

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Kolbenmaschinen

<b>1</b>	<b>Allgemeine Grundlagen der Kolbenmaschinen</b> . . . . .	<b>3</b>
	Helmut Tschöke und Klaus Mollenhauer	
1.1	Definition und Einteilung der Kolbenmaschinen . . . . .	3
1.2	Vollkommene und reale Kolbenmaschine . . . . .	4
1.2.1	Die vollkommene Maschine . . . . .	4
1.2.2	Die reale Maschine . . . . .	5
1.3	Hubkolbenmaschinen . . . . .	8
1.3.1	Triebwerksbauarten . . . . .	8
1.3.2	Kinematik des Kurbeltriebs . . . . .	9
1.3.3	Kräfte am Kurbeltrieb . . . . .	11
1.4	Elemente der Kolbenmaschine . . . . .	14
1.4.1	Kurbeltrieb . . . . .	14
1.4.2	Abdichten des Arbeitsraumes . . . . .	17
1.4.3	Zylinderanordnung und -zahl . . . . .	18
1.4.4	Lagerung und Schmierung . . . . .	19
1.4.5	Kühlung . . . . .	20
	Literatur . . . . .	20
<b>2</b>	<b>Verdrängerpumpen</b> . . . . .	<b>21</b>
	Helmut Tschöke und Herbert Hölz	
2.1	Bauarten und Anwendungsgebiete . . . . .	21
2.2	Berechnungsgrundlagen . . . . .	23
2.2.1	Förderhöhen, Geschwindigkeiten und Drücke . . . . .	23
2.2.2	Förderleistung, Antriebsleistung, Gesamtwirkungsgrad . . . . .	23
2.2.3	Instationäre Strömung . . . . .	24
2.2.4	Kavitation . . . . .	25
2.2.5	Pulsationsdämpfung . . . . .	25
2.3	Verlustteilung . . . . .	27
2.3.1	Betriebsverhalten der verlustfreien Verdrängerpumpe . . . . .	27
2.3.2	Definition von Wirkungsgraden . . . . .	28
2.3.3	Volumetrische Verluste . . . . .	28
2.3.4	Mechanisch-hydraulische Verluste . . . . .	29
2.3.5	Nutzliefergrad und Gesamtwirkungsgrad . . . . .	30

---

2.4	Auslegung und Hauptabmessungen . . . . .	31
2.4.1	Oszillierende Verdrängerpumpen . . . . .	31
2.4.2	Rotierende Verdrängerpumpen . . . . .	32
2.5	Baugruppen und konstruktive Gestaltung . . . . .	33
2.5.1	Baugruppen zur Ein- und Auslasssteuerung . . .	33
2.5.2	Verstellung und Regelung . . . . .	34
2.5.3	Verwendungsbedingte Ausführung . . . . .	34
	Literatur . . . . .	38
<b>3</b>	<b>Kompressoren, Verdichter . . . . .</b>	<b>39</b>
	Helmut Tschöke und Herbert Hölz	
3.1	Bauarten und Anwendungsgebiete . . . . .	39
3.2	Grundlagen und Vergleichsprozesse . . . . .	40
3.2.1	Volumenstrom, Eintrittspunkt, Austrittspunkt . .	40
3.2.2	Verdichtung idealer und realer Gase . . . . .	41
3.2.3	Vergleichsprozesse für einstufige Verdichtung . .	42
3.2.4	Definition von Wirkungsgraden . . . . .	44
3.2.5	Mehrstufige Verdichtung . . . . .	44
3.2.6	Verdichtung feuchter Gase . . . . .	45
3.3	Arbeitszyklus, Liefergrade und Druckverluste . . . . .	46
3.3.1	Arbeitszyklus . . . . .	46
3.3.2	Liefergrade . . . . .	47
3.3.3	Druckverluste . . . . .	49
3.4	Auslegung und Hauptabmessungen . . . . .	50
3.4.1	Hubkolbenverdichter . . . . .	50
3.4.2	Schraubenverdichter . . . . .	51
3.4.3	Rotationsverdichter . . . . .	53
3.4.4	Flüssigkeitsringverdichter . . . . .	53
3.4.5	Roots-Gebälse . . . . .	54
3.5	Ein- und Auslasssteuerung . . . . .	55
3.5.1	Aufbau selbsttätiger Ventile . . . . .	55
3.5.2	Ventileinbau . . . . .	56
3.5.3	Ventilauslegung . . . . .	57
3.6	Regelung und Betriebsverhalten . . . . .	59
3.6.1	Regelung . . . . .	59
3.6.2	Betriebsverhalten . . . . .	62
3.7	Bauformen und Baugruppen . . . . .	62
3.7.1	Hubkolbenverdichter . . . . .	62
3.7.2	Membranverdichter . . . . .	64
3.7.3	Schraubenverdichter . . . . .	64
3.7.4	Rotationsverdichter . . . . .	66
	Literatur . . . . .	67

