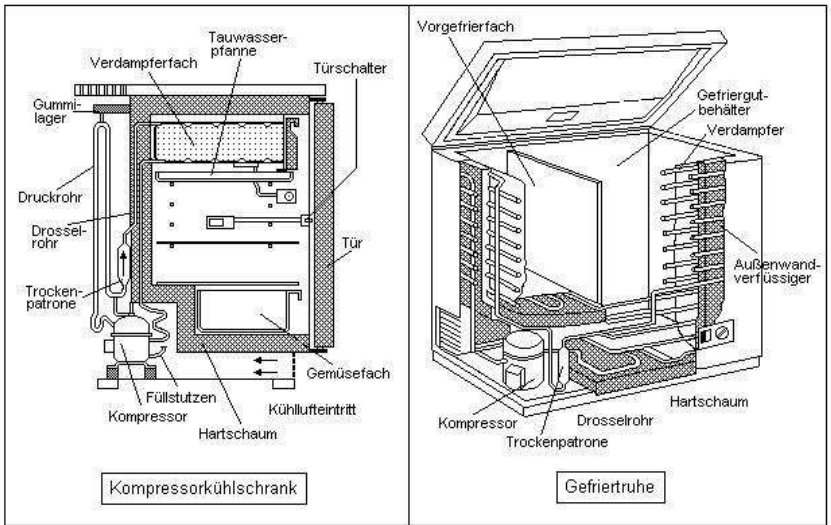


Abb. 34.12. Kühlgeräte

Der *Kompressorkühlschrank* (Abb.34.12) besteht aus einem kastenförmigen Gehäuse, dessen Außenflächen aus lackiertem Stahl bestehen, während die Innenwände aus Thermoplast sind. Die Zwischenräume sind mit Polyurethan-Hartschaum ausgefüllt, der sowohl eine gute Wärmeisolation sichert wie auch die Gehäusestabilität verstärkt. Im Oberteil des Innenraumes ist das Verdampferfach angeordnet. Es ist für die Einlagerung von Tiefkühlkost und Gefriergut geeignet (*- bis ***-Fach). Eine darunter befindliche Pfanne fängt abtropfendes Tauwasser auf. Das Tauwasser wird über eine Auffangrinne nach außen abgeleitet. Ein weiterer Verdampfer befindet sich an der Rückwand des Innenraumes. Immer wenn der Kompressor stillsteht, erwärmt

eine Heizfolie den Verdampfer und taut die sich bildende Eisschicht ab. Das Tauwasser wird über die Tauwasserrinne nach außen in ein Verdunstungsgefäß abgeleitet. Beide Verdampfer sind im gleichen Kältemittelkreislauf in Reihe geschaltet. Das Kompressorkühlsystem ist mittels Gummilagern an der Kühlschrankrückseite angeordnet. Der Verdampferteil des Systems befindet sich innerhalb des Kühlraumes. Alle anderen Elemente (Kompressor, Kondensator, Trockenpatrone, Drosselorgan) liegen hinter der Rückwand. Ein Temperaturfühler sorgt für die Einstellung der vorgewählten Kühlraumtemperatur, indem der zugehörige Regler den Kompressor ein- und ausschaltet.

Der *Absorberkühlschrank* hat im Prinzip einen gleichartigen Aufbau.

Tiefkühlgeräte sind immer mit Kompressorsystemen ausgerüstet. In ihnen müssen Temperaturen von mindestens -18°C erreichbar sein. Sie dienen zur Aufbewahrung bereits eingefrorener Lebensmittel. Ihre Kälteleistung ist allerdings zu klein, als dass sie Lebensmittel schnell genug einfrieren können.

Gefrierschränke bzw. *Gefriertruhen* haben die Aufgabe, Lebensmittel für eine längere Zeitspanne einzufrieren und bei tiefen Temperaturen zu lagern. Dazu muss im Gerät eine Mindesttemperatur von -18°C und kälter gewährleistet sein (****-Sterne-Fach). Sie unterscheiden sich in ihrem prinzipiellen Aufbau nicht von den Kühlschränken. Sie haben eine stärkere Wärmedämmung und ein leistungsfähigeres Kühlaggregat (Kompressorleistung etwa 200 W). Schränke und Truhen unterscheiden sich lediglich durch die Anordnung der Türen bzw. Deckel und damit in der Art ihrer Beschickung (Abb.34.12.).

34.2.4. Wasch- und Geschirrspülmaschinen

Unter der Gruppe der Wasch- und Geschirrspülmaschinen fassen wir zusammen: Waschmaschinen, Wäscheschleudern, Wäschetrockner, Bügelgeräte und Geschirrspülmaschinen.

Waschmaschinen gehören zur Grundausstattung jedes größeren Haushalts. Waschen zählte bis vor kurzer Zeit zu den aufwendigsten und anstrengendsten Arbeiten im Haushalt. Dafür waren sog. Waschtage reserviert. Die Wäsche musste bereits am Vorabend eingeweicht werden. Sie wurde dann gekocht und Stück für Stück auf dem Waschbrett durchgewalkt, schließlich gespült, ausgewrungen und zum Trocknen aufgehängt. Während die ersten Waschmaschinen noch von Hand betrieben wurden, haben sie heute durchweg elektrische Antriebe und Steuerungen.

Waschmaschinen dienen zur Reinigung von Wäsche unter Zugabe von Wasser und Waschmitteln. In ihnen wird die Wäsche eingeweicht, gewaschen, gespült und z. T. auch geschleudert und getrocknet. Je nach der Art des Bewegungssystems (Erzeugung der Relativbewegung zwischen Wäsche und Waschflüssigkeit) werden Bottich-, Rührwerks-, Schneckenrad-, Wirbelrad-, Laugenumlauf- und Trommelwaschmaschinen unterschieden. Die Trommelwachmaschinen haben die anderen Typen weitgehend verdrängt.

Die Waschmaschinen werden in 2 Bauformen angeboten: als Frontlader und Toplader. Die Frontlader werden über eine runde Öffnung von der Vorderseite beschickt. Die Trommel ist deshalb seitlich offen und nur an der Rückseite gelagert. Frontlader können ein- und untergebaut werden. Toplader werden von oben her beschickt, indem der Deckel hochgeklappt wird. Im Trommelmantel befindet sich eine mit Deckel verschließbare Öffnung. Die Trommel ist zweiseitig gelagert. Toplader haben einen geringeren Platzbedarf und sind deshalb für kleinere Wohnungen besonders geeignet.

Die Trommeln der Mittelklassemaschinen nehmen 4,5 bis 5 kg Trockenwäsche auf.

Die Waschmaschinen werden mit Waschprogrammen betrieben, die über einen Programmschalter vorgewählt werden können. Die *Grundstruktur der Waschprogramme* umfasst fünf Arbeitsgänge:

- der Vorwaschgang soll den Hauptteil des Schmutzes aus der Wäsche herauswaschen. Er wird mit kaltem bzw. mäßig warmem Wasser unter Zugabe von Waschmitteln durchgeführt. Die schmutzbeladene Flotte (d.h. die gesamte während eines Arbeitsganges in der Maschine vorhandene Flüssigkeit) wird am Ende des Vorwaschgangs abgepumpt;
- im Hauptwaschgang wird frisches Wasser unter Waschmittelzugabe zugeführt. Die Lauge wird auf die vorgewählte Temperatur erwärmt und emulgiert und dispergiert den restlichen Schmutz. Die Schmutzlauge wird abgepumpt;
- die Spülgänge entfernen die restliche Lauge in mehreren Gängen durch frisches Wasser, der letzte Spülgang kann als Weichspülgang durchgeführt werden;

- der Schleudergang entwässert die Wäsche weitgehend.

Die Waschprogramme unterscheiden sich im Einzelnen durch die Wassertemperaturen, durch die Zahl, die Dauer und die Kombination der einzelnen Waschgänge, durch den Wasser- bzw. Laugenstand, durch die Intensität der Trommelbewegungen, sowie durch die Art und die Dauer des Spülens und des Schleuderns. Als Standard können sechs Grundwaschprogramme angesehen werden:

- für 95 Grad Kochwäsche
- für 60 Grad Buntwäsche
- für 60 Grad Pflegeleichtwäsche
- für 40 Grad Buntwäsche
- für 40 Grad Pflegeleichtwäsche
- für Wolle.

Hinzu kommen weitere Sonderprogramme, insbesondere Sparprogramme und Programme für besonders empfindliche Textilien.

Die *Trommelwaschmaschine* besteht aus einem Laugenbehälter, in dem sich eine zylindrische, gelochte Edelstahltrommel um die horizontale Achse dreht (Abb.34.13.). In die Trommel sind Mitnahmerippen eingearbeitet, die während der Rotation das Waschgut mitnehmen und es aus einer bestimmten Höhe wieder in die Lauge zurückfallen lassen.

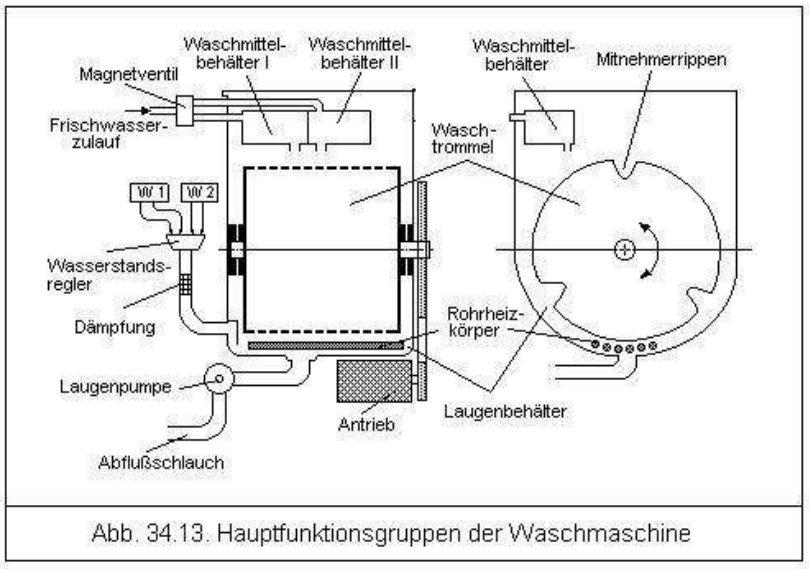


Abb. 34.13. Hauptfunktionsgruppen der Waschmaschine

Der Frischwasserzulauf wird über Magnetventile gesteuert, die das Wasser über den dem aktuellen Waschgang zugehörigen Waschmittelbehälter leiten und das darin enthaltene Waschmittel mit einspülen (Waschmittel für den Vorwaschgang, Waschmittel für den Hauptwaschgang, Weichspüler usw.). Wasserstandsregler schließen die Ventile, wenn der jeweilige Sollstand erreicht ist.

Der Antriebsmotor (Leistung etwa 300 Watt) für die Trommel befindet sich unter dem Laugenbehälter: Über einen Keilriemen treibt er die Trommel an. Ist die Waschmaschine auch für den Schleudervorgang ausgelegt, muss der Motor mindestens zwei Drehzahlen haben. Häufig werden auch Doppelmotoren eingesetzt, die aus einem langsam laufenden Kurzschlussläufermotor (für den Waschgang) und einem auf derselben Welle angeordneten schnell laufenden Universalmotor (für den Schleudergang) bestehen.

Die Erwärmung der Waschlauge geschieht durch einen Rohrheizkörper am Boden des Laugenbehälters (Leistung 3 000 Watt). Temperaturfühler im Laugenbehälter überwachen die Flottetemperatur und schalten die Heizung entsprechend dem Waschprogramm.

Die sog. aktive Einheit der Waschmaschine (Laugenbehälter + Waschtrommel + Antrieb) ist mit Zugfedern und hydraulischen Dämpfern am Waschmaschinengehäuse befestigt.

Wäscheschleudern dienen zur weitgehenden Entwässerung der gewaschenen Textilien. Trotz des Vordringens von Waschvollautomaten haben sie nach wie vor ihren Platz im Haushalt behauptet. Während bei Waschmaschinen die Drehzahl der Schleudertrommel auf 1200 Touren begrenzt ist, erreichen die Einzweck-

schleudern 2800 U/min und damit eine wesentlich höhere Entwässerung der Wäsche. Die Restfeuchte liegt zwischen 65 und 35%. Wird Wäsche für den Wäschetrockner in der Schleuder vorentwässert, so ergibt sich eine wesentliche Energie- und Zeitersparnis.

Die oben offene kegelförmige Edelstahltrommel ist das Arbeitsorgan. Sie nimmt die nasse Wäsche auf. Ihre vertikale Achse ist mit der Welle eines Asynchron-Drehstrommotors verbunden (Leistung 200 bis 500 Watt und 1400 bzw. 2800 U / min). Die hohe Drehzahl der Trommel bewirkt eine bedeutende Zentrifugalbeschleunigung, durch die die Wäsche an die Wandung gedrückt wird. Dabei fließt die Flüssigkeit aus dem Gewebe aus. Wegen der Strömungswiderstände innerhalb des Gewebes muss der Schleudervorgang ausreichend lange durchgeführt werden. Die Entwässerungsdauer wird sowohl von der Drehzahl der Trommel, wie auch von der Art des Gewebes beeinflusst. Das Wasser läuft durch Öffnungen in der Trommelwandungen oder Schlitze am unteren Trommelrand ab. Die Kegelform verhindert ein Auswandern der Wäsche nach oben. Der Boden ist zum besseren Wasserablauf leicht gewölbt. Die Flüssigkeit sammelt sich im Zwischenboden und fließt über den Ablaufstutzen ab. Der die Einfüllöffnung verschließende Deckel ist über einen Winkelhebel und Gestänge mit dem Geräteschalter verbunden, so dass der Motor erst bei geschlossenem Deckel anlaufen kann. Wird der Strom abgeschaltet, bringt eine Bremsvorrichtung die Trommel schnell zum Stillstand. Alle Teilsysteme sind in einem stabilen Gehäuse aus emailliertem Stahlblech untergebracht

Da eine gleichmäßige Verteilung der Wäsche nur im Idealfall erreicht wird, treten wegen der Unwucht eine Reihe dynamischer Probleme auf, die konstruktiv gemeistert werden müssen. Das geschieht vor allen durch die elastische Lagerung der vertikalen Drehachse und des Antriebs in Gummielementen, die zugleich dämpfende Funktion haben. Das Gerät ruht auf Gummifüßen oder einem Gummiring.

Wäschetrockner ergänzen die Palette der für die Wäschereinigung eingesetzten Maschinen. Sie sind allerdings noch wenig verbreitet. Ihr Vorteil besteht darin, dass die Wäsche bei jedem Wetter und ohne Trockenraum getrocknet werden kann, die Trockenzeit nur etwa anderthalb Stunden beträgt und die Wäsche flauschig und weich aus dem Trockner kommt. Dem stehen allerdings ein hoher Energieverbrauch und der zusätzliche Platzbedarf des Trockners gegenüber. Hinzu kommt ein Problem, das mit dem Funktionsprinzip zusammenhängt. Die mit Feuchtigkeit beladene und erhitzte Luft muss abgeführt (d.h. möglichst ins Freie abgeleitet) werden. In der Regel werden die Wäschetrockner von der Vorderseite her beschickt (Frontlader).

Wäschetrockner werden nach zwei Prinzipien betrieben, als Ablufttrockner und als Kondensationstrockner. Das Wirkprinzip des *Ablufttrockners* besteht darin, dass in einer rotierenden Trommel Wäsche ständig umgewälzt wird, während zugleich erhitze Luft durch einen Ventilator durch die Wäsche gedrückt wird. Dazu wird Frischluft aus der Umgebung angesaugt und über ein Heizregister (Leistung ~1800 Watt) geleitet. Die erwärmte Luft nimmt die Feuchtigkeit auf und führt sie über ein Flusensieb nach außen ab. Das setzt gut belüftbare Räume voraus. Die Luft kann aber auch über seitliche Anschlüsse und eine Abluftleitung ins Freie abgeführt werden.

Beim *Kondensationstrockner* durchläuft die Trocknungsluft einen Kreislauf in der Maschine. Die Luft nimmt nach der Erwärmung beim Durchströmen der Trockentrommel Feuchtigkeit von der Wäsche auf. Anschließend wird sie in einem luftgekühlten Kondensator abgekühlt und verliert einen Teil ihrer Feuchtigkeit. Das anfallende Kondensat wird in einem Auffangbehälter gesammelt. Die Luft wird nun erneut erwärmt, und den Trocknungsprozess beginnt von neuem. Der für den Kondensatorbetrieb nötige Kaltluftstrom wird durch einen Ventilator aus der Umgebung angesaugt und wieder in den Raum zurückgeführt. Ist der Auffangbehälter gefüllt, wird der Prozess automatisch unterbrochen. Er muss deshalb von Zeit zu Zeit von Hand entleert werden. Es gibt auch Konstruktionen, bei denen das Kondenswasser durch eine kleine Pumpe in ein zweites Sammelgefäß im oberen Bereich der Maschine gepumpt wird.

Ein anderer Typ des Kondensationstrockners besitzt eine Wasserkühlung. Der Kondensator besteht hier aus einem System mit mehreren horizontalen Blechen, die ständig von Leitungswasser berieselt werden. Die feuchte Luft wird im Gegenstromprinzip hindurchgeführt, dabei abgekühlt und verliert Kondenswasser. Das Kondensat mischt sich mit dem Kühlwasser und wird ständig in den Wasserablauf gepumpt. Dieses Kühlprinzip erfordert neben dem elektrischen Anschluss zusätzlich einen Wasseranschluss und einen Wasserablauf. Für eine Trommelfüllung (Restfeuchte ~50%) beträgt bei einer Trocknungsdauer von 100 min der Energiebedarf ~4 kWh und der Wasserverbrauch ~ 90 l.

Alle Trommeltrocknertypen besitzen umfangreiche elektronische Steuerungsprogramme, mit denen die Lufttemperatur begrenzt, die Trocknungsdauer voreingestellt und der Trocknungsgrad (schranktrockene, bügeltrockene oder mangeltrockene Wäsche) bestimmt werden kann. Die Steuerung erfolgt zeit- oder feuchteabhängig. Bei letzterer bestimmt ein Feuchtefühler den Zeitpunkt der Abschaltung des Gerätes. Bei den Abluft-

trockner werden vorwiegend Zeitsteuerungen, bei den Umlufttrocknern Feuchtigkeitssteuerungen eingesetzt (Abb.34.14.).

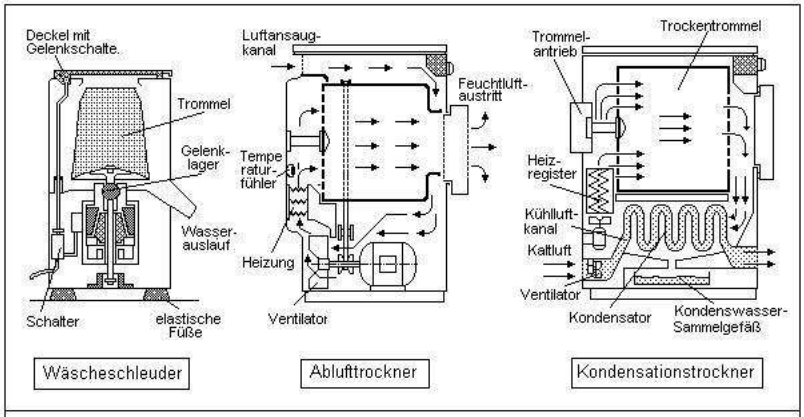


Abb. 34.14. Wäschetrockner

Bügeleisen haben die Aufgabe, Textilien zu glätten. Dazu wird die erhitzte Bügelsohle auf das zu glättende Material gedrückt und darüber geführt. Die Wärme überträgt sich auf die Textilien und verdampft die darin enthaltene Feuchtigkeit. Gleichzeitig wird die Faser gedehnt und geglättet. Bügeleisen werden heute ausnahmslos als Reglerbügeleisen gestaltet.

Die wesentlichen Funktionselemente des *Reglerbügeleisens* sind die Bügelsohle, der Heizleiter, der Temperaturregler und die Abdeckungshaube mit Griff. Die Bügelsohle ist das eigentliche Arbeitsorgan. Sie besteht aus poliertem Aluminium oder Stahl. Ihre Form und die Abschrägung der Seitenflächen im Bereich der Sohlenspitze ermöglicht es, auch zulaufende Wäschezonen und Bereiche unter Knöpfen zu erreichen. Der in die Sohle eingelassene oder aufgelötete Rohrheizkörper von 1 000 bis 1 200 W Leistung bildet das Antriebsorgan. Die innige Verbindung mit der Sohle gewährleistet eine gute Wärmeübertragung. Auf die Sohle ist ein Bimetallregler aufgesetzt. Mittels eines Temperaturwählers lässt sich die gewünschte Arbeitstemperatur (in Abhängigkeit von dem zu bügelnden Textilmaterial) voreinstellen. Erreicht die Sohle diese Temperatur, unterbricht der Bimetallregler den Stromfluss. Nach Absinken der Temperatur wird der Stromkreis wieder geschlossen. Der Regler ist das Steuerungsorgan des Systems. Die Bügelsohle mit Heizleitung und Regler werden von einer verchromten Stahlblechhaube abgedeckt. Mit ihr verbunden ist ein temperaturbeständiger Duroplastgriff. Die Netzzuleitung wird über einen Knickschutz durch den hohlen Griff geführt und dort durch Zugentlastungsklemme und Klemmbrett gesichert.

Dampfbügeleisen sind Reglerbügeleisen, die zusätzlich mit einem Wassertank und an der Bügelsohle mit Dampfaustrittsöffnungen ausgestattet sind. Dabei werden zwei unterschiedliche Prinzipien angewandt. Beim Tropfprinzip gelangt Wasser über ein handbetätigtes Ventil aus dem Tank in die Dampfkammer, wo es verdampft und aus den Dampfaustrittsöffnungen entweicht. Zur Vermeidung von Verstopfungen der feinen Kanäle muss bei diesem Prinzip entkalktes Wasser verwendet werden (Abb.34.15.).

Beim Boilerprinzip ist der Wassertank direkt auf der Bügelsohle aufgesetzt, wodurch das Wasser im Tank aufgeheizt und verdampft wird. Der Einfüllverschluss muss deshalb druckdicht schließen. Bei diesem Prinzip kann einfaches Leitungswasser verwendet werden. Der Wassertank muss allerdings, ähnlich wie bei Kaffeemaschinen, von Zeit zu Zeit mittels entsprechender Lösungsmittel von Kesselstein befreit werden. Nachteilig ist auch, dass jeweils der gesamte Tankinhalt erwärmt und beim Übergang vom Dampf- zum Trockenbügeln der Wassertank geleert (bzw. abgenommen) werden muss.

Für größere Wäschestücke stehen *Bügelmaschinen* in Form von Tisch- und Standgeräten zur Verfügung. Sie arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie die Bügeleisen, es wird aber das Bügelgut bewegt, während die Bügelfläche stationär ist. Auf eine rotierende Bügelwalze mit durchschnittlicher Breite von 85 cm wird das zu glättende Textilgut von einem Bügeltisch aus aufgelegt. Die Funktion der heißen Bügelsohle übernimmt die halbschalenförmige Bügelwange. Sie ist mit 2 Heizspiralen von jeweils 1000 W Leistung und einem Temperaturregler ausgestattet und wird mittels eines Hebelmechanismus (meist durch Fußschalter) an die Bügelwalze angedrückt. Der Antrieb der Bügelwalze erfolgt über einen Kurzschlussläufermotor (etwa 150 W) und einem im Walzeninneren angeordneten Untersetzungsgetriebe.

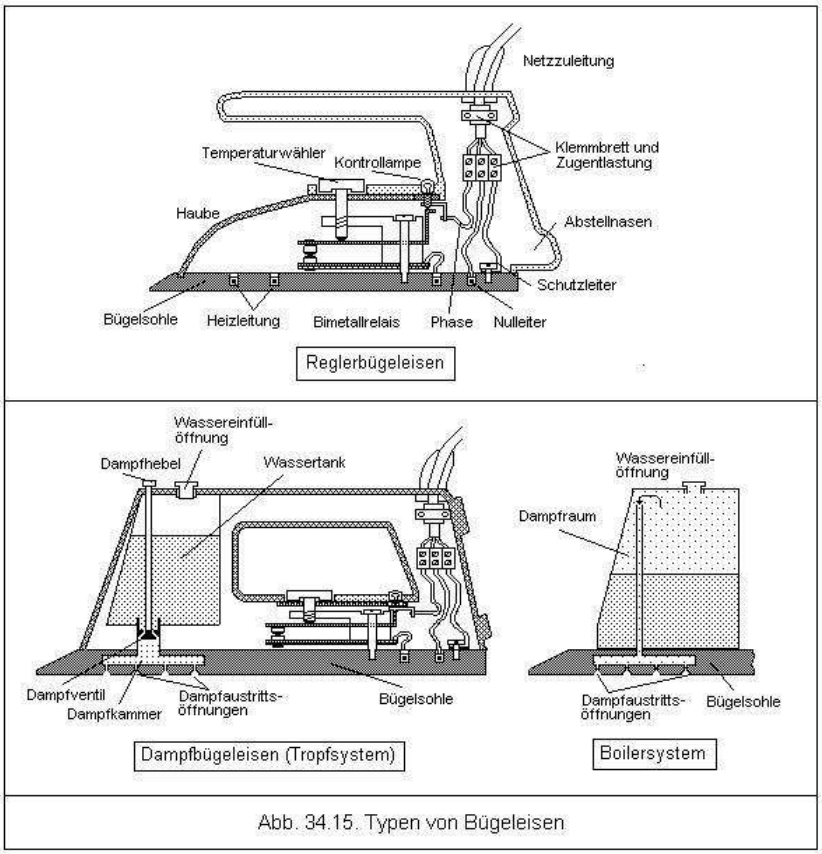


Abb. 34.15. Typen von Bügeleisen

Zu den erst in den letzten Jahren in den Haushalt eingeführten und sich insbesondere in größeren Haushalten schnell ausbreitenden technischen Systemen gehören die **Geschirrspülmaschinen**. Sie haben die Aufgabe, Eß- und Kochgeschirr, Bestecke und einfache Küchengeräte zu reinigen. Sie bestehen aus einem verschließbaren Spülraum, der zwei Geschirrkörbe aus plastummantelten Stahldraht aufnehmen kann. In den Oberkorb sind Einrichtungen eingebaut, die Tassen, Schüsseln u. ä. verrutschfest aufnehmen. Der Unterkorb ist mit Haltevorrichtungen für Teller unterschiedlicher Größe versehen, außerdem nimmt er die Besteckkörbe auf. Die Reinigung geschieht durch düsenbesetzte Sprüharme jeweils unter den Körben. Die Düsen richten die Spülflüssigkeit unter Druck gegen das Geschirr. Die äußeren Düsen sind so angeordnet, dass sie durch Rückstoß die Rotation der Spülarme bewirken. Das abtropfende Spülwasser sammelt sich am Boden des Spülgehäuses. Ein herausnehmbares Ablaugesieb hält grobe Verunreinigungen zurück, bevor die Lauge wieder von der Umwälzpumpe in die Sprüharme gedrückt wird. Eine Rohrheizung (Leistung 2500 - 3000 Watt) am Behälterboden ermöglicht die Aufheizung der Lauge. Eine weitere Heizung (750 Watt) dient der Lufterwärmung während des Trockenganges. Über eine Laugenpumpe, der ein Feinsieb vorgeschaltet ist, wird nach jedem Spülgang die verschmutzte Lauge abgeführt (Abb.34.16.).

In die Maschine ist ein Ionenaustauscher integriert, der das aus dem Versorgungsnetz kommende Wasser weitgehend enthärtet. Er besteht aus einem Behälter mit dem Ionenaustauscher und einem Salzbehälter (Kochsalz). Das in die Maschine eingeleitete Frischwasser durchläuft den Behälter mit dem Ionenaustauscher, der die Calcium- und Magnesiumionen bindet. Die Regenerierung des mit Härtebildnern gesättigten Ionenaustauschers geschieht automatisch währen des Trocknungsganges. Dabei wird Frischwasser durch den Salzbehälter und von dort aus durch den Ionenaustauscher geleitet. Die Natriumionen des Kochsalzes verdrängen die Ca^{++}- und Mg^{++}-Ionen und regenerieren so das Enthärtungsmittel.

Ähnlich wie bei der Waschmaschine verläuft die Reinigung in mehreren Spülgängen: Vorspülen, Reinigen, Zwischenspülen, Klarspülen und Trocknen. Die reinigende Wirkung des Spülwassers wird in den einzelnen Spülgängen durch Reinigerzusätze (Tenside, Dispergierungsmittel, Oxidationsmittel) und Klarspüler unterstützt. Ein zentrales Schaltwerk steuert den Gesamtprozess. Dazu gehören das Zu- und Abschalten der Pumpen, der Heizung und der Ventile für die Zugabe des Reinigers und des Klarspülers und die Regulierung des Wasserstandes. Die elektronische Steuerung ermöglicht mindestens 3 Grundprogramme für empfindliches Spülgut, für normal und für stark verschmutztes Geschirr. Darüber hinaus sind weitere Spezialprogramme

abrufbar (Sparprogramme). Der Aufwand pro Spülprozess beträgt etwa 25 bis 30 Liter Wasser und 1,5 bis 2 kW Elektroenergie.

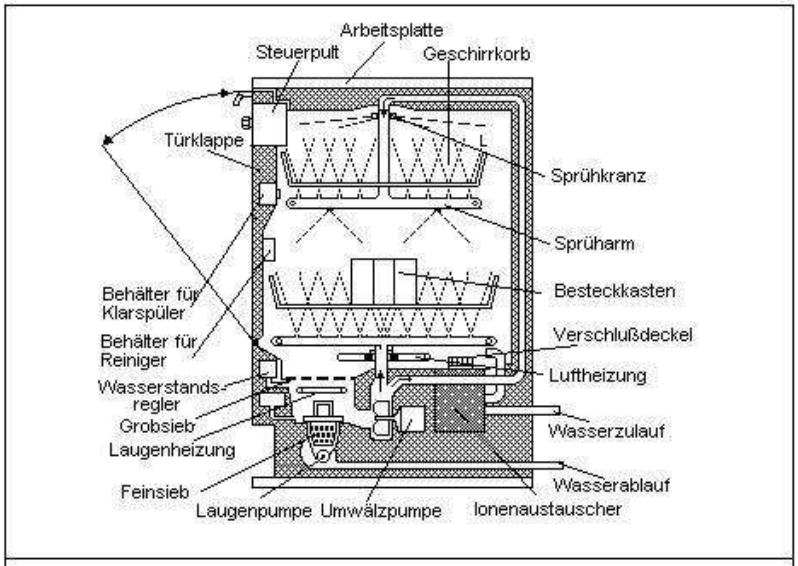


Abb. 34.16. Geschirrspülmaschine

34.2.5. Reinigungsgeräte

Auch für die Reinigung der Wohnung steht heute eine Vielzahl von technischen Mitteln zur Verfügung. An erster Stelle stehen dabei **Staubsauger**, mit denen 97% der deutschen Haushalte ausgerüstet sind. Für die unterschiedlichen Erfordernisse existieren zahlreiche Bauformen: Handstaubsauger, Bodenstaubsauger, Bürstensauger, Kleinsauger und Allzwecksauger (Abb.34.17.).

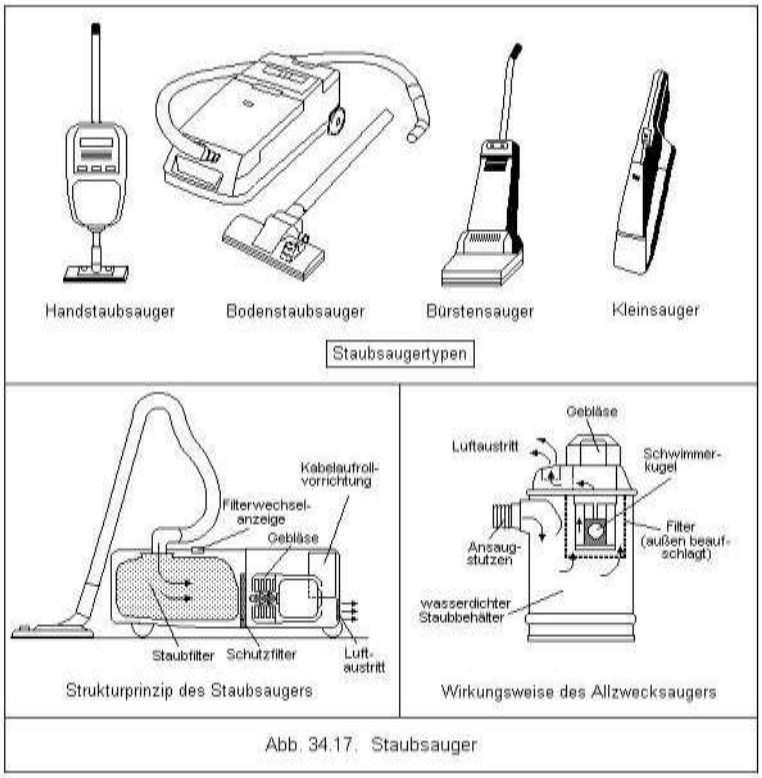


Abb. 34.17. Staubsauger

Handstaubsauger haben ein kurzes Saugrohr mit Düse. Das Gehäuse mit Staubbeutel, Ventilator und Motor befindet sich direkt am Griffrohr. Ihr Einsatzfeld sind Wohnräume mit beengten Flächen. Für das Saugen unter Möbeln sind sie durch ihre sperrige Form wenig geeignet.

Bodenstaubsauger sind der Standardtyp und können für die Reinigung textiler und nichttextiler Böden sowie für das Absaugen von Polstermöbeln, Matratzen und Betten eingesetzt werden Sie bestehen aus einem auf Rollen oder Kufen leicht beweglichen Grundgerät. Die Düse ist über ein langes Saugrohr und Schlauch mit dem Grundgerät verbunden. Sie sind besonderes für Räume mit größeren Flächen geeignet, weil die Düsen breiter sind als bei Handgeräten und das Grundgerät nicht immer mitbewegt werden muss.

Der *Bürstensauger* eignet sich besonders für größere Teppichflächen. Er zeichnet sich durch eine spezielle Düsenkonstruktion aus. In ihr rotiert eine Bürstenwalze, die den Schmutz von Teppichflächen ablöst, bevor er vom Luftstrom abgesaugt wird.

Kleinsauger sind leichte Handgeräte. Die Düse ist konstruktiv mit dem Gehäuse verbunden. Sie dienen als Autostaubsauger oder zum Absaugen von Essplätzen. Wegen ihrer im Allgemeinen kurzen Saugdauer sind sie oft als Akkugeräte gebaut.

Allzwecksauger sind leistungsfähige Geräte, mit denen auch grober Schmutz (wie Späne, Sägemehl, Asche) und oft sogar Flüssigkeiten aufgenommen werden können. Sie werden für die Großreinigung eingesetzt und können auch außerhalb der Wohnräume für Reinigungsarbeiten auf der Terrasse, in Garagen und Werkstätten genutzt werden.

Die Staubsauger weisen alle ein gemeinsames Bauprinzip auf: in einem stabilen Metall- oder Plastgehäuse sind eine Staubkammer mit Filter und ein starkes Gebläse untergebracht. Ein Saugrohr mit verschiedenen Düsen vervollständigt die Ausrüstung. Als Filter sind zweilagige Papierfilter oder spezielle Feinstfilter (Mikrofilter) im Gebrauch. Das Arbeitsprinzip des Staubsaugers beruht auf der Erzeugung eines starken Unterdrucks im Gehäuse. Das Gebläse drückt über einen Auslasskanal Luft aus dem Gehäuse. Der entstehende Unterdruck saugt Luft durch das Saugrohr an und reißt dabei die im Bereich der Saugdüse befindlichen Staubteilchen mit. Der Luftstrom wird durch einen Filterbeutel geführt, wo der Staub abgeschieden wird. Das Gebläse kann als ein- oder mehrstufiges System gestaltet sein. Wegen des geringeren Platzbedarfs werden einstufige Gebläse bei Handstaubsauger eingesetzt. Mehrstufige Gebläse haben eine hohe Leistung. Die elektrische Leistung der Gebläsemotoren liegt je nach dem Staubsaugertyp zwischen 150 und 1200 Watt. Motoren hoher Leistung sind mit einem Motorschutzschalter ausgerüstet, um eine Überhitzung bei vollem Staubfilter oder Verstopfung des Ansaugkanals zu meiden.