<b>4</b>	<b>Verbrennungsmotoren</b> . . . . .	<b>69</b>
	Helmut Tschöke und Klaus Mollenhauer	
4.1	Einteilung und Anwendung . . . . .	69
4.2	Arbeitsverfahren und Arbeitsprozesse . . . . .	70
	4.2.1 Arbeitsverfahren . . . . .	70
	4.2.2 Vergleichsprozesse . . . . .	70
	4.2.3 Wirklicher Arbeitsprozess . . . . .	73
4.3	Ladungswechsel . . . . .	79
	4.3.1 Kenngrößen des Ladungswechsels . . . . .	79
	4.3.2 Steuerorgane für den Ladungswechsel . . . . .	80
	4.3.3 Ladungswechsel des Viertaktmotors . . . . .	83
	4.3.4 Ladungswechsel des Zweitaktmotors . . . . .	85
	4.3.5 Aufladung von Motoren . . . . .	87
4.4	Verbrennung im Motor . . . . .	91
	4.4.1 Motoren-Kraftstoffe . . . . .	91
	4.4.2 Gemischbildung und Verbrennung im Ottomotor . . . . .	92
	4.4.3 Gemischbildung und Verbrennung im Dieselmotor . . . . .	94
	4.4.4 Hybride Verfahren für Gemischbildung und Verbrennung . . . . .	97
4.5	Verfahren zur Gemischbildung und Zündung bei Ottomotoren . . . . .	98
	4.5.1 Anforderungen an Gemischbildung . . . . .	98
	4.5.2 Vergaser . . . . .	98
	4.5.3 Saugrohr-Benzin-Einspritzung . . . . .	99
	4.5.4 Direkte Benzin-Einspritzung . . . . .	100
	4.5.5 Zündausrüstung . . . . .	102
4.6	Einrichtungen zur Gemischbildung und Zündung bei Dieselmotoren . . . . .	104
	4.6.1 Einspritzsysteme . . . . .	104
	4.6.2 Einspritzdüse . . . . .	107
	4.6.3 Start- und Zündhilfen . . . . .	108
4.7	Betriebsverhalten und Kenngrößen . . . . .	109
	4.7.1 Leistung, Drehmoment und Verbrauch . . . . .	109
	4.7.2 Kenngrößen . . . . .	110
	4.7.3 Umweltverhalten . . . . .	111
	4.7.4 Verbrennungsmotor als Antriebsaggregat . . . . .	120
4.8	Konstruktion von Motoren . . . . .	122
	4.8.1 Ähnlichkeitsbeziehungen und Beanspruchung . . . . .	122
	4.8.2 Motorbauarten . . . . .	124
	4.8.3 Motorbauteile . . . . .	126
	4.8.4 Ausgeführte Motorkonstruktionen . . . . .	130
	Literatur . . . . .	136

<b>5</b>	<b>Motoren für den maritimen Betrieb</b> . . . . .	139
	Udo Schlemmer-Kelling und Lars Nerheim	
5.1	Grundsätzliches . . . . .	139
5.2	Kraftstoffe . . . . .	142
	5.2.1 Flüssige Kraftstoffe . . . . .	142
	5.2.2 Gasförmige Kraftstoffe . . . . .	145
5.3	Motor Auslegung und Design . . . . .	146
5.4	Thermodynamik . . . . .	154
	5.4.1 Grundausslegung . . . . .	154
	5.4.2 Brennverfahren . . . . .	156
	5.4.3 Emissionen . . . . .	158
	5.4.4 Motorapplikation und Betrieb . . . . .	161
	Literatur . . . . .	164