Die elektrische Leistung der Gebläsemotoren liegt je nach dem Staubsaugertyp zwischen 150 und 1500 Watt. Motoren hoher Leistung sind mit einem Motorschutzschalter ausgerüstet, um eine Überhitzung bei vollem Staubfilter oder Verstopfung des Ansaugkanals zu meiden.

Bei Allzwecksaugern, die auch Flüssigkeiten aufnehmen können, wird der Luftstrom zunächst durch den Ansaugstutzen in den wasserdichten Staubbehälter geführt. Ein sog. außenbeaufschlagtes Filter hält die Staubteilchen an der Außenseite fest und lässt sie in den Staubbehälter zurückfallen. Um den Flüssigkeitsspiegel nicht zu hoch ansteigen zu lassen, unterbricht eine Schwimmerkugel den Gebläseluftstrom (Abb.34.17.).

Zum technischen Entwicklungsstand der Staubsauger gehört heute eine Saugkraftregelung. Sie lässt sich durch einen Stellring erreichen, der die Zufuhr von Nebenluft reguliert und damit die Saugleistung verändert, oder durch die elektronische Veränderung der Motordrehzahl. Die technische Ausstattung der Bodenstaubsauger umfasst weiterhin Filterwechselanzeige, automatische Kabelaufroll-Vorrichtung und integrierte Zubehörfächer für Polsterdüse, Möbel- und Fugenpinsel.

34.2.6. Lüfter

Ventilatoren haben die Aufgabe, Räume zu belüften oder die Luft in Räumen umzuwälzen. Belüftungsventilatoren werden im Allgemeinen fest eingebaut

Für den Haushalt werden als besondere Anforderungen an ihre Konstruktion gestellt: kleine Abmessungen bei großer Luftleistung, geringer Geräuschpegel und hoher Wirkungsgrad. Nach der Art der Luftstromerzeugung werden Axialventilatoren und Radialventilatoren unterschieden. *Axialventilatoren* fördern relativ große Luftmengen bei geringen Druckdifferenzen. Sind haben allerdings vergleichsweise laut. Wegen der axialen Strömungsrichtung sind sie gut in Lüftungskanäle einzubauen. Bei *Radialventilatoren* werden höhere Drücke erreicht, sie sind geräuschärmer und haben bei gleicher Luftleistung kleinere Abmessungen. Durch Luftleitbleche kann der Luftstrom auch axial gelenkt werden. Da der Motor im Allgemeinen außerhalb des Luft-

stromes angeordnet ist, kann dieser Ventilatortyp gut bei hohen Lufttemperaturen und aggressiven Medien eingesetzt werden.

Moderne Küchen sind mit **Dunstabzugshauben** ausgestattet. Sie sind spezielle Entlüftungsanlagen für Wohnküchen. Ihre Funktion besteht darin, die beim Kochen und Braten entstehenden Fettdünste und unerwünschten Gerüche zu entsorgen. Dazu sind sie direkt über dem Herd oder der Kochfläche angeordnet. Bei der Arbeitsweise sind zwei Prinzipien zu unterscheiden: der Abluft- und der Umluftbetrieb. Beim *Abluftbetrieb* wird durch Abklappen des Wrasenschirmes eine drehbare Klappe im Anschlussstutzen geöffnet und damit der ungehinderte Luftstrom freigegeben. Im geschlossenen Zustand wird durch einen kleinen verbleibenden Spalt nur noch ein Grundvolumenstrom abgesaugt. Beim *Umluftbetrieb* wird die Küchenluft durch einen Ventilator angesaugt, über ein Fettfilter geleitet und die geruchsbelastete Luft durch einen Abzugskanal ins Freie geblasen. Die Luft wird nach dem Fettfilter noch durch ein Aktivkohlefilter gesaugt, das die Geruchsstoffe bindet. Die so gereinigte Luft gelangt zurück in die Küche. Die zu fördernde Luftmenge liegt bei 200 bis 300 m^3 / h. Die Fettfilter bestehen aus Vlies oder Metallgittern. Sie müssen von Zeit zu Zeit gewechselt bzw. gereinigt werden. Aktivkohlefilter sollen vierteljährlich erneuert werden. Die Wirksamkeit der Umlufthauben ist begrenzt, insbesondere können sie keinen Wasserdampf entfernen. Meist habe die Abzugshauben zusätzlich eine Beleuchtung für den Arbeitsplatz am Herd (Abb.34.18.).

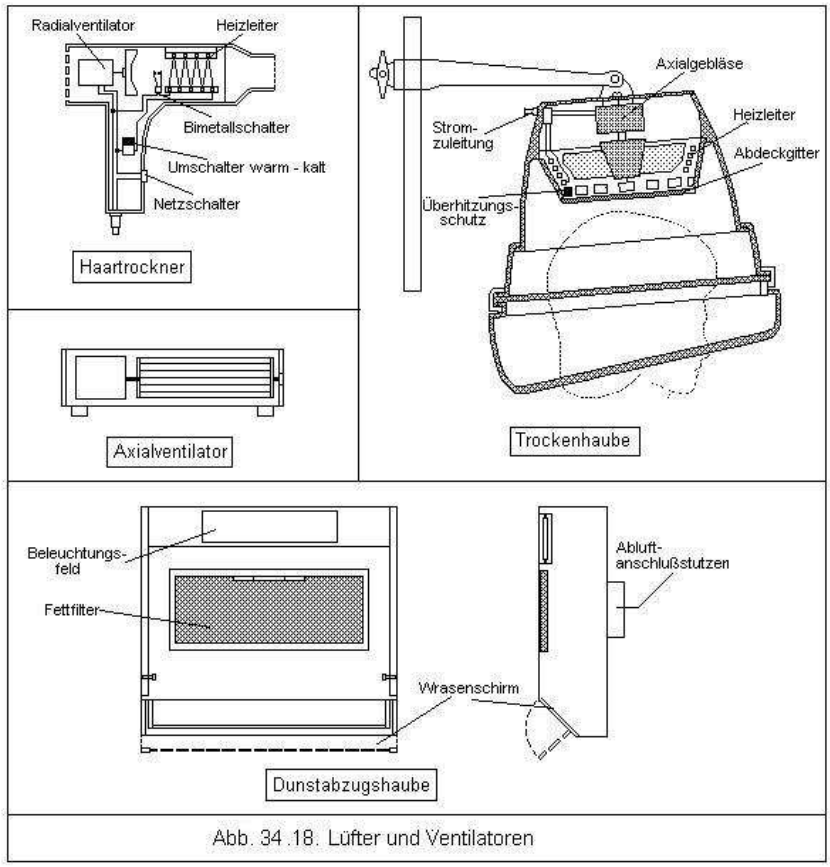


Abb. 34.18. Lüfter und Ventilatoren

Haartrockner sind im Prinzip Heizlüfter (s. Abschn. 16.2.7.), deren Konstruktion sie für das Trocknen von nassem und feuchtem Haar durch Warmluft geeignet macht. Ihre wesentlichen Funktionsgruppen sind ein Gebläse und ein Heizleiterregister. Beide sind in einem Gehäuse untergebracht, das in eine Düse mündet. Die Form des Gehäuses kann sehr verschieden sein (z.B. zylindrisch oder pistolenförmig). Als Gebläse kommen sowohl Radial- wie auch Axialgebläse zum Einsatz. Der Antrieb ist meist ein Universalmotor. Spaltpolmotore werden wegen ihrer hohen Laufruhe und ihrer Wartungsfreiheit ebenfalls eingesetzt. Der elektrische Betrieb wird von einem Einschalter, der das Gebläse in Gang setzt, und einem Umschalter für das Ein- und Ausschalten der Heizung. Der Umschalter gibt nur bei laufendem Gebläse den Heizstrom frei. Das Heizregister (Leistung 600 bis 1200 Watt) kann über einen Stufenschalter in zwei Heizstufen betrieben werden. Als Überhitzungsschutz ist ein Bimetallschalter am Heizregister angeordnet. Der Haartrockner kann als Kalt- oder Warmluftgebläse eingesetzt werden.

Eine entwickelte Form des Haartrockners ist die *Trockenhaube*. In die halbkugelförmige, an einem Stativ befestigte Trockenhaube ist im oberen Teil ein Axialgebläse mit Heizleitern integriert. Die Luft wird von oben angesaugt und über Öffnungen im Abdeckgitter in den Haubeninnenraum gefördert. Das Abdeckgitter soll die Kopfhaare und die Kopfhaut vor Berührung mit dem Gebläse und den Heizleitern schützen. Der untere Teil der Haube ist als Klarsichtring ausgebildet. Die Heizleistung ist in mehreren Stufen zuschaltbar. Ein Temperaturfühler am Luftaustritt des Abdeckgitters sorgt für die Unterbrechung des Heizstromkreises, wen die Lufttemperatur 50°C überschreitet.

34.2.7. Elektrokleinheizer

Für die Temperierung der Wohnräume kommen neben der hier nicht zu behandelnden fest installierten Heizungstechnik (Ölofenheizung, Etagenheizung, Fußbodenheizung, usw.) auch verschiedene transportable und vorwiegend für die temporäre Beheizung genutzte Kleingeräte zum Einsatz. Im Wesentlichen handelt es sich um Konvektorheizgeräte, Heizlüfter und Heizstrahler. Es gibt Geräte in transportabler und solche in ortsfester Ausführung (mit Wandhalterung).

Konvektorheizgeräte ohne Lüfter bestehen aus einem flach gebauten emaillierten Metallgehäuse, in das Heizspiralen oder Heizstäbe eingebaut sind. Auf Grund der Kaminwirkung bewirken sie einen Luftstrom. Sie arbeiten geräuschlos, weil sie keine mechanisch bewegten Teile haben. Sie sollen möglichst tief an der Wand montiert werden, um auch die kalte Bodenluft in den zu erwärmenden Luftstrom einzubeziehen. Haupteinsatzgebiete der Konvektorheizgeräte ohne Lüfter sind Baderäume, Toiletten und Dielen. Die elektrische Leistung beträgt bis zu 2 kW.

Auf dem gleichen Prinzip beruhen die *Rohrheizkörper* . Sie sind sehr einfach gebaut und meist fest installiert. Das ummantelte Heizrohr ist mit zahlreichen Lamellen versehen, die die erzeugte Wärme auf die Umgebungsluft übertragen. Sie dienen hauptsächlich als Direktheizungen in Arbeitsräumen, Garagen und Lagerräumen.

Heizlüfter sind Konvektionsheizgeräte mit Gebläse. Sie haben die Aufgabe, die Raumluft umzuwälzen und gleichzeitig zu erwärmen. Sie sind eine Kombination eines Gebläses mit einer elektrischen Heizung. Das Gebläse saugt die Umgebungsluft an und bläst sie über das stromdurchflossene Heizregister. Die Luft wird dadurch schnell erwärmt und breitet sich im Raum aus. Das Gebläse kann als Radial- oder Tangentialgebläse gestaltet sein. Heizlüfter werden bevorzugt als bewegliche Geräte eingesetzt.

Den prinzipiellen Aufbau eines solchen Heizlüfters mit Axialgebläse zeigt Abb.34.19. Er besteht aus einem stabilen emaillierten Stahlblechgehäuse. Die Gehäuserückwand ist durchbrochen, um den Luftstrom ansaugen zu können, ebenso die Vorderwand, durch die die erhitzte Luft ausgestoßen wird. Das Gebläse saugt die Luft an, die durch Leitbleche an der Heizung vorbeigeführt wird. Die Heizleistung und die Drehzahl des Ventilators kann durch einen Stufenschalter reguliert werden. Oft ist ein Temperaturwähler mit Überhitzungsschutz eingebaut.

Heizstrahler bestehen im allgemeine aus einem Heizstab und einem dahinter liegenden Reflektor. Die vom Heizstab abgegebene Wärmestrahlung wird durch die parabolen Spiegelflächen des Reflektors gerichtet abgestrahlt. Sie sind für Einsatzgebiete geeignet, in denen es auf kurzzeitige Erwärmung des Raumes oder eines begrenzten Raumbereiches ankommt (Badezimmer, Balkonheizungen). Ihre Vorteile liegen darüber hinaus in der leichten Regulierbarkeit, geringen Wartung und fehlender Staubentwicklung.

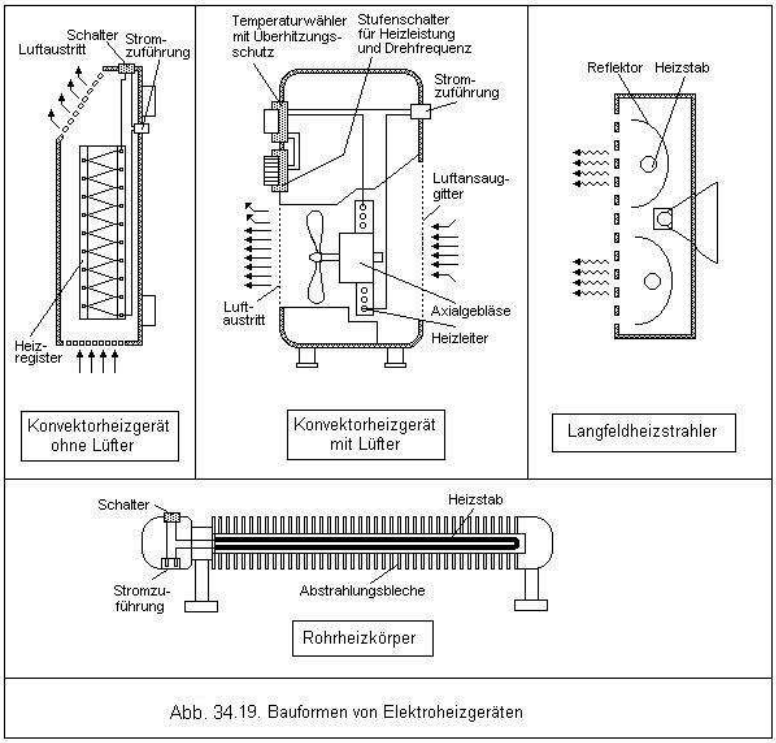


Abb. 34.19. Bauformen von Elektroheizgeräten

34.3. Organstruktur

Die Organstruktur der haushaltstechnischen Systeme weist gegenüber den in der Produktion anzutreffenden Geräten und Maschinen keine prinzipiellen Besonderheiten auf. Sie sind entsprechend ihrem Einsatzbereich und dem Leistungsumfang im Allgemeinen wesentlich kleiner gestaltet, die Antriebe weisen geringere Leistungsparameter auf. Bei den mechanischen Küchengeräten ist deutlich der Trend zu Universalmaschinen erkennbar. Sie sind durch einen Antriebsblock mit Getriebe und vielfältigen Anschlussmöglichkeiten für unterschiedliche Arbeitsorgane gekennzeichnet.

Die *Arbeitsorgane* sind den zu verarbeitenden Gütern hinsichtlich Art, Größe und Menge angepasst. Wichtige Gruppen sind Schneidorgane, Reiborgane und Mahlorgane.

Die Universalmaschinen und Großgeräte besitzen im allgemeinen *Steuerungsorgane*. Die eingesetzten Regelungs- und Steuerungselemente reduzieren sich auf eine überschaubare Zahl typischer Formen, wobei nach wie vor, trotz des Vordringens elektronischer Steuerungseinrichtungen, mechanisch arbeitende Systeme in großem Umfang anzutreffen sind. Regler sind meist als Zweipunktregler ausgebildet, die nach Erreichen eines Sollwertes den Strom abschalten und nach Unterschreiten wieder einschalten. Die Haupttypen sind Temperaturregler bzw. Temperaturbegrenzer, Druckdifferenzschalter, Niveauregler und Magnetventile. Ihre prinzipieller Aufbau und ihre Wirkungsweise sind aus Abb.34.20. zu entnehmen.

Als *Antriebe* sind ausschließlich Elektromotoren im Einsatz. Unter den verschiedenen Typen finden vor allem Universalmotore, Drehstrom-Asynchronmotoren, Wechselstrom-Asynchronmotoren und Spaltmotoren Verwendung.

Universalmotoren haben in ihrer Leistungsklasse einen relativ kleinen Läuferdurchmesser, was sie vor allem für tragbare Küchengeräte interessant macht. Ein gewisser Nachteil ist der am den Kollektorbürsten auftretende Verschleiß, der regelmäßige Wartung nötig macht, und die durch den ständigen Polwechsel am Kollektor auftretenden Abreißfunken. Sie erfordern Entstörungsmaßnahmen, um Störungen des Rundfunk- und Fernsehempfangs zu vermeiden.

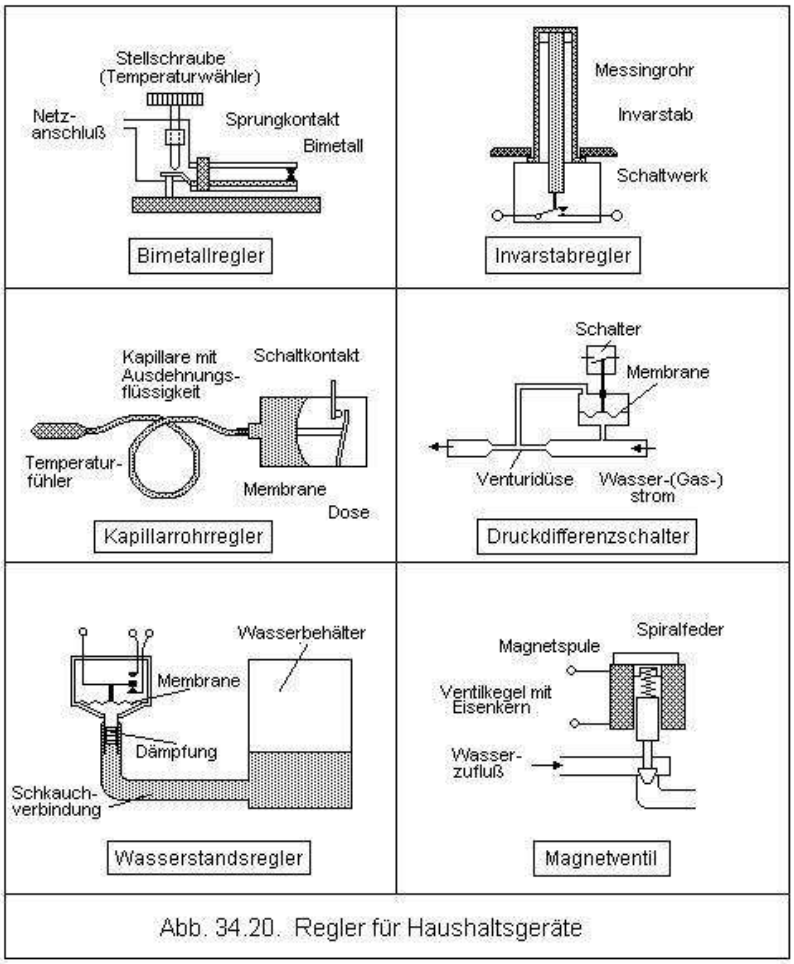


Abb. 34.20. Regler für Haushaltsgeräte

Drehstrom-Asynchronmotoren sind wegen ihrem einfachen robusten Bauweise, ihrer Wartungsfreiheit wegen geringen Verschleißes und ihrem leisen Lauf auch in der Küchentechnik verbreitet eingesetzt. Eingeschränkt ist ihre Verwendung durch die maximale Drehfrequenz von 50 Hz und ihr relativ hoher Leistungsgewicht.

Wechselstrom-Asynchronmotoren mit Leistungen bis zu 1,5 kW sind die typischen Antriebe für Kühlgeräte, Waschmaschinen, Wäscheschleudern und Geschirrspüler. Sie sind in ihrem konstruktiven Aufbau und in ihrem Betriebsverhalten weitgehend mit den Drehstrommotoren identisch. Sie werden mit Wechselstrom betrieben und bedürfen Schaltungen, die einen sicheren Anlaufvorgang sichern (Anlaufentlastung, Schutzschalter).

Spaltmotoren sind eine konstruktive Abwandlung der Wechselstrom-Asynchronmotoren. Bei ihnen ist die Hilfsspule als Kurzschlussring ausgebildet. Sie besitzen zwar einen schlechten Wirkungsgrad ($\eta_{max} \leq 0{,}4$), haben aber einen einfachen und robusten Aufbau. Ihr Haupteinsatzfeld sind mechanische Küchengeräte (Reiben, Mühlen, Schneidgeräte), Gebläse und kleine Pumpen.

34.4. Ausgewählte Beispiele

34.4.1. Haushaltsmixer

Für die Zerkleinerung von (nicht zu harten) Feststoffen sowie das Mischen und Verrühren von festen und breiigen Stoffen mit Flüssigkeiten wird der Mixer eingesetzt. So lassen sich Küchenkräuter, Zwiebeln und Kartoffelstückchen zur weiteren Verarbeitung zerkleinern. Eier, Pflanzenöl und Würzstoffe zur Mayonnaise verarbeiten oder auch wässrige Gemische mit Mehl oder anderen nicht wasserlöslichen pulverigen Lebensmitteln mischen. Fliehkraft und Pumpwirkung lassen das Mixgut im Becher umlaufen, so dass es den Messerbereich wiederholt durchläuft. Eine Nachfüllöffnung im Deckel ist durch einen Stopfen verschließbar.

Das Arbeitsorgan ist ein rotierendes mehrflügeliges Messer. Die einzelnen Blätter der vier Flügel sind so angeordnet, dass jede Schneide eine andere Kegelfläche überstreicht. Das Messer ist im Bechersockel durch

eine Steckkupplung mit der Antriebswelle des Universalmotors verbunden. Der auf den Bechersockel aufschraubbare Mixbecher nimmt das Mixgut auf und übt damit die Funktion des Positionierungsorgans aus. Er ist im Allgemeinen aus durchsichtigem Glas und wird durch einen Deckel verschlossen, damit das Gut nicht herausgeschleudert werden kann (Abb. 34.21.).

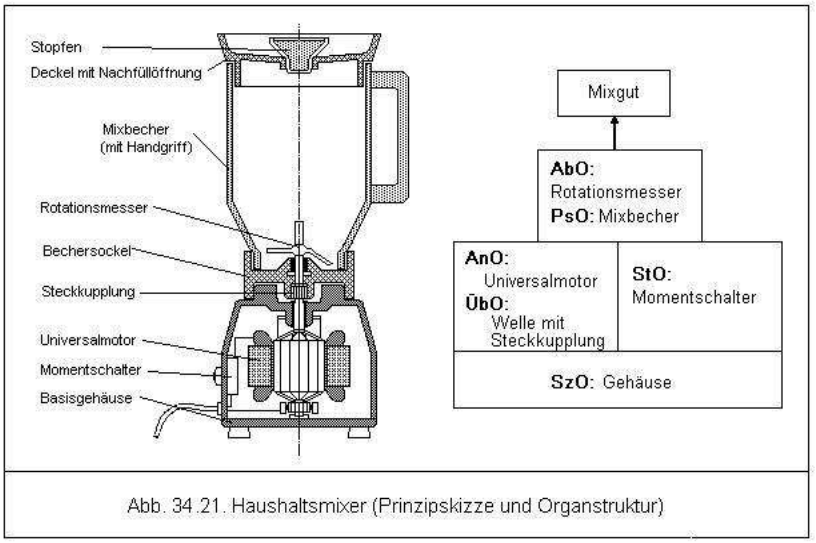


Abb. 34.21. Haushaltsmixer (Prinzipskizze und Organstruktur)

34.4.2. Gasdurchlauferhitzer

Neben den Elektrowarmwassergeräten sind in vielen Haushalten auch Gasdurchlauferhitzer installiert. Sie haben die Aufgabe, Wasser während der Entnahme zu erhitzen. Dazu erhitzt ein Gasbrenner mit mehreren nebeneinander liegenden Düsen (AnO) ein Rohrsystem (AbO). Das Rohrsystem ist in einem Heizschacht (PsO) untergebracht. Im unteren Teil sind die Rohre mit der Wand des Heizschachtes verlötet, im oberen Teil sind Lamellen als Wärmeleitbleche (ÜbO) aufgeschrumpft.

Das Rohrsystem ist ständig mit unter dem Druck des Versorgungsnetzes stehendem Wasser gefüllt. Wird das Warmwasserentnahmeventil geöffnet, entsteht eine Strömung, die einen Druckdifferenzschalter (StO) betätigt, und die Gaszufuhr öffnet. Eine ständig brennende Zündflamme entzündet das Gas an den Brennerdüsen. Das durch den Heizschacht aufsteigende heiße Verbrennungsgas überträgt einen Teil seiner Energie auf das das Rohrsystem durchströmende Wasser. Ein erhöhter Wasserstrom vergrößert auch die Öffnung der Gaszufuhr und damit die Heizleistung am Brenner. Durch einen Temperaturwähler kann die Wassertemperatur auf einen gewünschten oberen Wert begrenzt werden.

Die heißen Verbrennungsgase müssen über Abgasstutzen und Abgasrohr in den Schornstein abgeleitet werden. Eine Zündsicherung am Brenner verhindert das Austreten unverbrannten Gases (Abb.34.22.).

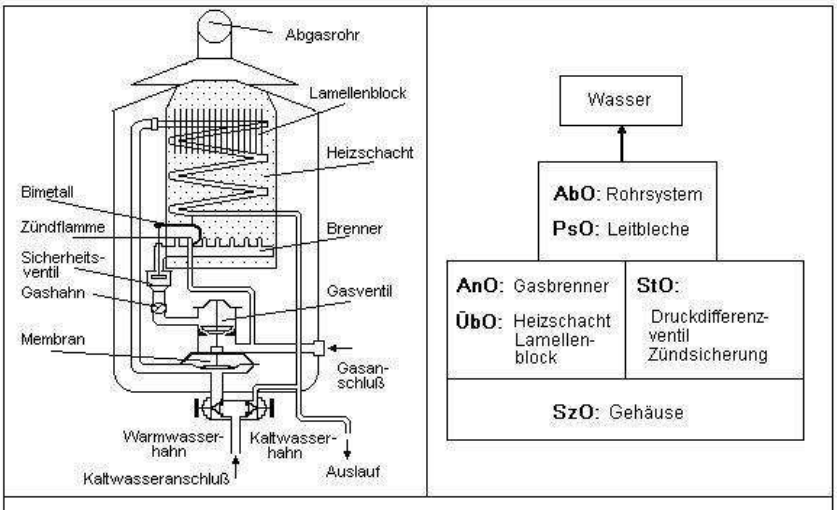


Abb. 34.22. Gasdurchlauferhitzer (Prinzipskizze und Organstruktur)

Literatur

34.1 E. Folkerts / H. Friedrichs: Hausgeräte-, Beleuchtungs- und Klimatechnik; Würzburg 1991
34.2 H. Pichert: Haushalttechnik; Stuttgart 1978
34.3 Ch. Gensthaler / M. Kottenbrink/ u. a.: Hauswirtschaft heute (Fachstufe); München/Wien/Zürich 1987
34.4 Stiftung Warentest: Küche und Haushalt; Berlin 1989
34.5 G. Berszan: Maschinen der Fleischindustrie; Leipzig 1986

IV. Teil - ANHANG

35. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1. Gliederung der Allgemeinen Techniklehre
Abb. 1.2. Gliederung der Technikwissenschaften

Abb. 2.1. Die drei Bereiche der Wirklichkeit
Abb. 2.2 Gliederung der Technikwissenschaften

Abb. 3.1. Historische Entwicklung der Drehmaschine
Abb. 3.2. Übertragung menschlicher Arbeitsfunktionen auf die Technik durch die Einführung entsprechender Funktionsorgane
Abb. 3.3. Genetisches Modell der Funktionssysteme

Abb. 4.1. Titelseite zu L. Albertis „Zehn Bücher über die Baukunst“ Florenz 1585
Abb. 4.2. Titelseite zu G. Agricolas „De re metallica“ Basel 1556
Abb. 4.3. Titelblatt der französischen technologischen Enzyklopädie des 18. Jahrhunderts
Abb. 4.4. Titelblatt der "Anleitung zur Technologie ..." von J:BECKMANN (1.Auflage 1777)
Abb. 4.5. Titelblatt des ersten Lehrbuches der chemischen Technologie von F.KNAPP
Abb. 4.6. Titelblatt des „Handbuches der mechanischen Technologie“ von K. Karmarsch (1837)
Abb. 4.7. Titelblatt des Lehrbuches von WALKER, LEWIS und McADAMS, in dem erstmals das Konzept der Grundoperationen zusammengefasst dargestellt wurde (1.Auflage 1923)
Abb. 4.8. Gliederung der Technikwissenschaften
Abb. 4.9. Gliederung der Technologie als Wissenschaft
Abb. 4.10 Allgemeines Schema des Produktionsprozesses (nach PAGEL / ZIMMER)

Abb. 5.1. Technologische Kette der Briefumschlagherstellung (Folge der Bearbeitungsvorgänge)
Abb. 5.2. Prinzip des Fließpressens
Abb. 5.3. Materielle Elemente, die in jedem technologischen Vorgang wirken
Abb. 5.4. Strukturmodell des technologischen Grundvorgangs
Abb. 5.5. Allgemeines Organstrukturmodell technischer Systeme
Abb. 5.6. Technikentwicklung - Entstehung zunehmend komplexer Arbeitsmittel durch Übertragung menschlicher Arbeitsfunktionen auf die Technik
Abb. 5.7. Der Platz des Wirkprinzips im Strukturmodell des technologischen Grundvorgangs
Abb. 5.8. Schema des Filtrierens
Abb. 5.9. Symboldarstellung der Filtration
Abb. 5.10. Struktur des Grundverfahrens Filtrieren

Abb. 6.1. Prinzip der Zielbaummethode
Abb. 6.2. Symbole für technische Systeme
Abb. 6.3. Symboldarstellung technologischer Grundvorgänge
Abb. 6.4. Symboldarstellung des technologischen Grundvorgangs Schleifen

Abb. 7.1. Wechselwirkung von Arbeitsorgan und Arbeitsgegenstand in Stoffformungssystemen
Abb. 7.2. Symboldarstellung von Grundverfahren der Stoffformung
Abb. 7.3. Prinzip des Walzens
Abb. 7.4. Symboldarstellung des Warmwalzens
Abb. 7.5. Walzprofile
Abb. 7.6. Strukturschema des Walzens
Abb. 7.7. Gliederungsschemata der Fertigungstechnologie

Abb. 7.8. Einteilung der Fertigungsverfahren nach TGL 21 639
Abb. 7.9. Gliederungsschema der Verfahrenstechnologie
Abb. 7.10. Gliederungsschema der Verarbeitungstechnologie (nach H. Herrnsdorf)
Abb. 7.11. System der Stoffformungsverfahren
Abb. 7.12. Grundverfahren des Urformens
Abb. 7.13. Grundverfahren des Fügens
Abb. 7.14. Grundverfahren des Umformens
Abb. 7.15. Grundverfahren des Trennens
Abb. 7.16. Grundverfahren des Zerkleinerns

Abb. 8.1. Reaktionsraum und Reaktionsort
Abb. 8.2. Aktivierungsenergie und Reaktionsverlauf
Abb. 8.3. Symbole für Grundprozesse der Stoffwandlung
Abb. 8.4. Symboldarstellung der Chlorwasserstoffsynthese
Abb. 8.5. Strukturschema der Chlorwasserstoffsynthese
Abb. 8.6. Ordnungssystem der Stoffwandlungsprozesse unter chemischem Aspekt
Abb. 8.7. Technologische Realisierungsformen von Gas-Flüssigkeits-Reaktionen
Abb. 8.8. Technologische Durchführungsformen von Flüssigkeits-Feststoff-Reaktionen
Abb. 8.9. Mess- und Regelgrößen an einem Bioreaktor
Abb. 8.10. Ablauf eines biotechnologischen Verfahrens
Abb. 8.11. Prinzip der strahlenchemisch initiierten Pfropfcopolymerisation

Abb. 9.1. Funktionen der Energie im Produktionsprozess
Abb. 9.2. Anteil der einzelnen Energiequellen am Gesamtenergieaufkommen
Abb. 9.3. Endenergiebedarf nach Verbrauchergruppen und Bedarfsarten (BRD 1990)
Abb. 9.4. Symboldarstellung der Energieumformungsverfahren
Abb. 9.5. Symboldarstellung von Energiewandlungsprozessen
Abb. 9.6. Symboldarstellung der Energiewandlung mittels Drehstromgenerators
Abb. 9.7. Strukturschema der Energiewandlung mittels Drehstromgenerators
Abb. 9.8. System der energieändernden Bearbeitungsvorgänge
Abb. 9.9. Verfahren der Energieumformung
Abb. 9.10. Aufgliederung einiger energiewandelnder Prozesstypen in Prozessgruppen
Abb. 9.11. Energieketten

Abb. 10.1. Zeichensysteme und Zeichenvorrat
Abb. 10.2. Beispiele für Codes
Abb.10.3. Messung des Informationsgehaltes
Abb. 10.4. Symboldarstellung von Informationsumformungsverfahren
Abb. 10.5. Symboldarstellung der Informationswandlungsprozesse
Abb. 10.6. Schwebekörperdurchflussmessung
Abb. 10.7. Symboldarstellung des pneumomechanischen Trägerformänderns

Abb. 11.1. Transportkette für Stückgüter
Abb. 11.2. Symboldarstellung von Transportoperationen
Abb. 11.3. Prinzip des Bandförderns
Abb. 11.4. Symboldarstellung des Bandförderns
Abb. 11.5. Strukturschema des Bandförderns
Abb. 11.6. Energietransportoperationen
Abb. 11.7. Informationsspeicher

Abb. 12.1. Beziehungen zwischen Arbeitsprozess und Naturprozess (Kartoffelproduktion) (nach Ebert / Herrmann / Renner)

Abb. 12.2. Symbole für pflanzliche Produktionssysteme (nach Kleinau)
Abb. 12.3. Zusatzsymbole für pflanzliche Produktionssysteme (nach Kleinau)
Abb. 12.4. Beispiele für die Darstellung pflanzlicher Produktionssysteme (nach Kleinau)
Abb. 12.5. Symbole für tierische Produktionssysteme (nach Kleinau)
Abb. 12.6. Zusatzsymbole für tierische Produktionssysteme (nach Kleinau)
Abb. 12.7. Beispiele für die Darstellung tierischer Produktionssysteme
Abb.12.8. Symbole für ökologische Systeme (nach Kleinau)
Abb. 12.9. Symboldarstellung agrotechnologischer Grundvorgänge
Abb.12.10. Technologische Grundstruktur der Agrarproduktion (nach Kleinau)
Abb. 12.11. Technologische Grundstruktur der Pflanzenproduktion (nach Kleinau)
Abb. 12.12. Technologische Grundstruktur der Tierproduktion (nach Kleinau)
Abb. 12.13. Technologische Grundstruktur der Forstwirtschaft
Abb. 12.14. Gliederung der technologischen Verfahren der Pflanzenproduktion
Abb. 12.15. Gliederung der technologischen Verfahren der Tierproduktion
Abb. 12.16. Symboldarstellung des Pflügens
Abb. 12.17. Strukturschema des Pflügens
Abb. 12.18. Symboldarstellung des Melkens
Abb. 12.19. Strukturschema des Grundverfahrens Melken

Abb. 13.1. Phasenstruktur von Produktionsprozessen
Abb. 13.2. Technologisches System der Zementproduktion
Abb. 13.3. Phasenstruktur der Halbzeugherstellung
Abb. 13.4. Phasenstruktur des Blechwalzens
Abb. 13.5. Phasenstruktur der Herstellung einfacher Fertigprodukte
Abb. 13.6. Phasenstruktur der Schreibfederherstellung
Abb. 13.7. Phasenstruktur der Herstellung eines komplexen Erzeugnisses
Abb. 13.8. Phasenstruktur von Stoffwandlungsprozessen
Abb. 13.9. Phasenstruktur der Natriumchloridelektrolyse
Abb. 13.10. Phasenstruktur der Energiewirtschaft
Abb. 13.11. Phasenstruktur der Elektroenergieerzeugung im Wärmekraftwerk
Abb. 13.12. Phasenstruktur pflanzlicher Produktionsprozesse
Abb. 13.13. Phasenstruktur der Sommergersteproduktion
Abb. 13.14. Phasenstruktur der Eierproduktion
Abb. 13.15. Phasenstruktur der Schlachtfleischproduktion
Abb. 13.16. Phasenstruktur der Kükenproduktion
Abb. 13.17. Phasenstruktur von Informationsverarbeitungsprozessen
Abb. 13.18. Phasenstruktur des Stofftransports
Abb. 13.19. Phasenstruktur des Energietransports (Elektroenergie)
Abb. 13.20. Phasenstruktur des Informationstransports (Telefonverkehr)
Abb. 13.21. Phasenstruktur von Bergbauprozessen
Abb. 13.22. Phasenstruktur der Kalisalzgewinnung
Abb. 13.23. Phasenstruktur kombinierter Produktionsprozesse (Aluminiumherstellung aus Bauxit)
Abb. 13.24. Butadienherstellung
Abb. 13.25. Gegenüberstellung der Bearbeitungsschritte beim Warm- bzw. Flüssigpressen von Einzelteilen
Abb. 13.26. Möglichkeiten der Einsparung von Verfahrensschritten und Prozessstufen bei Verfahren zur Herstellung und Verarbeitung synthetischer Fasern (Quelle: Lit. 5.14., S.52)