## Teil II Strömungsmaschinen

<b>6</b>	<b>Grundlagen der Strömungsmaschinen</b> . . . . .	169
	Jörg Seume und Ronald Mailach	
6.1	Strömungstechnik . . . . .	169
	6.1.1 Einleitung und Definitionen . . . . .	169
	6.1.2 Wirkungsweise . . . . .	170
	6.1.3 Strömungsgesetze . . . . .	170
	6.1.4 Absolute und relative Strömung . . . . .	172
	6.1.5 Schaufelanordnung für Pumpen und Verdichter (Arbeitsmaschinen) . . . . .	173
	6.1.6 Schaufelanordnung für Turbinen (Kraftmaschinen) . . . . .	173
	6.1.7 Schaufelgitter, Stufe, Maschine, Anlage . . . . .	173
6.2	Thermodynamik . . . . .	174
	6.2.1 Thermodynamische Gesetze . . . . .	174
	6.2.2 Zustandsänderung . . . . .	175
	6.2.3 Totaler Wirkungsgrad . . . . .	176
	6.2.4 Statischer Wirkungsgrad . . . . .	176
	6.2.5 Polytroper und isentroper Wirkungsgrad . . . . .	176
	6.2.6 Mechanische Verluste . . . . .	178
6.3	Arbeitsfluid . . . . .	178
	6.3.1 Allgemeiner Zusammenhang zwischen thermischen und kalorischen Zustandsgrößen . . . . .	178
	6.3.2 Ideale Flüssigkeit . . . . .	179
	6.3.3 Ideales Gas . . . . .	179
	6.3.4 Reales Fluid . . . . .	179
	6.3.5 Kavitation bei Flüssigkeiten . . . . .	182
	6.3.6 Kondensation bei Dämpfen . . . . .	182

6.4	Schaufelgitter . . . . .	182
6.4.1	Anordnung der Schaufeln im Gitter . . . . .	182
6.4.2	Leit- und Laufgitter . . . . .	183
6.4.3	Einteilung nach Geschwindigkeits- und Druckänderung . . . . .	184
6.4.4	Reale Strömung in Schaufelgittern . . . . .	185
6.4.5	Gitterauslegung . . . . .	185
6.4.6	Strömungsverluste . . . . .	187
6.5	Stufen . . . . .	188
6.5.1	Zusammensetzen von Gittern zu Stufen . . . . .	188
6.5.2	Stufenkenngrößen . . . . .	190
6.5.3	Axiale Repetierstufe eines vielstufigen Verdichters . . . . .	192
6.5.4	Radiale Repetierstufe eines Verdichters . . . . .	192
6.5.5	Kenngrößen-Bereiche für Verdichterstufen . . . . .	193
6.5.6	Axiale Repetierstufe einer Turbine . . . . .	193
6.5.7	Radiale Turbinenstufe . . . . .	194
6.5.8	Kenngrößen-Bereiche für Turbinenstufen . . . . .	195
6.6	Maschine . . . . .	196
6.6.1	Beschaufelung, Ein- und Austrittsgehäuse . . . . .	196
6.6.2	Maschinenkenngrößen . . . . .	196
6.6.3	Wahl der Bauweise . . . . .	197
6.7	Betriebsverhalten und Regelmöglichkeiten . . . . .	199
6.7.1	Zusammenwirken von Strömungsmaschine und Anlage . . . . .	199
6.7.2	Regelung von Strömungsmaschinen . . . . .	200
6.7.3	Kennfeld und Betriebsverhalten von Verdichtern . . . . .	201
6.8	Beanspruchung und Festigkeit der wichtigsten Bauteile . . . . .	202
6.8.1	Rotierende Scheibe, rotierender Zylinder . . . . .	203
6.8.2	Durchbiegung, kritische Drehzahlen von Rotoren . . . . .	205
6.8.3	Beanspruchung der Schaufeln durch Fliehkräfte . . . . .	205
6.8.4	Beanspruchung der Schaufeln durch stationäre Strömungskräfte . . . . .	206
6.8.5	Schaufelschwingungen . . . . .	207
6.8.6	Gehäuse . . . . .	210
6.8.7	Thermische Beanspruchung . . . . .	211
	Literatur . . . . .	213
<b>7</b>	<b>Wasserturbinen</b> . . . . .	<b>215</b>
	Paul Thamsen	
7.1	Allgemeines . . . . .	215
7.1.1	Kennzeichen . . . . .	215
7.1.2	Wasserkraftwerke . . . . .	216
7.1.3	Wirtschaftliches . . . . .	217
7.2	Gleichdruckturbinen . . . . .	217
7.2.1	Pelton-turbinen . . . . .	217
7.2.2	Ossbergerturbinen . . . . .	218