Abb. 14.1. Sinnbilder für das schematische Fließbild
Abb. 14.2. Schematisches Fließbild der Porzellanherstellung
Abb. 14.3. Schematisches Fließbild der Kartoffelaufbereitung

Abb. 14.4. Prinzipschema der Mischfutterpellettierung
Abb. 14.5. Prinzipschema der Erdölverarbeitung in einer Raffinerie
Abb. 14.6. Prinzipschema verschiedener Verfahrenswege zum Buna N
Abb. 14.7. Konstruktives Fließbild der Erdölrektifikation
Abb. 14.8. Konstruktives Fließbild der Herstellung von Chlorwasserstoff und Salzsäure
Abb. 14.9. Stofffflussbild der Kartoffelaufbereitung
Abb. 14.10. Stofffflussbild der volkswirtschaftlichen Einsatzgebiete für Kalkstein
Abb. 14.11. Energieflussbild eines Lichtbogenofens
Abb. 14.12. Wärmeflussbild eines Dampfkraftwerkes (Gegendruckbetrieb)

Abb. 15.1. Automatische Fließstraße zur Herstellung von Werkstücken durch Fließpressen
Abb. 15.2. Papierherstellungsstraße als Beispiel für das Fließprinzip und das Kontinuitätsprinzip in einem technologischen System
Abb. 15.3. Schema einer Melkkarussellanlage
Abb. 15.4. Stabilisierungsfunktion von Speichern in technologischen Systemen (Speicherprinzip)

Abb. 17.1. Hochenergiebearbeitungsvorgänge
Abb. 17.2. Möglichkeiten der elektrochemischen Metallbearbeitung
Abb. 17.3. Vergrößerung de aktiven Flächen bei Diaphragmazellen
Abb. 17.4. Realisierungsformen des Wirbelschichtprinzips
Abb. 17.5. Fällungs- und Lösungspolymerisation bei der Produktion von Akrylnitrilfasern

Abb. 18.1. Struktur der Entwicklungstendenz "Rationelle Materialnutzung"
Abb. 18.2. Schnittbildvarianten auszuschneidender Blechteile (nach Rothhaupt)
Abb. 18.3. Materialeinsparungen durch den Einsatz hochveredelter Werkstoffe
Abb. 18.4. Stoffaustausch zwischen zwei Systemen (i und II) bei unterschiedlicher Stromführung
Abb. 18.5. Entwicklung des Masse-Leistungs-Verhältnisses von Drehstrommotoren (Quelle: Lit. 1.5.)
Abb. 18.6. Aluminium-Bedampfungsanlage
Abb. 18.7. Titannitrid-Beschichtungsanlage
Abb. 18.8. Verfahren zu Einkristallzüchtung
Abb. 18.9. Deinking-Flotationsverfahren zur Altpapieraufarbeitung
Abb. 18.10. Schema der Trennung von Thermoplastabfällen nach dem Schwimm-Sink-Verfahren
Abb. 18.11. Fließbild zur Altplast-Pyrolyse
Abb. 18.12. Kryotechnische Rückgewinnung von Aluminium aus Kabelschrott
Abb. 18.13. Verfahrensschritte bei der Kurbelwellenfertigung unter Verwendung unterschiedlicher Stahlqualitäten (Quelle: Lit. 15.6., S.36)

Abb. 19.1. Energiefluss der Bundesrepublik Deutschland 1990
Abb. 19.2. Struktur der Entwicklungstendenz "Rationeller Energieeinsatz"
Abb. 19.3. Wärmeflussbild eines Industrieofens
Abb. 19.4. Prinzip einer kontinuierlichen Kühlanlage für stückige Feststoffe mit Wärmerückgewinnung
Abb. 19.5. Prinzip der Wärmepumpe
Abb. 19.6. Verringerung energieintensiver Prozessstufen in der Eisenmetallurgie
Abb. 19.7. Temperaturverlauf beider Verfahrensfolgen
Abb. 19.8. Varianten des Prozessverlaufs zur Herstellung gleichartiger Werkstücke aus Stahl
Abb. 19.9. Vergleich des Material- und Energieaufwandes beim herkömmlichen Schmieden und beim Pulverschmieden (Quelle: Lit. 15.6., S.59)
Abb. 19.10 Schema einer GuD-Anlag1
Abb. 19.11. Wirkungsgrade von Energiewandlungssystemen
Abb. 19.12. Prinzip der inneren Rekuperation

Abb. 19.13. Anteil der einzelnen Bauteile von Wohngebäuden an den Wärmeverlusten
Abb. 19.14. Reduzierung des Energieverbrauchs von Haushaltsmaschinen !978 : 1988
Abb. 19.15. Lichtausbeute verschiedener Lichtquellen

Abb. 20.1. Grundmodell der Ökologisierung von Produktionsprozessen
Abb. 20.2. Struktur der Entwicklungstendenz "Ökologisierung von Produktionsprozessen"
Abb. 20.3. Technogener Kreislauf
Abb. 20.4. Hausmüllzusammensetzung
Abb. 20.5. Abfallentsorgungsstrategien
Abb. 20.6. Müllverbrennungsrückstände (Anfall und Verwertung)
Abb. 20.7. Schwel-Brennverfahren zur Müllbeseitigung
Abb. 20.8. Rührwerksfermenter zur Gewinnung von Biogas aus Gülle
Abb. 20.9 Verfahren zur Bindung von Schwefeldioxid
Abb. 2010. Reaktor zur katalytischen Entstickung von Rauchgasen
Abb. 20.11. Wasseraufbereitungssysteme
Abb. 20.12. Fließbild zur Ethanolgewinnung aus Sulfitablauge

Abb. 21.1. Hierarchieebenen technischer Systeme
Abb. 21.2. Typen technischer Funktionssysteme (nach Perwitzschky)
Abb. 21.3. Ordnung technischer Systeme nach Einsatzbereichen
Abb. 21.4. Einteilung der technischen Systeme nach ihrer technologischen Aufgabe

Abb. 22.1. Struktur des technischen Elementarvorgangs
Abb. 22.2. Determinanten des technischen Funktionsprinzips
Abb. 22.3. Funktionsbereiche technischer Systeme
Abb. 22.4. Organstruktur einer Tischbohrmaschine
Abb. 22.5. Abstraktionsschritte zu einem allgemeinen Maschinenmodell
Abb. 22.6. Allgemeines Organstrukturmodell technischer Systeme

Abb. 23.1. Typen stoffformender Arbeitsorgane
Abb. 23.2. Arbeitsorgane energieändernder Systeme
Abb. 23.3. Typen informationsändernder Arbeitsorgane

Abb. 24.1. Elemente von Übertragungsorganen (1)
Abb. 24.2. Elemente von Übertragungsorganen (2)
Abb. 24.3. Elemente von Steuerungsorganen
Abb. 24.4 Grundformen und Elemente des Stützorgans
Abb. 24.5 Kopplungstypen und Kopplungsnetz (nach Perwitzschky)

Abb. 25.1. Symbole für technische Funktionssysteme
Abb. 25.2. Darstellungselemente und –formen für technisch Funktionen und Funktionsprinzipien
Abb. 25.3. Darstellungselemente für Strukturbilder technischer Systeme

Abb. 26.1. Schmelzöfen für Eisenwerkstoffe (nach Lit. 8.6 und Lit. 8.7.)
Abb. 26.2. Kokillenformen
Abb. 26.3. Gießmaschinen
Abb. 26.4. Urformsysteme für Glas
Abb. 26.5. Urformsysteme für Plaste
Abb. 26.6. Schweißgerätetypen
Abb. 26.7. Lötwerkzeuge und -geräte
Abb. 26.8. Etagenpresse für Schichtstoffe
Abb. 26.9. Pressentypen

Abb. 26.10. Schmiedehämmer und -pressen und typische Großschmiedewerkzeuge
Abb. 26.11. Gesenkformen für Schmiedepressen
Abb. 26.12. Ziehmaschinen (nach Lit. 8.6., S. 266 und 267)
Abb. 26.13. Aufbau eines Walzwerkes (nach Lit.8.6., S. 214)
Abb. 26.14. Pneumatische Umformsysteme
Abb. 26.15. Hobelmaschinentypen (nach Lit. 8.11., S. 66; Lit. 8, S.48)
Abb. 26.16. Bohrmaschinentypen (nach Lit. 8.11., S. 44)
Abb. 26.17. Drehmaschinentypen (nach Lit. 8.11., S. 56)
Abb. 26.18. Fräsmaschinentypen (nach Lit. 8.11., S. 78)
Abb. 26.19. Schleifmaschinentypen (nach Lit. 8.11., S. 88)
Abb. 26.20. Sägemaschinen
Abb. 26.21. Technische Systeme zum Abtragen (nach Lit. 8.10., S. 94)
Abb. 26.22. Brechertypen (nach Lit. 30)
Abb. 26.23. Mühlen und Zerfaserer
Abb. 26.24. Technische System zum Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen
Abb. 26.25. Oberflächenbeschichtungssystem
Abb. 26.26. Mischersysteme
Abb. 26.27. Systeme zum Umlagern von Stoffteilchen (nach Lit. 8.6., S. 239)
Abb. 26.28. Sandstrahlanlagen
Abb. 26.29. Technische Systeme zum Aussondern von Stoffteilchen (nach Lit. 8.6., S. 154)
Abb. 26.30 Stofftrennsysteme I
Abb. 26.31. Stofftrennsysteme II
Abb. 26.32. Thermische Trennsysteme
Abb. 26.33. Strukturtypen der Stoffformungssysteme
Abb. 26.34. Aufbau von Bohrgeräten und Bohrmaschinen
Abb. 26.35. Rohrmühle (Bauprinzip und Funktionsstruktur)
Abb. 26.36 Aufbau und Struktur des Schneckenextruders

Abb. 27.1. Reaktionsrohr als Grundform von Reaktoren
Abb. 27.2. Reaktionskessel als Grundform von Reaktoren
Abb. 27.3. Reaktionstürme
Abb. 27.4. Reaktionsöfen I
Abb. 27.5. Reaktionsöfen II
Abb. 27.6. Druckrohre
Abb. 27.7. Reaktionsgefäße
Abb. 27.8. Gefäßöfen
Abb. 27.9. Autoklaven
Abb. 27.10. Elektrolysezellen
Abb. 27.11. Fermenter
Abb. 27.12. Arbeitsorgan und Reaktionsort
Abb. 27.13. Erscheinungsformen des Positionierungsorgans
Abb. 27.14. Erscheinungsformen des Übertragungsorgans
Abb. 27.15. Schema des Einsatzes eines Prozeßrechners in einem Sauerstoffaufblasstahlwerk
Abb. 27.16. Etagenröstofen
Abb. 27.17. Organstruktur des Etagenofens
Abb. 27.18. Salzsäureofen
Abb. 27.19. Organstruktur des Salzsäureofens
Abb. 27.20. Quecksilberelektrolysezelle
Abb. 27.21. Organstruktur der Quecksilberzelle

Abb. 28.1 Modell des Energieflusses in energieändernden Systemen
Abb. 28.2. Exergieverlust eines Brennstoffs bei seiner technischen Nutzung

Abb. 28.3. Energieumformung mit einem Riemengetriebe
Abb. 28.4. Getriebearten als mechanische Energieumformer
Abb. 28.5a. Dampfmaschine (mit Schiebersteuerung)
Abb. 28.5b. Turbinentypen
Abb. 28.5c. Kompressoren und Gebläse
Abb. 28.6. Wärmeaustauscher
Abb. 28.7. Generatoren
Abb. 28.8. Chemo-mechanische Wandler
Abb. 28.9. Feuerungsanlagen
Abb. 28.10. Chemo-elektrische Wandler
Abb. 28.11. Aufbau und Funktion von Brennstoffzellen
Abb. 28.12. Elektromotorentypen
Abb. 28.13. Elektro-Strahlungswandler
Abb. 28.14. Sonnenkollektoren
Abb. 28.15. Funktionsprinzip einer Solarzelle
Abb. 28.16. Kernreaktortypen
Abb. 28.17. Modell des Energieflusses in energieändernden Arbeitsorganen
Abb. 28.18. Energieändernde Systeme eines Wärmekraftwerks
Abb. 28,19. Dampferzeuger
Abb. 28.20. Stoff- und Energieflüsse im Dampferzeuger
Abb. 28.21. Organstruktur eines Dampferzeugers
Abb. 28.22. Dampfturbine
Abb. 28.23. Stoff- und Energieflüsse in einer Dampfturbine
Abb. 28.24. Organstruktur einer Dampfturbine
Abb. 28.25. Drehstromsynchrongenerator
Abb. 28.26. Stoff- und Energieflüsse in einem Drehstromsynchrongenerator
Abb. 28.27.Organstruktur eines Drehstromsynchrongenerators

Abb. 29.1. Strukturelle Spezifik von informationsverarbeitenden Funktionssystemen und Steuerungssystemen automatischer Maschinen
Abb. 29.2. Modell für eine allgemeintechnische Systematik informationsverarbeitender Systeme
Abb. 29.3. Struktur der Informations-(Mess-)kette
Abb. 29.4. Elektrische Sensoren und Messwertgeber
Abb. 29.5. Nichtelektrische Sensoren und Messwertgeber
Abb. 29.6. Meßumformer (Quelle: Lit. 11.11, S. 165)
Abb. 29.7. Verstärkertypen
Abb. 29.8. Typen von Eingabeeinheiten (Quelle: Lit. 11.11., S. 172)
Abb. 29.9. Vergleichsglieder (Beispiele) (nach W. Oppelt)
Abb. 29.10. Beispiele für Reglertypen
Abb. 29.11. Stellantriebe
Abb. 29.12. Beispiele für Stellglieder
Abb. 29.13. Mikrofon- und Lautsprechertypen
Abb. 29.14 Plattenspielgerät
Abb. 29.15. Strukturelemente von Rundfunk- und Fernsehempfänger
Abb. 29.16. Arbeitsorgane informationsverarbeitender Systeme
Abb. 29.17. Allgemeines Organstrukturmodell informationsverarbeitender Systeme
Abb. 29.18. Aufbau und Struktur eines hydraulischen Steuerungssystems
Abb. 29.19. Strukturelemente der Zentraleinheit eines PC
Abb. 29.20. Struktur einer CPU (Pentium)
Abb. 29.21. Speichersysteme
Abb. 29.22. Eingabegeräte
Abb. 29.23. Druckertypen

Abb. 29.24. Organstruktur eines PC

Abb. 30.1. Straßentransportfahrzeuge (nach Lit12.6., S. 26 bis 34)
Abb. 30.2a Eisenbahn-Triebfahrzeuge
Abb. 30.2b. Bauarten von Güterwagen (nach Lit.12.6., S. 71 und 73)
Abb. 30.3. Grundaufbau eines Seefrachtschiffes (nach Lit.12.3., Abb.2.15.)
Abb. 30.4. Gliederung der Umschlagtechnik
Abb. 30.5. Hebezeuge (nach Lit.12.1., S.271 bis 277)
Abb. 30.6. Krantypen (nach Lit.12.1., S.301/302)
Abb. 30.7. Mechanische Stetigförderer
Abb. 30.8. Gutaufnahme- und -abgabevorrichtungen für pneumatische Förderer
Abb. 30.9. Gebäudelager und Regaltypen (nach Lit. 12.5., S. 62, 67 und 75)
Abb. 30.10. Schüttgutspeicher
Abb. 30.11. Flüssiggutlager (nach Lit. 12.3., S. 120)
Abb. 30.12. Lagereinrichtungen für Gase
Abb. 30.13. Teilsysteme der Elektroenergieübertragung
Abb. 30.14. Festplattenspeicher - Aufbau und Funktion
Abb. 30.15. Aufbau eines Mobilkrans mit Hydraulikhubwerk (nach Lit.12.7., S.229)
Abb. 30.16. Organstruktur des Mobilkrans
Abb. 30.17. Organstruktur der Fernwärmeleitung

Abb. 31.1. Schlepperbauarten mit Funktionen
Abb. 31.2. Organstruktur des Schleppers
Abb. 31.3. Anhängerbauarten
Abb. 31.4. Frontlader und Arbeitswerkzeuge
Abb. 31.5. Übersicht über Bodenarten (stark vereinfacht)
Abb. 31.6. Pflüge - Arten Aufbau, Vorarbeitswerkzeuge
Abb. 31.7. Grubber- und Zinkenformen
Abb. 31.8. Eggen- und Schleppenbauarten
Abb. 31.9. Walzenbauarten
Abb. 31.10. Pflanz- und Legemaschinen (Quelle: Lit. 13.21., S. 114)
Abb. 31.11. Halmfruchterntemaschinen (Quelle: nach Lit. 13.12., S. 201 und202)
Abb. 31.12. Strohaufsammelpressen (Quelle: nach Lit. 13.21.. S.112 und Lit. 13.7., S.158)
Abb. 31.13. Mähdrescher (Quelle: Lit. 13.7., S.169)
Abb. 31.14. Rübenrodelader
Abb. 31.15. Getreidetrocknungs- und -lagereinrichtungen
Abb. 31.16. Futterlagerungs- und -konservierungsanlagen
Abb. 31.17. Melkanlagen I (nach Lit. 13.8., S.250 und 252)
Abb. 31.18. Melkanlagen II
Abb. 31.19. Entmistungs- und Gülleaufbereitungsanlagen
Abb. 31.20. Forsttechnik (nach Lit. 13.19., S.38, 87 und108)
Abb. 31.21. Scharpflug - Bearbeitungsteil
Abb. 31.22. Organstruktur des Schar-Universal-Beet-Aufsattelpfluges

Abb. 32.1. Übersicht über die Bautechnik
Abb. 32.2. Baggertypen für Erdarbeiten (nach BI-Universallexikon, Leipzig 1988, S.174)
Abb. 32.3. Flachbagger und Lader (nach Lit.14.3., Bilder 7/9, 7/11, 7/14 und 7/17)
Abb. 32.4. Verdichtertypen
Abb. 32.5. Einsatzformen von Vibratoren (nach Lit.14.6, Tabelle 30)
Abb. 32.6. Mischmaschinen
Abb. 32.7. Spezialtransporter des Bauwesens (nach Lit.14.3., S.253)
Abb. 32.8. Mörtel- und Beton-Fördersysteme

Abb. 32.9. Struktur von Baumaschinen
Abb. 32.10. Kipptrommelmischer (nach Lit. 14.3., Bild 3/27
Abb. 32.11. Organstruktur des Kipptrommelmischers
Abb. 32.12. Straßenwalzen (nach Lit.14.3., Bild 7/20)
Abb. 32.13. Spritzbetonieranlage (nach Lit.14.6., Bild 72
Abb. 32.14. Organstruktur einer Spritzbetonieranlage

Abb. 33.1. Einsatz eines Industrieroboters in einer Fertigungszelle mit mehreren Bearbeitungssystemen und Palettenspeichern (nach Lit.15.4., S.56)
Abb. 33.2. Einsatzgebiete der Robotertechnik
Abb. 33.3. Zangengreifer mit Wechselbacken (nach Lit. 15.2., S.35)
Abb. 33.4. Greifertypen von Industrierobotern (nach Volmer)
Abb. 33.5. Kinematische Grundstrukturen von Robotern (Quelle Lit.15.4., S.19)
Abb. 33.6. Arbeitsräume der einzelnen Strukturtypen von Robotern (nach Lit.15.3., S.46)
Abb. 33.7. Grundaufbau eines Roboters der kinematischen Struktur DDD (nach Lit 15.8., S.101)
Abb. 33.8. Baukastenkonzept für die Gestaltung von Industrierobotern (nach Päßler)
Abb. 33.9. Allgemeine Struktur eines Sensors (nach Lit.15.6., S.51)
Abb. 33.10. Gestellbauformen für Industrieroboter (nach Lit. 15.2., S.39)
Abb. 33.11. Organstruktur der Industrieroboter
Abb. 33.12. Montagerobotersystem (nach Lit. 15.1., S.216)
Abb. 33.13. Roboterschweißsystem für Pkw-Bodengruppen (nach Lit. 15.4., S. 68)

Abb. 34.1. Übersicht über die Haushaltstechnik
Abb. 34.2. Mechanische Küchenmaschinen
Abb. 34.3. Rührmaschinen
Abb. 34.4. Kaffeemühlen (nach Lit. 16.2., Abb.2.31 und 2.32.)
Abb. 34.5. Universalküchenmaschine (Grundgerät) (nach Lit.16.2., Abb. 2.34.)
Abb. 34.6. Kochplattentypen
Abb. 34.7. Backofentypen (nach Lit. 16.1., S.33)
Abb. 34.8. Mikrowellengerät (nach Lit.16.2., Abb. 3.37.)
Abb. 34.9. Warmwassergeräte
Abb. 34.10. Kaffeemaschinen
Abb. 34.11. Kühlprinzipien
Abb. 34.12. Kühlgeräte
Abb. 34.13. Hauptfunktionsgruppen der Waschmaschine
Abb. 34.14. Wäschetrockner
Abb. 34.15. Typen von Bügeleisen
Abb. 34.16. Geschirrspülmaschine
Abb. 34.17. Staubsauger
Abb. 34.18. Lüfter und Ventilatoren
Abb. 34.19. Bauformen von Elektroheizgeräten
Abb. 34.20. Regler für Haushaltsgeräte
Abb. 34.21. Haushaltsmixer (Prinzipskizze und Organstruktur) (nach Lit. 2.2., Abb. 2.27)
Abb. 34.22. Gasdurchlauferhitzer ((Prinzipskizze und Organstruktur)

36. Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1. System der allgemeinen Technikprinzipien

Tab. 3.1. Übertragung menschlicher Arbeitsfunktionen auf die Technik durch Einführung entsprechender Funktionsorgane

Tab. 4.1. Entwicklungsphasen der Wissenschaft Technologie
Tab. 4.2. Der Technologiebegriff in seiner historischen Entwicklung
Tab. 4.3. Übertragung menschlicher Arbeitsfunktionen auf die Technik durch Einführung entsprechender Funktionsorgane in technische Systeme
Tab. 4.4. Technische Revolutionen in der Geschichte der menschlichen Gesellschaft
Tab. 4.5. Übersicht zu Schlüsseltechnologien

Tab. 5.1. Spezifik von Naturvorgängen und technologischen Vorgängen
Tab. 5.2. Funktionsorgane technischer Systeme
Tab. 5.3. Organstruktur technischer Systeme

Tab. 6.1. System der technologischen Vorgänge
Tab. 6.2. Hierarchie der technologischen Vorgänge
Tab. 6.3. Beispiele der hierarchischen Ordnung technologischer Vorgänge

Tab. 7.1. System der Urformverfahren
Tab. 7.2. Verfahrensgruppen des Umformens
Tab. 7.3. Verfahrenstyp Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen
Tab. 7.4. Verfahrenstyp Umlagern von Stoffteilchen
Tab. 7.5. Verfahrenstyp Aussondern von Stoffteilchen

Tab. 8.1. Zusammensetzung der Reaktionsmasse
Tab. 8.2. Möglichkeiten der Kohlenmonoxyd-Wasserstoff-Synthesen
Tab. 8.3. Phasenkombinationen der Reaktionsprodukte von Feststoffreaktionen
Tab. 8.4. Prozesstypen der Stoffwandlung
Tab. 8.5. Prozessgruppen thermochemischer Prozesse
Tab. 8.6. Wichtige exotherme Gasreaktionen
Tab. 8.7. Wichtige endotherme Gasreaktionen
Tab. 8.8. Wichtige exotherme Flüssigkeitsreaktionen
Tab. 8.9. Wichtige Gas-Flüssigkeits-Reaktionen
Tab. 8.10. Wichtige Gas-Feststoff-Reaktionen
Tab. 8.11. Wichtige Flüssigkeits-Feststoff-Reaktionen
Tab. 8.12. Gliederung elektrochemischer Prozesse
Tab. 8.13. Elektrochemische Stoffwandlungsprozesse
Tab. 8.14. Entwicklungsetappen der Biotechnologie
Tab. 8.15. Anwendungsgebiete biochemischer Prozesse
Tab. 8.16. Strahlungschemische Prozesse

Tab. 9.1. Nutzungsstufen der Energie
Tab. 9.2. Technisch-ökonomische Merkmale der Energiequellen (nach Hildebrand)
Tab. 9.3. Grundwirkformen energieändernder Arbeitsorgane
Tab. 9.4. Energiearten und ihre charakteristischen Merkmale

Tab. 10.1. Signalarten nach der Zahl ihrer Informationsparameter
Tab. 10.2. Signalarten

Tab. 10.3. Übersicht zu den Informationsumformungsverfahren (nach Früchtel)
Tab. 10.4. Übersicht zu Informationswandlungsprozessen

Tab. 11.1. Analogien zwischen S-, E- und I-Transportobjekten (nach Kortum)
Tab. 11.2. Übersicht zu Transportobjekten
Tab. 11.3. Kenndaten der Transportoperationen
Tab. 11.4. System der ortsändernden Vorgänge
Tab. 11.5. Durchführungsformen des Schwerkraftförderns
Tab. 11.6. Typen der Transportoperationen
Tab. 11.7. Gruppen des mechanischen Feststoffförderns
Tab. 11.8. Energiespeicher
Tab. 11.9. Speichertypen für Informationen

Tab. 12.1. Vergleich technischer und biologischer Produktionssysteme
Tab. 12.2. Doppelfunktion grundlegender Arbeitsmittel
Tab. 12.3. Produktbildung durch Stoffumsatz- und Stoffansatzsysteme
Tab. 12.4. Teilsysteme der Agrarproduktion
Tab. 12.5. Produktionsdauer ausgewählter Holzarten

Tab. 15.1. System der allgemeinen Verfahrensprinzipien
Tab. 15.2. Reaktionsprodukte der Methanchlorierung bei variiertem Molverhältnis der Ausgangsstoffe

Tab. 17.1. Energiedichte und relativer Energiebedarf bei Schweißverfahren
Tab. 17.2. Übersicht zu revolutionierenden Verfahren der Stoffbearbeitung

Tab. 18.1. Anteil der Materialkosten an den Selbstkosten in Abhängigkeit vom Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad
Tab. 18.2. Übersicht zu glaskeramischen Werkstoffen
Tab. 18.3. Beispiele für Rohstoffeinsparungen bei Sekundärrohstoffeinsatz
Tab. 18.4. Produktkaskade für Polyolefine
Tab. 18.5. Substitutionseffekte bei Fertigteilen
Tab. 18.6. Substitutionseffekte bei Elektrokabeln

Tab. 19.1. Energienutzungsgrade bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie (nach Riesner)
Tab. 19.2. Abgaswärme von Hochtemperaturprozessen (bezogen jeweils auf ein Aggregat)
Tab. 19.3. Feststoffwärmeträger
Tab. 19.4. Energieökonomische Effekte des Sekundärrohstoffeinsatzes
Tab. 19.5. Leistungsbedarf von Transportmitteln unterschiedlicher Art und Kapazität
Tab. 19.6. Energieeinsparung durch Frequenzgesteuerte Drehzahlreglung von Drehstromantrieben

Tab. 21.1. Hierarchieebenen in der Technik
Tab. 21.2. Ordnung technischer Funktionssysteme

Tab. 22.1. Übersicht zu Bauelementen und Baugruppen
Tab. 22.2. Technische Funktionen und Funktionsorgane
Tab. 22.3. Organstruktur von Funktionssystemen unterschiedlichen Entwicklungsniveaus

Tab. 26.1. Übersicht über technische Systeme zum Fügen
Tab. 26.2. Systeme der Urformtechnik

Tab. 26.3. Übersicht über technische Systeme zum Trennen
Tab. 26.4. Übersicht über Stofftrennanlagen

Tab. 27.1. Unterteilung der thermochemischen Reaktoren
Tab. 27.2. Reaktorgruppen von Elektrolysezellen

Tab. 28.1. Übersicht über energieändernde Systeme
Tab. 28.2. Antriebs- und Strömungsgrößen von Energiearten und -formen
Tab. 28.3. Übersicht über Energieumformungssysteme
Tab. 28.4. Übersicht über Energiewandlungssysteme (I)
Tab. 28.5. Übersicht über Energiewandlungssysteme (II)
Tab. 28.6. Übersicht über Brennstoffzellentypen

Tab. 29.1. Übersicht wichtiger Messgrößen der Automatisierungstechnik

Tab. 30.1. Übersicht über Transportsysteme
Tab. 30.2. Energiedichten verschiedener Anodenmaterialien
Tab. 30.3. Übersicht über Informationsspeichersysteme

Tab. 31.1. Wirkungen der Bodenbearbeitungsgeräte

Tab. 34.1. Ausstattung der Haushalte mit langlebiger Technik (BRD)
Tab. 34.2. Drehzahlbereiche für Küchentechnologien

37. Index

abfallarme Technologien 70, 322
Abfälle 64, 284, 288, 294, 296, 297, 319, 320, 323, 324, 325
Abfallminimierung 319
ABICHT 176
Abprodukte 70, 294, 319
Abproduktverbrennung 323, 325
Absatzspeicherung 263
Absorberkühlschrank 595
Absorberprinzip 593
Abwärme 305, 306
Abwasseraufbereitungsanlagen 325
Aggregat 40
AGOSTON 79
agrarische Revolution 47
Agrarproduktion 523
Agrartechnik
  Gliederung der 523
agrartechnische Systeme
  technologische Funktion 523
Agrartransportsysteme 523
AGRICOLA 55
Akkumulatoren 454, 517
Aktive Kühlgeräte 593
Aktivierungsprinzip 274
Aktivierungsschwelle 134
ALBERTIS 55
Algorithmen 185
Allgemeine Techniklehre 24
  Aufgabe und Funktion 19
  Gegenstandsbereich 20
  Methoden 22
  objektive Basis für 18
  Stand der Ausarbeitung 22
  Systematik 21
Allgemeine Technikprinzipien
  Begriff 20
allgemeine Technologie 62, 75, 76, 180, 246, 255
  Inhaltsstruktur 21, 76
Allgemeine Technologie 17
allgemeine Verfahrensprinzipien 255
allgemeintechnische Disziplinen 24
Altmetalle 298
Altstoffe 294, 295, 325
Anergie 160, 436
Anfallenergie 305
Anhängefahrzeuge 526
  Bauarten der 526
Anpassungsprinzip 267
Antriebsorgan 64, 85, 360
Apparat 40
Arbeitsfunktionen
  menschliche 64
Arbeitsgegenstand 40, 77, 80, 81
Arbeitsgegenstände
  der Stofformungsverfahren 107
Arbeitsgegenstände 96
  Klassen von 97
Arbeitsgegenstände
  der Stoffwandlungsprozesse 136
Arbeitsgegenstände
  der Energietechnologie 165
Arbeitsgegenstände
  der Energietechnologie 180
Arbeitsgegenstände
  der Transportoperationen 196
Arbeitsgegenstände 233
Arbeitsgegenstände 258
Arbeitsmittel 72, 77
Arbeitsmittelsystem 184
Arbeitsorgan
  Funktionseigenschaften 83
Arbeitsorgan 64, 77, 82
Arbeitsorgan 85
Arbeitsorgan
  Funktionseigenschaften 87
Arbeitsorgan
  Grundwirkform 87
Arbeitsorgan
  Grundform 87
Arbeitsorgan 106
Arbeitsorgan
  Funktionseigenschaften 109
Arbeitsorgan
  Grundwirkform 109
Arbeitsorgan
  Stoffwandlungssysteme 133
Arbeitsorgan
  Grundwirkform 168
Arbeitsorgan
  energieänderder Systeme 168
Arbeitsorgan
  införmationsändernder Systeme 191
Arbeitsorgan
  Grundwirkform 191
Arbeitsorgan 344
Arbeitsorgan 349
Arbeitsorgan
  Definition 350
Arbeitsorgane
  der Informationsspeicherung 354
  der Stoffspeicherung 353
  direkt wirkend 351

Grundwirkformen 352
in energieändernden Systemen 354
in informationsändernden Systemen 355
in Stofformungssystemen 351
in Stofftransportsystemen 353
in Stoffwandlungssystemen 352
indirekt wirkend 352
Klassifizierung 351
von Informationstransportsystemen 354
Arbeitsorgane energieändernder Systeme 462
ARISTOTELES 31
Aufbereitungsmaschinen 554
Aufsammelpressen 537
Aufzüge 504
Ausbeute 132
Ausgabegeräte 494
Ausgangsstoffe 131
Aussondern von Stoffteilchen 128
Ausstattungsgrad der Haushalte 580
Autoklaven 420
Automatikkochplatten 586
Automatisierungssysteme 484
Automatisierungstechnik
Funktionseinheiten der 472
Backgeräte 586
Backöfen 587
Bandförderer 508
Bandfördern
Vorgangsdarstellung 202
Bandsägemaschinen 392
Bandsicherungslaufwerke 492
BANSE, G. 24
Baueinheitenprinzip 268
Bauelemente 340
Baugruppen 340
Bautechnik 548
Antriebsorgane 558
Arbeitsorgane 558
Fahrwerke der 558
Gliederung 548
Organstruktur der 557
Bearbeitungsfunktion 342, 349
Bearbeitungssysteme mit nichtmechanischer und nichtthermischer Operationsenergie 407
Bearbeitungsteil technischer Systeme 342
Bearbeitungsvorgang 77
Becherwerke 508
BECKMANN 71
BECKMANN, J. 27
Bedampfungsanlagen 398
Beizwannen 401
Bereitstellungsfunktion 342
BERTOLDI 88
Beschichtungsverfahren 291
Beschickungsroboter 565
Beschreibung von energetischen Vorgängen 439
Binnenfrachtschiffe 501
biochemische Prozesse 152
Biotechnologie
Entwicklungsetappen 153
Biotechnologien 70, 153
BIRINGUCCIO 55
BLANDOW, D. 333
Blitzkochplatte 586
Blockschema 370
Bodenarten 529
Bodenbearbeitungsgeräte 529
Bohrmaschine 407
Bohrmaschinen 388
Grundaufbau der 407
Boilerprinzip 598
Brecher 395
BREDENDICK 114, 116
Brennschneidgeräte 394
Brennstoffzellen 455
BRÖTZ, W. 414
Brückenkrane 505
Bügeleisen 598
Bügelmaschinen 598
CAPEK, K. 563
CARNOT 165
CD-ROM-Laufwerke 492
Chemisches Trennen 124
Chemisierung der Produktion 130
chemo-elektrische Wandler 453
chemo-mechanische Wandler 451
CHILDE, G. 47
Chlorwasserstoffsynthese
Prozeßdartsellung 139
Containertechnologie 267
Cursorsteuergeräte 493
CZOCHRALSKI-Verfahren 293
DALTON 58
Dampfbügeleisen 598
Dampferzeuger 456
Organstruktur 465, 466
Dampfturbine
Organstruktur 467
Dampfturbinen 446
Dekantierapparate 403
Desinfektionsgeräte 543
DESSAUER, F. 27
Destillationsanlagen 404
Diaphragmazelle 421
Digitale Regler 481
Diskettenlaufwerke 491
Drehmaschinen 388
Drehmaschinentypen 389
Drehrohröfen 417
Drehstrommotoren 457
Drehstromsynchrongenerator
Organstruktur 469
Drei-Phasen-Struktur 231