---

7.3	Überdruckturbinen . . . . .	218
7.3.1	Francisturbinen . . . . .	218
7.3.2	Kaplanturbinen . . . . .	219
7.3.3	Déziazturbinen . . . . .	220
7.4	Werkstoffe . . . . .	220
7.5	Kennliniendarstellungen . . . . .	220
7.6	Extreme Betriebsverhältnisse . . . . .	221
7.7	Laufwasser- und Speicherkraftwerke . . . . .	222
	Literatur . . . . .	223
<b>8</b>	<b>Kreiselpumpen . . . . .</b>	<b>225</b>
	Paul Thamsen	
8.1	Allgemeines . . . . .	225
8.2	Bauarten . . . . .	225
8.2.1	Laufrad . . . . .	225
8.2.2	Gehäuse . . . . .	227
8.2.3	Fluid . . . . .	227
8.2.4	Werkstoff . . . . .	227
8.2.5	Antrieb . . . . .	228
8.3	Betriebsverhalten . . . . .	228
8.3.1	Kavitation . . . . .	228
8.3.2	Kennlinien . . . . .	230
8.3.3	Anpassung der Kreiselpumpe an den Leistungsbedarf . . . . .	231
8.3.4	Achsschubausgleich . . . . .	234
8.4	Ausgeführte Pumpen . . . . .	235
8.4.1	Wasserwirtschaft . . . . .	235
8.4.2	Kraftwerkstechnik . . . . .	235
8.4.3	Verfahrenstechnik . . . . .	235
8.4.4	Andere Einsatzgebiete . . . . .	236
	Literatur . . . . .	240
<b>9</b>	<b>Schiffspropeller . . . . .</b>	<b>241</b>
	Paul Thamsen	
9.1	Allgemeines . . . . .	241
9.2	Schiffspropeller . . . . .	241
	Literatur . . . . .	243
<b>10</b>	<b>Föttinger-Getriebe . . . . .</b>	<b>245</b>
	Paul Thamsen	
10.1	Prinzip und Bauformen . . . . .	245
10.2	Auslegung . . . . .	247
10.3	Föttinger-Kupplungen . . . . .	247
10.4	Bremsen . . . . .	248
10.5	Föttinger-Wandler . . . . .	249
	Literatur . . . . .	250