Drillmaschinen 534
Drucker 494
Druckgußmaschinen 375
Druckrohre 419
Druckwasserreaktoren 461
Dunstabzugshauben 602
Duowalzwerk 384
Durchlauferhitzer 590
Durchsatz 132
Dynamische Verdichter 553
Eggen 532
Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen 127
Eingabeeinheiten 480
Einteilung der Haushaltstechnik 581
Einteilung der Kühlgeräte 592
Einzelkornsämaschinen 535
Eisenbahntransportsysteme 498
Elektrische Meßeinrichtungen 476
Elektrische Steuerungssysteme 476
Elektrobacköfen 588
elektrochemische Prozesse 150
elektrodynamische Prozesse 176
Elektroerosionsanlagen 393
Elektrofilter 403
Elektrolyse 150
Elektrolysezellen 150, 421
Elektrolyte 150
elektromechanische Prozesse 176
Elektromotoren 457
elektronestrahlungschemische Prozesse 157
Elektroöfen 458
Elektrostrahlungswandler 458
Elektrostriktionsprozesse 177
Elektrotechnologie 60
elektrothermisches Abtragen 124
Elysieranlagen 393
Endenergie 164, 303, 310
endotherme Gasreaktionen 145
energetische Antriebsgröße 437
energetische Strömungsgröße 437
energetische Wirkbedingungen 82, 110, 168
energetische Wirkbedingungen 191
Energetisierung der Produktion 162
Energie
  als Arbeitsgegenstand 160
  Definition der 437
  vergegenständlichte 311
  Wesen der 436
energieändernde Systeme 434
Energieändernde Vorgänge
  Struktur 167
  Systematik 171
  Wirkprinzipien 167
Energiearten 160, 171, 434
Energiedichte an der Wirkstelle 275
Energiedirektumwandlung 178
Energieeinsparung 303
Energieerhaltungssatz 436
Energiefluß 89
Energiefluß 71
Energiefluß 101
Energiefluß 103
Energiefluß 165
Energieflußbild der BRD 302
Energieflußbilder 251
Energieformen 160, 435
Energieintensität 302
Energiekette 178
Energiequellen 161, 164, 165
Energieressourcen 302
Energiespeichern 207
Energiespeichersysteme 434, 516
Energiespeichersysteme für potentielle Energie. 517
Energietechnologie 160
  Arbeitsgegenstände 165
Energieteil technischer Systeme 342
Energieträger 164, 166
Energietransport 204
Energietransportsysteme 434, 513
Energieumformer
  Gliederung der 441
  mechanische 443
  Organstruktur 462
Energieumformungssysteme 434, 442
Energieumformungsverfahren 163, 174
  Symboldarstellung 166
Energieverluste 303
Energieversorgung 164
Energiewandler 450
  Gliederung der 441
  Organstruktur 462
Energiewandlung
  Wirkungsgrad 303
Energiewandlungsprozesse 163, 176
  Wirkprinzip 168
Energiewandlungssysteme 434
  Wirkungsgrade 311
Energiewirtschaft 164, 302, 436
Entropie 165
Entropiesatz 164, 436
Entwicklungsgesetze 75
Entwicklungsgesetze der Technik 36
Entwicklungsstufen der Technik 50
Entwicklungstendenzen der Technik 36, 52
Enzymtechnologie 156
Erdbaumaschinen 550
Erntemaschinen 536
Erzeugnistechnologie 75
Erzeugung von Biogas 324
Espressomaschinen 591
Etagenofen 428

Etagenöfen 417
Evolutionsprinzipien der Technik 51
Evolutionsstrategien der Technik 42
Exergie 160, 305, 436
exotherme Gasreaktionen 145
Explosivumformungsanlagen 385
Extruder 409
Extrusionsblasmaschinen 378
Fabriksystem 64
Fahrzeugarten 497
Fahrzeugkrane 506
Feldhäcksler 537
Fermenter 153, 422
Fernsehempfänger 487
Fernwärmesysteme 521
Fertigungstechnologie 105, 114
Festoffreaktionen 149
Festplattenlaufwerke 491
Feststoffwärme 306
Feuerungsanlagen 452
FIEDLER, K. 548
Filteranlagen 402
Filtrieren
  Vorgangsdarstellung 90
Finalorientiertheit technischer Erscheinungen 73
Finalprodukte
  umweltfreundliche 320
Fingergreifer 569
Flachbagger 551
Fleischwolf 583
Fließbild 246
Fließfertigung 259
Fließpreßwerkzeuge 382
Fließprinzip 258
Flotationsapparate 402
Flurfördermittel 506
Fluß des Arbeitsgegenstandes 89, 101
Flüssigkeitsreaktionen 146
Fördertechnik 555
Formänderung 97
Forsttechnik 544
Fortschrittskriterien der Technik 46
Fotovoltaikanlagen 460
Frachtschiffe 500
  Strukturelemente der 500
Francisturbine 445
FRANCK 141
FRANKE 88
Fräsmaschinen 390
  Funktionsgruppen der 390
Fräsmaschinentypen 391
Friteusen 589
FRÜCHTEL 88
Fügen 119
Fügen durch An- und Einpressen 120
Fügen durch Füllen 120
Fügen durch Stoffverbinden 120
Fügen durch Umformen 120
Fügen durch Urformen 120
Fügen durch Zusammenlegen 120
Führungsfunktion 342, 350, 359
Führungsorgan 85, 344, 350, 359
Führungsorgan 64
Führungsorgane energieändernder Systeme 463
Funktionseigenschaften 82, 87, 89, 191
  des Reaktionsraumes 138
  energetische Arbeitsorgane 168
Funktionselemente 331
Funktionsgesetze 75
Funktionsgesetze der Technik 36
Funktionsgruppen 331
Funktionsorgane 84, 331
  Elementarstruktur 359
  Kopplungsbeziehungen 366
Funktionsorgane 86
Funktionsorgane technischer Systeme 344
Funktionsprinzip 339
Funktionsprinzipien 339
Funktionssysteme 331
Futterlagerungsanlagen 540
Galvanisierungsanlagen 398
gammastrahlungschemische Prozesse 156
Garezustand des Bodens 529
GARZONI 55
Gasbacköfen 588
Gasdurchlauferhitzer 606
Gasentladungslampen 459
Gas-Feststoff-Reaktionen 148
Gas-Flüssigkeits-Reaktionen 147
Gasometer 513
Gasturbinen 452
Gebrauchseigenschaften
  umweltfreundliche 317, 321
Gebrauchsenergie 164
Gebrauchswert 270
Gefäßöfen 419
Gefriergeräte 592
Gefrierschränke 595
Gefriertruhen 595
Gegenstromprinzip 287, 310
Geräte 39
Geräteträger 524
Geschirrspülmaschinen 599
Gesenke 382
Gestaltänderung 105
Getriebe 443
Getriebe zum Ändern des Bewegungsablaufes 443
Getriebe zur Drehzahländerung 443
Gießformen 374
Gießtechnische Systeme 374
Glaskeramiken 292
Glaskeramikkochflächen 586
GLAUBER 288

Gleichstromgeneratoren 450
Gleichstrommotoren 457
Glühlampen 459
Glühöfen 397
Grader 551
grafische Darstellungsformen 368
Graphiktableaus 493
Greifer 569
Greiferarme 571
Greiferführungsgetriebe 570
Grubber 531
Grundoperationen 61
Grundprozesse 61, 74, 141, 142, 143, 170, 176
Grundstruktur der Waschprogramme 595
Gruppentechnologie 266
Gülleaufbereitungsanlagen 544
Gütertransportsysteme 497
Güterwagen 499
Haartrockner 602
Hack- und Häufelgeräte 533
Hackfruchterntemaschinen 538
Hafenöfen 376
HALLE 58
HAMMERSCHMIDT- 88
Handrührmaschine 583
Hardware 184
HARTMANN 319
Hauptfluß 103
Hauptphase 231
Haushaltsmixer 605
Haushaltstechnik 580
Hebebühnen 503
HEIN 88
Heißwasserboiler 590
Heizlüfter 603
Heizstrahler 603
HENGLEIN, F.A. 414
Hermetisierung technischer Systeme 319
HERMSTÄDT 59
HERON 32
HERRNSDORF 115
Hilfsenergie 161
Hilfsflüsse 103
Hilfsstoffe 108, 131, 136
Hobelmaschinen 387
Hochenergieverfahren 275
Hochsilos 541
Hochtemperaturprozesse 277, 305, 313
Hochtemperaturreaktoren 461
Hochveredlung von Werkstoffen und Rohstoffen 289
Hochveredlungstechnologien 70
Holzausformungssysteme 544
Holzhobelmaschinen 387
HOPPE 59
Hublader 543
Hydraulische Steuerung 489
Hydraulische Steuerungssysteme 475
Hydrolyse 298
Induktionskochflächen 587
Indusrieroboter
  Positionierungsorgane 570
Industrielle Revolution 48
Industrieöfen 313, 399
Industrieroboter
  Antriebsorgane 574
  Arbeitsorgane 568
  dritte Generation 565
  Einsatzcharakteristik 565
  Einsatzgebiete 566
  Entwicklung der 563
  erste Generation 564
  Grundstrukturen 571
  Organstruktur 568
  Organstrukturmodell 577
  Steuerungsorgane 574
  Stützorgan 576
  technische Charakteristk 564
  zweite Generation 564
Inertstoffe 132
Information 180
  Klasse von Arbeitsgegenständen 179
  Vielfaltskonzeption der 181
Informationen 185
  Träger von 181
informationsändernde Vorgänge 185
Informationsändernde Vorgänge
  allgemeine Merkmale 186
  Struktur 190
  Symboldarstellung 187
  Wirkprinzipien 190
Informationsaustausch 185
Informationsfluß 64
Informationsfluß 71
Informationsfluß 89
Informationsfluß 101
Informationsfluß 103
Informationsfluß 180
Informationsfluß 187
Informationsparameter- 185
Informationsspeichern 207
Informationsspeichersysteme 518
Informationstechnologie 183
Informationsteil technischer Systeme 342
Informationstransport 205
Informationstransportsysteme 518
Informationsumformungssysteme 473
Informationsumformungsverfahren 187
  System der 189
informationsverabeitende Systeme
  Organstrukturmodell 488
informationsverarbeitende Systeme

Arbeitsorgan 487
Organstruktur 487
Systematik der 473
Informationsverarbeitung
technische Systeme der 472
Informationsverarbeitungsmaschinen 180
Informationsverarbeitungssysteme 484
Erscheinungsformen 472
Informationsverarbeitungstechnologien 69
Informationswandlung 187
Informationswandlungssysteme 474
JAHN 265
JUSTI 173, 434
Kabelkrane 505
Kaffeemaschinen 591
Kaffemühlen 584
Kalander 377
Kalkstein-Additiv-Verfahren 326
Kältemaschinen 592
Kaltfließpressen 286
Kammertrocknungsanlagen 401
Kanalkapazität 197
Kanalöfen 417
Kaplanturbinen 446
KAPP, E. 27
KARMARSCH 60, 61
Kartoffelerntemaschinen 539
Kartoffellegemaschinen 535
Kaskadenprinzip 288
Katalysatoren
Einsatz von 135
Kegelbrecher 395
KEPPELER 414
Kernreaktoren 461
Kettenförderer 508
KIENZLE 114
kinetische Energie 165
Kippbühnen 504
Kipptrommelmischer 559
Klassifikation technischer Systeme 336
Kleinhebezeuge 503
KNAPP 60
Kochgeräte 586
Kochplatten 586
Kodierung 183
Kokillen 374
Grundtypen der 374
Kompostierung 323
Kompressorkühlschrank 594
Kompressorprinzip 593
Konstruktives Fließbild 250
Kontinuitätsprinzip 260
Konvektorheizgeräte 603
KORTUM 194, 195
Kraft-Wärme-Kopplung 310
Krane 504
Kratzförderer 508
Kreisprozeß 287
Kreissägemaschinen 392
Kristallisationsanlagen 404
Kryotechnologie 298
Kühlboxen 593
Kühlschränke 594
Kühltürme 448
Kupolöfen 373
Kuppelprodukte 267
Kuppelproduktion 288, 320
Kurbelgetriebe 443
Kurvengetriebe 443
Lader 551
Lager
Typen 510
Lagergebäude 510
Lagersysteme 510
Lagertechnik 496
Laserchemische Prozesse 157
Laserstrahler 450
Lautsprecher 485
Lebensmittelzerkleinerer 583
Leiter 360
LEONARDO DA VINCI, 43
Leuchtstofflampen 459
LIBAVIUS 55
Lichtbogenöfen 374
Linearmotoren 457
LINNÉ 58
LINNEMANN 173
Lötgeräte 379
Magnetgreifer 569
Magnetumformen 275
Magnetumformungsanlagen 385
Mähdrescher. 538
Mahlwerksmühle 585
Manipulatoren 563
Manufaktur 55, 59
MARX 59, 84, 194
MARX, K. 346
Maschinen 39
Maschinen für den Pflanzenschutz 536
Maschinen und Geräte zur Düngung 534
Maschinen zur Gülleausbringung 534
Maschinenhämmer 381
Maschinenkörper 365
Maschinensysteme
automatische 64, 65, 179
Masse-Leistungs-Verhältnis 286
Massenwirkungsgesetz 135
Materialeinsatz
Strategien und Realisierungsprinzipien 285
Materialien 284
Materialintensität 290
Materialkosten 284
Materialnutzung

Hauptrichtungen rationeller 284
materialsparende Bearbeitungsverfahren 286
materialsparende Verfahren 286
Materialsubstitution 290, 299
Materialwirtschaft 285
MATTHES, F. 414
MAUDSLAY 43
Mechanische Küchengeräte 582
Mechanochemische Prozesse 158
mechanochemische Reaktoren 424
Mechano-elektrische Energiewandlung 169
mechano-elektrische Systeme 450
mechano-energetische Wandler 450
Mensch als Produktivkraft 77
menschliche Arbeitsfunktionen 185
Merkmale des Technischen 72
Meßeinrichtungen 476
Meßelemente 365
Meßfühler 575
Meßumformer 478
Meßumsetzer 478
Meßwandler 478
Meßwertwandler 356
Metalle
amorphe 293
Metallpulverpressen 375
Mikrofone 485
Mikroprozessor 490
Mikrowellengeräte 588
Milchgewinnungsanlagen 541
Mineraldüngerstreuer 534
Mischanlagen 554
Mischmaschinen 554
Mixgeräte 583
Mobildrehkran 520
Monitore 494
Montageroboter 565, 577
Motorkettensägen 544
Mühlen 395
MÜLLER 142
Müllverbrennung 323
Müllverwertung 323
Nachrichtenaustausch 185
Naturstoffe 107
Naturvorgänge 79
NEWCOMEN 435
NEWTON 58
Nichtelektrische Meßeinrichtungen 478
Nietmaschinen 379
Normalkochplatte 586
Nutzenergie 164, 303
Nutzung der Abgaswärme 305
Nutzwert 271
Objektbereich der Technik 29
Objektbereiche der Technik 24
Ökologisierung von Produktionsprozessen
Grundmodell 317
Zielfunktionen 317
Ökotechnologien 70, 317
Hauptrichtungen 70
Operationsenergie 161, 277
Optimierungsfunktion 342
Optimierungsorgan 64, 85, 344, 365
Ordnungssystem technischer Funktionssysteme 336
Organstruktur der haushaltstechnischen Systeme 604
Organstruktur technischer Systeme 84
Organstrukturanalyse 347
Organstrukturmodell 370
Originalinformation 186
Ortsändernde Vorgänge
System der 199
Ortsveränderung 97
OTTO 60
Passive Kühlgeräte 593
Peltonturbinen 445
Personalcomputer 489
Personalkomputer
Organstruktur 494
PERWITZSCHKY 117
PERWITZSCHKY, M. 366
Pflüge
Arten 530
Phasenstruktur 230
Agrarproduktion 237
Bergbau 241
Chemische Produktion 236
Energiewirtschaft 237
Informationsverarbeitung 239
Kombinierte Produktionsprozesse 242
Mechanische Produktion 235
Pflanzenproduktion 237
Tierproduktion 238
Transportwesen 240
photochemische Prozesse 156
piezoelektrischenWandler 451
Planierraupen 551
Plasmaöfen 374
Plasmaschmelztechnologie 276
Plasmaschneidanlagen 394
Plastaltstoffe 296
Plattenspieler 485
Plotter 494
Pneumatische Steuerungssysteme 475
Portalkrane 505
Positionierungsfunktion 342, 350, 359
Positionierungsorgan 64, 85, 344, 350, 359
Positionierungsorgane energieändernden Systeme 463
Potentialgefälle 165
potentielle Energie 165
Prägewerkzeuge 384

PRECHTL 60
Pressen 382
Primärelemente 453
Primärenergie 302
Primärenergieträger 164
Prinzip der Erhöhung der Energiedichte an der Wirkstelle 310
Prinzip der Kapazitätsvergrößerung 311
Prinzip der komplexen Rohstoffnutzung 287
Prinzip der Mehrfachnutzung 295
Prinzip der Mehrzwecknutzung 298
Prinzip der optimalen Kapazitätsbemessung 313
Prinzip der Verkettung der Arbeitsmittel 261
Prinzip der Verringerung energieintensiver Prozeßstufen 307
Prinzipschema 233, 249
Produktgestaltung
Erhöhung der Nutzungsdauer 320
recyclinggerechte 320
Produktionsabfälle 294
Produktionsprozeß 230
Hauptfaktoren 77
Strukturelle Entwicklungstendenzen 243
Strukturmodell 230
Strukturmodell 77
Produktionsprozesse
Fließdarstellung 246
Produktionssysteme 39
Produktionstechnik 72
Produktionsweise 271
industrielle 58, 59
Produktkaskade 296
Programme 185
Prozeßflexibilisierung 266
Prozeßoptimierung
Energiedeterminierte 307
Prozeßorganisation 257
gegenstandspezialisierte 257
verfahrensspezialisierte 257
Prozeßstabilisierung 262
Pumpen 446
Pumpspeicheranlagen 517
Punktschweißmaschine 380
Pyrolyse 297, 323
Quecksilberelektrolysezelle 431
Querschnittsdisziplinen
Herausbildung von 17
Randschichttechnologie 291
Rationelle Energieanwendung
Triebkräfte 302
Rationelle Energienutzung
Zielsetzung 304
Rauchgasentschwefelung 326
Rauchgasentstickung 326
Reaktionsapparate 131
Reaktionsgefäße 419
Reaktionsgeschwindigkeit 134
Reaktionskessel 412
Reaktionsmasse 131
Reaktionsöfen 417
Reaktionsprodukte 131
Reaktionsraum 133, 424
Reaktionsraum. 353
Reaktionsrohre 412
Reaktionsteilnehmer 131
Reaktionstürme 416
Reaktoren 133, 412
Antriebsorgane 426
Bearbeitungsorgan 424
Einteilungskriterien 414
Energieteil von 426
Führungsorgane 425
Grundformen 412
Informaationsteil von 427
konstruktiver Aufbau 413
Multifunktionalität 415
Organstruktur 424
Positionierungsorgan 425
Steuerungsorgane 427
Stützorgan 428
Übertragungsorgane 427
Reaktortypen 414
Realisierungsprinzipien 272
REAUMUR 57
Recheneinheiten 481
Recyclingtechnologien 297, 322
Redundanz 185
Redundanzprinzip 266
Regeneratoren 305
Reglerbügeleisen 598
Reibemaschinen 583
REICHEL, R. 42, 44, 51
Reinststoffe 293
Rekuperativprinzip 310
Rekuperatoren 305
Revolution
industrielle 64, 67
technische 64
technische 66
wissenschaftlich-technische 230, 302, 317
Riemengetriebe 438
Robotertechnik 53, 563
Robotertypen 564
ROCKSTROH 294
Rohrheizkörper 603
Rohrleitungssysteme 502
Rohrmühle 408
Rohstoffe 107, 136, 284
Rohstoffnutzung
komplexe 289
Rollförderer 506