<b>11</b>	<b>Dampfturbinen</b> . . . . .	251
	Edwin Krämer	
11.1	Benennungen . . . . .	251
11.2	Bauarten . . . . .	252
	11.2.1 Kraftwerksturbinen . . . . .	252
	11.2.2 Industrieturbinen . . . . .	257
	11.2.3 Kleinturbinen . . . . .	260
11.3	Konstruktionselemente . . . . .	261
	11.3.1 Gehäuse . . . . .	261
	11.3.2 Ventile und Klappen . . . . .	261
	11.3.3 Beschaufelung . . . . .	262
	11.3.4 Wellendichtungen . . . . .	264
	11.3.5 Läufer-Dreheinrichtung . . . . .	264
	11.3.6 Lager . . . . .	264
11.4	Anfahren und Betrieb . . . . .	264
11.5	Regelung, Sicherheits- und Schutzeinrichtungen . . . . .	265
11.6	Berechnungsverfahren . . . . .	265
	11.6.1 Allgemeines . . . . .	265
	11.6.2 Auslegung von Industrieturbinen . . . . .	265
<b>12</b>	<b>Turboverdichter</b> . . . . .	269
	Harald Stricker	
12.1	Einteilung und Einsatzbereiche . . . . .	269
	12.1.1 Allgemeines . . . . .	269
	12.1.2 Ventilatoren . . . . .	269
	12.1.3 Axialverdichter . . . . .	269
	12.1.4 Radialverdichter . . . . .	270
12.2	Radiale Laufradbauarten . . . . .	272
	12.2.1 Allgemeine Anforderungen . . . . .	272
	12.2.2 Das geschlossene 2D-Laufrad . . . . .	272
	12.2.3 Das geschlossene 3D-Laufrad . . . . .	273
	12.2.4 Das offene 3D-Laufrad . . . . .	273
	12.2.5 Laufradverwendung . . . . .	273
	12.2.6 Laufradherstellung . . . . .	274
	12.2.7 Laufradfestigkeit und Strukturdynamik . . . . .	275
12.3	Radiale Verdichterbauarten . . . . .	275
	12.3.1 Einwellenverdichter . . . . .	275
	12.3.2 Getriebeverdichter . . . . .	278
	12.3.3 Gekapselte, direkt angetriebene Verdichter . . . . .	280
12.4	Regelung und Maschinenschutz . . . . .	281
	12.4.1 Verdichterkennfeld . . . . .	281
	12.4.2 Drehzahlregelung . . . . .	282
	12.4.3 Saugdrosselregelung . . . . .	282
	12.4.4 Eintrittsleitschaufel-Regelung . . . . .	283
	12.4.5 Bypass-Regelung . . . . .	283
	12.4.6 Maschinenüberwachung und -schutz . . . . .	284

12.5	Beispiel einer Radialverdichterauslegung . . . . .	285
12.5.1	Vereinfachtes Verfahren . . . . .	285
12.5.2	Betriebsbedingungen (vorgegeben) . . . . .	285
12.5.3	Gasdaten . . . . .	286
12.5.4	Volumenstrom, Laufraddurchmesser, Drehzahl . . . . .	286
12.5.5	Endtemperatur, spezifische polytrope Arbeit . . . . .	287
12.5.6	Wirkungsgrad, Stufenzahl . . . . .	287
12.5.7	Leistung . . . . .	287
	Literatur . . . . .	288
<b>13</b>	<b>Gasturbinen . . . . .</b>	<b>289</b>
	Jörg Seume und Jochen Gier	
13.1	Einteilung und Verwendung . . . . .	289
13.2	Thermodynamische Grundlagen . . . . .	290
13.2.1	Idealisierte Kreisprozesse . . . . .	290
13.2.2	Reale Gasturbinenprozesse . . . . .	292
13.3	Baugruppen . . . . .	293
13.3.1	Verdichter . . . . .	293
13.3.2	Turbine . . . . .	294
13.3.3	Brennkammer . . . . .	295
13.4	Gasturbine im Kraftwerk . . . . .	297
13.4.1	Allgemeines und Bauweise . . . . .	297
13.4.2	Gas- und Dampf-Anlagen . . . . .	297
13.4.3	Luftspeicher-Kraftwerk . . . . .	298
13.5	Gasturbinen im Verkehr . . . . .	298
13.5.1	Flugtriebwerke . . . . .	298
13.5.2	Schifffahrt . . . . .	306
13.5.3	Straßenfahrzeuge . . . . .	306
13.5.4	Abgasturbolader . . . . .	306
13.6	Brennstoffe . . . . .	307
13.7	Beanspruchungen und Werkstoffe . . . . .	307
13.8	Betriebsverhalten . . . . .	307
13.8.1	Ähnlichkeitskennfelder . . . . .	307
13.8.2	Teillastbetrieb . . . . .	309
13.9	Abgasemission . . . . .	309
	Literatur . . . . .	310
	<b>Literatur zu Teil II Strömungsmaschinen . . . . .</b>	<b>311</b>



### Teil III Fördertechnik

<b>14</b>	<b>Grundlagen</b> . . . . .	315
	Thorsten Schmidt, Jan Scholten, Michael Ketting und Karl-Heinz Wehking	
14.1	Begriffsbestimmungen und Übersicht . . . . .	315
14.1.1	Einordnung der Fördertechnik . . . . .	315
14.1.2	Fördergüter und Fördermaschinen . . . . .	316
14.1.3	Kenngößen des Fördervorgangs . . . . .	319
14.2	Antriebe der Fördermaschinen . . . . .	319
14.2.1	Hubwerke . . . . .	319
14.2.2	Fahrwerke . . . . .	320
14.2.3	Drehwerke . . . . .	323
14.2.4	Einzieh- und Wippwerke . . . . .	326
14.2.5	Kraftschlüssige Antriebe . . . . .	327
14.2.6	Formschlüssige Antriebe . . . . .	327
14.2.7	Antriebsmotoren und Steuerungen . . . . .	328
14.3	Tragwerke . . . . .	331
14.3.1	Tragwerksgestaltung . . . . .	331
14.3.2	Grundlagen der Tragwerksberechnung . . . . .	332
14.3.3	Lasten und Lastkombinationen . . . . .	334
14.3.4	Zu führende Einzelnachweise . . . . .	337
14.4	Charakteristische Maschinenelemente der Fördertechnik	338
14.4.1	Ketten und Kettentriebe . . . . .	338
14.4.2	Seile und Seiltriebe . . . . .	341
14.4.3	Faserseile . . . . .	351
14.4.4	Mechanische Elemente der Antriebe . . . . .	354
14.4.5	Lauftrad und Schiene (Schienenfahrwerke) . . . . .	359
14.4.6	Raupenfahrwerke . . . . .	363
	Literatur . . . . .	368
<b>15</b>	<b>Hebezeuge und Krane</b> . . . . .	371
	Jan Scholten	
15.1	Tragmittel und Lastaufnahmemittel . . . . .	371
15.1.1	Lasthaken . . . . .	371
15.1.2	Lastaufnahmemittel für Stückgüter . . . . .	372
15.1.3	Lastaufnahmemittel für Schüttgüter . . . . .	373
15.2	Hubwerksausführungen . . . . .	374
15.2.1	Serienhebezeuge . . . . .	377
15.2.2	Einzelhebezeuge . . . . .	378
15.3	Kranarten . . . . .	379
15.3.1	Brücken- und Portalkrane . . . . .	379
15.3.2	Drehkrane . . . . .	384
15.3.3	Fahrzeugkrane . . . . .	390
15.3.4	Weitere Kranarten . . . . .	391
	Literatur . . . . .	392

---

<b>16</b>	<b>Flurförderzeuge</b> . . . . .	395
	Rainer Bruns	
16.1	Baugruppen und Komponenten . . . . .	395
16.1.1	Fahrwerk . . . . .	395
16.1.2	Fahrtrieb . . . . .	396
16.1.3	Hubgerüst . . . . .	396
16.1.4	Lastaufnahmevorrichtung . . . . .	397
16.1.5	Hubtrieb, Antrieb der Nebenfunktionen . . . . .	397
16.2	Handbetriebene Flurförderzeuge . . . . .	398
16.2.1	Handwagen . . . . .	398
16.2.2	Rollwagen . . . . .	398
16.2.3	Handgabelhubwagen . . . . .	398
16.3	Motorisch betriebene Flurförderzeuge . . . . .	398
16.3.1	Niederhubwagen . . . . .	398
16.3.2	Gabelhochhubwagen . . . . .	399
16.3.3	Spreizenstapler . . . . .	400
16.3.4	Gegengewichtstapler . . . . .	400
16.3.5	Schubstapler . . . . .	400
16.3.6	Mehrwegestapler . . . . .	400
16.3.7	Querstapler . . . . .	401
16.3.8	Schmalgangstapler . . . . .	401
16.3.9	Kommissionier-Flurförderzeuge . . . . .	401
16.3.10	Wagen . . . . .	402
16.3.11	Schlepper . . . . .	403
16.3.12	Schleppzüge . . . . .	403
16.3.13	Portalstapler . . . . .	403
16.3.14	Fahrerlose Transportsysteme (FTS) . . . . .	405
	Literatur . . . . .	405
<b>17</b>	<b>Weitere Unstetigförderer</b> . . . . .	407
	Ludger Overmeyer	
17.1	Elektrohängebahn . . . . .	407
	Literatur . . . . .	407
<b>18</b>	<b>Aufzüge und Schachtförderanlagen</b> . . . . .	409
	Karl-Heinz Wehking	
18.1	Übersicht . . . . .	409
18.2	Aufzüge . . . . .	409
18.2.1	Hydraulikaufzüge . . . . .	409
18.2.2	Seilaufzüge . . . . .	410
18.2.3	Bemessung, Förderstrom, Steuerung . . . . .	410
18.2.4	Steuerungen . . . . .	412
18.2.5	Spezifische Sicherheitseinrichtungen . . . . .	414
18.3	Schachtförderanlagen . . . . .	415
	Literatur . . . . .	415