ROPOHL, G. 46
Rückgewinnung verwertbarer Stoffe 322
Rundfunkgeräte 486
Rutschen 506
Sachsysteme der Technik 28
Sägemaschinen 392
Salzsäureofen 430
Sandstrahlanlagen 400
SANKEY-Diagramm 251
Sauggreifer 569
Scanner 493
Schachtöfen. 417
Schaltelemente 365
Schaltende Regler 481
Scharpflug 530
Scheibenpflüge 530
schematisches Fließbild 249
Schermaschinen 387
Schlagmessermühlen 584
Schleifmaschinen 391
Schleppen 533
Schlepper 523
  Organstruktur 525
Schlepperarten 524
Schleudergußmaschinen 375
Schlüsseltechnologien 53, 66
  Begriffsbestimmung 68
  historische Funktion 67
  in der wissenschaftlich-technischen Revolution 67
Schlußphase 232
Schmelzflußzellen 422
Schmelzöfen 373
Schneckenförderer 507
Schneidemaschinen 396, 582
SCHNEIDER, G. 333
Schnelle Brutreaktoren 461
Schnitzelmaschinen 583
SCHRÖDINGER 180
SCHUBARTH 60
Schüttgutlager 511
Schüttgutschiffe 501
Schwadmäher 537
Schweißroboter 578
Schweißtechnik 276, 380
Schwerkraftförderer 506
Schwingförderer 507
Scraper 551
Seefrachtschiffe 501
Sekundärelemente 454
Sekundärenergienutzung 305
Sekundärenergieträger 164
Sekundärrohstoffe 108, 294, 311, 322
Sekundärrohstoffeinsatz 285, 294
Sekundärrohstoffverwertung
  Bedingung für die 294
Sensoren 476, 575
SHANNON 180
Siebanlagen 402
Siedewasserreaktor 461
Siedlungsmüll 323
Signal
  Eigenschaften 186
  strukturspezifischen Merkmale 190
  trägerspezifische Merkmale 190
Signalarten 182
Signale 181
Signalprozeß 183
Sinnbilder von Funktionssystemen 369
Software 184
Solarthermische Anlagen 460
Spanen 124
Speicher 361
Speicher für kinetische Energie: 516
Speicheroperationen 195
Speicherprinzip 262
Spezialtransporter 555
spezielle Technologie 75
Spezifik der Technik 33
Spezifikum der Technik
  Finaldeterminiertheit 34
  komplexer Charakter 34
  Multipotenz 34
Spinnmaschinen 379
Spritzbetonieranlage 561
Spritzgußanlagen 377
Spritzpistolen 398
Sprühtrocknen 280
Stalldungstreuer 534
Stallklimatisierungsanlagen 540
Stampfer 553
Standardbackofen 587
Standardisierung 18
Standardkochplatten 586
Standardschlepper 524
Statische Verdichter 552
Staubsauger 600
Stellantriebe 482
Stellglieder 356, 483
Stetigförderer 506
Steuerungsfunktion 342, 364
Steuerungsorgan 64, 85, 344, 364
stoffändernden Systeme 335
Stoffausbeute 288
Stoffbearbeitung
  Revolutionierende Verfahren 69
Stoffeigenschaftsänderung 105
Stoffffluß 71, 103
Stoffkreisläufe 321
  geschlossene 321
  volkswirtschaftliche 321
Stofformungssysteme 335, 372
  Einteilung der 372

Organstruktur der 405
Stofformungsverfahren 105
Arbeitsgegenstände 107
Spezifische Merkmale 106
Struktur 109
Strukturelemente 109
Symboldarstellung 108
System 117
Systematik 113
Wirkprinzipien 109
Stoffspeichern 206
Stoffspeichersysteme 335
Stofftransport 200
Stofftransportoperationen
Systematisierung 201
Wirkprinzipien 201
Stofftransportsysteme. 335
Stoffwandlungsprozeß 131
Stoffwandlungsprozesse
Allgemeine Charakteristik 130
Arbeitsgegenstände der 136
Spezifische Merkmale 132
Struktur 138
Symboldarstellung 137
Systematik 140
Wirkprinzipien 138
Stoffwandlungssysteme. 335
Stoffzusammenhalt des Arbeitsgegenstandes 106
strahlungschemische Prozesse 156
Strahlungs-energetische Wandler 459
Strahlungsreaktoren 423
Strahlungsthermisches Abtragen 124
Stranggußanlagen 375
Strangpreßwerkzeuge 383
Straßentransportsysteme 497
Grundstruktur der 498
Strömungsförderer 508
Strömungsgetriebe 443
Strukturanalyse technologischer Grundvorgänge 89
Strukturänderung 97
Strukturdarstellung 368
Strukturdarstellung technischer Systeme 370
Strukturgesetz technischer Systeme 346
Strukturgesetze 75
Strukturgesetze der Technik 36
Strukturmodell technischer Systeme 85
Strukturniveaus der Technik 50
Strukturschema 233
Stückgutlager 510
Stützfunktion 343
Stützorgan 85, 365
Stützteil technischer Systeme 343
Substitutionsprinzip 266
Symboldarstellung 89, 368
Kriterien 368
System der allgemeinen Technikprinzipien 21
System der energieändernden Bearbeitungsvorgänge 172
System der informationsändernden Vorgänge 188
System der Stofformungsverfahren 116
System der technologischen Vorgänge 98
Systematik der energieändernden Systeme 434
Systematisierung
Abgrenzungsfunktion 95
Erkenntnisfunktion 95
Ordnungsfunktion 95
pädagogische Funktion 95
strategische Funktion 95
Zuordnungsfunktion 95
Systematisierung technischer Systeme 332
Ordnungskriterien 333
Systeme der Energieänderung
Aufbau und Wirkungsweise 436
Taktbauweise 259
Tanker 501
Tanklager 512
Tastatur 492
Tauchlackieranlagen 398
Tauschwert 271
Technik 72
als gesellschaftliche Erscheinung 29
Eigenständigkeit der 33
Einheit von Natürlichem und Gesellschaftlichem 73
finale Determiniertheit 73
Funktion der 29
Gesamtsystem der 37
gesellschaftliche Komponente 32, 73
Grundfrage in der 73
Kategoriensystem 38
komplexer Charakter 73
Multipotenz 74
natürliche Komponente 31
ökologischer Aspekt 32
politischer Aspekt 33
relative Eigenständigkeit 29
sozialer Aspekt 33
spezifische Merkmale 31
wirtschaftlicher Aspekt 32
Zielsetzung der 270
Technik - Umwelt - Beziehungen 271
Technik als Destruktivkraft 31
Technik als Humankraft 30
Technik als Kulturkraft 30
Technik als Produktivkraft 30
Technik als Sozialkraft 30
Technik der Informationsverarbeitung 52
Technikbegriff 28, 38, 72

Arbeitsdefinition 30
Dimensionen des 30
Vieldeutigkeit 27
Wortbedeutungen 27
Technikentwicklung 41, 270
Analogien zur biologischen Evolution 42
Determinanten 44
evolutionäre Phase 43
Evolutionsschritte 51
Fortschrittskriterien 270, 271
Gerichtetheit 41
Optimalitätskriterien 42
revolutionäre Phase 43
Selektionskriterien 42
spezifische Merkmale 41
Triebkräfte der 45
Unterschiede zur biologischen Evolution 41
Verlaufsformen 43
Technikgesetze 35
Aussageform 37
Aussagenstruktur 37
Systemcharakter 35
Techniktheorie
Grundpositionen der 72
Techniktyp 64
Technikwissenschaften 17, 18
Begriff der 23
Funktion der 24
Gegenstand 24
Gliederung der 24
Inhalt der 24
Technilentwicklung
Strategien der 272
technische Arbeitsfunktionen 86
technische Elementarfunktionen 339
technische Funktionen 338
technische Grundfunktionen 84
technische Revolutionen
Merkmale 47
Technische Revolutionen 46
Technische System zum Falzen 379
technische Systeme 37, 64
Bearbeitungsteil 342
Energieteil 342
Entwicklungsstufen 49
Funktionsanalyse 340
Grundfunktionen 84
Hierarchieebenen 331
hierarchische Ordnung 330
Informationsteil 342
Klassifikationssystem 333
Klassifizierungssystem 334
konstruktiver Aufbau 340
Organstrukturmodell 345
Struktur 83
Technische Systeme der urformenden Stoffeigenschaftsänderung 397
Technische Systeme zum Ein- und Aufbringen von Stoffteilchen 397
Technische Systeme zum Abtragen 393
Technische Systeme zum eigenschaftsändernden Aussondern von Stoffteilchen. 400
Technische Systeme zum eigenschaftsändernden Umlagern von Stoffteilchen 399
Technische Systeme zum Fügen 378
Technische Systeme zum Stoffeigenschaftsändern 396
Technische Systeme zum Zerkleinern 394
Technische Systeme zur eigenschaftsändernden Aufhebung des Stoffzusammenhalts 405
technischer Elementarvorgang 339
Struktur 339
technisches Funktionsprinzip 40
technisches System 39
Funktion 338
Funktionsbereiche 341
technogene Kreisläufe 321
Technologie 38, 58, 95
aktive Funktion 63
als Wissenschaft 59
Aufgabe 74
beschreibende Lehre 55
chemische 60
dritte Entwicklungsphase 59
Entwicklungsphasen 55
Entwicklungsschritte der 62
Entwicklungstendenzen 272
erste Entwicklungsphase 55
fünfte Entwicklungsphase 61
Gegenstand 71, 74
Geschichte der 55
gesellschaftliche Funktion 63
Gesetze der 75
Integrationsfunktion 64, 65
landwirtschaftliche 60
mechanische 60
Ökologiefunktion 64, 66
Schlüsselrolle 63
Stimulationsfunktion; 66
Umwälzungsfunktion 65
Vermittlerfunktion 65
vierte Entwicklungsphase 60
zweite Entwicklungsphase 58
Technologie als Wissenschaft 74
Technologieentwicklung
Trends der 272

technologische Funktion 338
technologische Grundvorgänge. 81
technologische Produktionsweise 63
Technologische Roboter 565
technologische Vorgänge 79
  Hierarchie 99
  Klassifikation 96
  Merkmale 79
  Symboldarstellung 102
  Systematisierung 95
technologische Wirkprinzipien 67
technologischenProduktionsweise 44
technologischer Grundvorgang
  Strukturelemente 81
  Strukturmodell 82
  Symboldarstellung 103
technologischer Prozeß 37
technologisches System 77
technologisches Wirkprinzip 40, 88
  Charakteristik 89
Technosphäre 321
Teiler 361
Temperofen 401
Theorie technischer Systeme 17, 83
Thermobehälter 593
Thermochemische Prozesse 144
Thermochemische Reaktoren 415
Thermoelemente 456
thermo-energetische Wandler 456
Tiefkühlgeräte 595
Tiegelöfen 373
Trägerartänderungssysteme 474
Trägerbereichsänderungssysteme 474
Trägerformänderungssysteme 474
Trägerleistungsveränderungssysteme 474
Transformatoren 449
Transportbegriff 195
Transportdichte 197
Transportkanal 197
Transportkette 259
Transportketten 198
Transportobjekte 196
Transportoperationen 194
  Arbeitsgegenstände der 196
  Symboldarstellung 199
Transportroboter 565
Transportsysteme 497
  Leistungsparameter 497
  stationäre 502
  Systematik 496
Transporttechnik 496
Trennanlagen für stoffliche Systeme 401
Trennen 123
Trennmaschinen
  Grundwirkformen der Arbeitsorgane 386
Trennmaschinentypen 387
Trennsysteme
  Arbeitsorgane der 386
  Einteilung der 386
  mechanische 386
Trenntechnologien
  mehrstufige 322
Triebfahrzeuge 498
Trockenhaube 603
Trockner 403
Trocknungsverfahren 276
Trommelwaschmaschine 596
TUL-Prozesse 194, 198
TUL-Systeme 497
TUL-Technik 496
Turbinen 443
Typen technischer Funktionssysteme 332
Übertragungsfunktion 342
Übertragungsorgan 64, 85, 344, 360
Ultraschallbearbeitungsanlagen 393
Umformer 361
Umformsysteme 381
  Einteilung der 381
Umformsystemen für Elektroenergie 449
Umformverfahren 121
Umlagern von Stoffteilchen 127
Umluftbackofen 587
Umsatz 132
Umschlagsysteme 502
Umschlagtechnik 496
Umsetzungsbedingungen
  Intensivierung der 288
Umweltbelastung 284
Universalbagger 550
Universal-Küchenmaschine 585
Unstetigförderer 503
Urformen 117
Urformendes Eigenschaftsändern 127
Urformtechnik 372
Urformverfahren 117
  System 118
URSUL 181
Vakuumaufdampfungsverfahren 291
van KREVELEN 142
VAN KREVELEN, D
  W: 414
Ventilatoren 601
Verarbeitungseigenschaften
  des Energieträgers 167
  Signal 190
Verarbeitungseigenschaften des
  Arbeitsgegenstandes 82
Verarbeitungselemente 365
Verarbeitungstechnologie 105, 115
Verbesserung der Verarbeitungs- und
  Gebrauchseigenschaften 289
Verbrauchseigenschaften

umweltrelevante 320
Verbrennungsmotoren 451
Verbrennungsöfen 417
Verbundwerkstoffe 294
Verdampfer 404
Verdichtungsmaschinen 552
Verfahren zur Umformung chemischer Energie 174
Verfahren zur Umformung elektrischer Energie 175
Verfahren zur Umformung mechanischer Energie 174
Verfahren zur Umformung von Kernenergie 175
Verfahren zur Umformung von Strahlungsenergie 175
Verfahren zur Umformung von Wärmeenergie 174
Verfahrensintensivierung 274
Verfahrensprinzipien 256
Prozeßorganisation 257
Systematisierung 256
Verfahrenstechnologie 105, 115
Vergleichsglieder 481
Vergrößerung der aktiven Flächen 279
Verkettete Funktionssysteme 331
Verkürzung der technologischen Kette 282, 308
Vernetzte Funktionssysteme 331
Verseilmaschinen 379
Versorgungsspeicherung 262
Verstärker 356, 479
elektrische 479
hydraulische 479
pneumatische 479
Vibratoren 553
Vollzugsfunktion 349
vorbereitende Phase 232
Vorgangscharakteristik 89
Vorgangsredundanz 265
Vorgangsstabilisierung 265
Vorganstechnologien 75
Walzen 533, 560
Verfahrensdarstellung 111
Walzwerke 384
Wannenöfen 376
Wärmeaustauscher 448
Wärmedämmung 313
Wärmegeräte 586
Wärmepumpe 306
Wärmerückgewinnung aus Abluft 305
Wärmeumformsysteme 448
Warmlufttrockner 539
Warmwassergeräte 589
Warmwasserspeicher 589
Wäscheschleudern 596
Wäschetrockner 597
Waschmaschinen 595
Waschprogramme 596
Wasseraufbereitung
Verfahren 327
Wassertransportsysteme 500
Wasserturbinen 445
Webstühle 379
Wechselstromgeneratoren 451
Wechselstrommotoren 457
Wegmeßsysteme 576
Weltbildfunktion der Technik 19
Wendepflüge 530
WENDT, H. 24
Werkstoffe 107, 284
Höherveredlung 290
keramische 290
mit neuartigen Strukturen 292
Oberflächenveredlung 291
Verabeitungseigenschaften 109
Verarbeitungseigenschaften 286
Werkzeug 106
Werkzeuge 39
Werkzeuge zum Formpressen 377
Werkzeugmaschinen 405
Wertstoffgewinnung 328
Wertstoffrückgewinnung 289
WICKE 142
WICKE, E. 414
Widerstände 361
WIENER 180
Windsichter 402
Windturbinen 446
Wirbelschichttechnologie 280
Wirkeigenschaften 87
Wirkenergie 106
Wirkfaktoren 82, 87, 89
energieändernder Grundvorgänge 167
Wirkfuge 349
Wirkmedien 277, 352
Wirkmedien 277
Wirkmedium 106, 349
Wirkpaar 106
Wirkprinzip 89, 125
als Operator 88
Aussagenstruktur 89
informationeller Vorgänge 191
Stofftransportoperationen 201
Stoffwandlungsprozesse 138
Wirkprinzipien
Nutzung neuartiger 277
Nutzung neuartiger 277
Nutzung neuer 282
zur Abfallminimierung 319
Wirkprinzipien stofformender Verfahren 110
Wirkraum 106
Wirkraumsysteme. 406
Wirkspalt 106

Wirkstelle 106, 349
Wissenschaft
  Geschichte der 58
wissenschaftliches Technikbild 19
wissenschaftlich-technische Revolution 48
Wissenschaftsdisziplinen
  Enstehung neuer 17
Wissenschaftsentwicklung
  Integrationstendenz 17
  qualitative Phase 17
  quantitative Phase 17
  strukturelle Phase 18
Zangengreifer 569
Zeichen 183
Zelltechnologie 156
Zementherstellung 231
Zentralrohrsilos 539
Zentrifugen 403
Zerfaserer 396
Zerkleinern 125
zerkleinerndes Stoffeigenschaftsändern 128
Zerkleinerungsmaschinen 394, 555
Zerlegen 124
Zerteilen 124
Ziehmaschinen 384
Zielbaummethode 99
Zonenschmelzanlage 293, 401
ZSCHIMMER, E. 27
Zugmittelförderer 507
Zuschnittoptimierung 285
Zuverlässigkeitsprinzip 265
Zwischenprodukte 131
Zwischenspeicherung 263
Zyklon 403