<b>19</b>	<b>Stetigförderer</b> . . . . .	417
	Andre Katterfeld, Friedrich Krause, Ludger Overmeyer, Karl-Heinz Wehking, Willibald Günthner und Michael ten Hompel	
19.1	Berechnungsgrundlagen . . . . .	417
19.2	Stetigförderer mit Zugmittel . . . . .	418
19.2.1	Grundlagen der Berechnung . . . . .	418
19.2.2	Gurtförderer . . . . .	422
19.2.3	Becherwerke (Becherförderer) . . . . .	436
19.2.4	Kreisförderer . . . . .	440
19.2.5	Gliederbandförderer . . . . .	441
19.2.6	Kratzerförderer . . . . .	442
19.2.7	Trogkettenförderer . . . . .	443
19.3	Stetigförderer ohne Zugmittel . . . . .	444
19.3.1	Förderer mit Schnecken . . . . .	444
19.3.2	Schwingförderer . . . . .	446
19.3.3	Rollen- und Kugelbahnen . . . . .	448
19.4	Sorter . . . . .	450
19.4.1	Sortiersystem – Sortieranlage – Sorter . . . . .	450
19.4.2	Systematik der Verteilförderer . . . . .	451
19.4.3	Quergurtsorter . . . . .	451
19.4.4	Kippschalensorter . . . . .	452
19.4.5	Schiebeschuhsorter . . . . .	452
19.5	Weitere Stetigförderer . . . . .	452
19.5.1	Plattenbandförderer . . . . .	452
19.5.2	Schubplattformförderer . . . . .	452
19.5.3	Schuppenförderer . . . . .	453
19.5.4	Umlauf-S-Förderer . . . . .	454
19.5.5	Rutschen und Fallrohre . . . . .	454
19.6	Strömungsförderer . . . . .	454
19.6.1	Pneumatische Förderer . . . . .	455
19.6.2	Hydraulische Förderer . . . . .	456
19.6.3	Berechnungsgrundlagen . . . . .	457
	Literatur . . . . .	457
<b>20</b>	<b>Lager- und Systemtechnik</b> . . . . .	459
	Willibald Günthner, Michael ten Hompel, Andre Katterfeld und Friedrich Krause	
20.1	Stückgut-Systemtechnik . . . . .	459
20.1.1	Transporteinheiten (TE) und Transporthilfsmittel (THM) . . . . .	459
20.1.2	Funktion und Subsysteme . . . . .	460
20.1.3	Theoretische Behandlung von Materialflusssystemen . . . . .	463
20.1.4	Lagereinrichtung und Lagerbedienung . . . . .	465
20.1.5	Belegungs- und Bedienstrategien . . . . .	471
20.1.6	Lagerkennzahlen . . . . .	473
20.1.7	Kommissionierung . . . . .	474

	20.1.8	Steuerung automatischer Lagersysteme . . . . .	478
	20.1.9	Betrieb von Lagersystemen . . . . .	480
20.2		Schüttgut-Systemtechnik . . . . .	482
	20.2.1	Übersicht . . . . .	482
	20.2.2	Schüttgutlager . . . . .	482
		Literatur . . . . .	482
<b>21</b>		<b>Automatisierung in der Materialflusstechnik . . . . .</b>	<b>485</b>
		Ludger Overmeyer	
	21.1	Materialflussteuerungen . . . . .	485
	21.2	Sensorik . . . . .	485
	21.3	Aktuatoren . . . . .	485
	21.4	Identifikationssysteme . . . . .	486
	21.4.1	Identifikation durch Personen und Geräte . . . . .	486
	21.4.2	Optische Datenerfassung und -übertragung . . . . .	487
	21.4.3	Elektronische Datenerfassung und -übertragung durch RFID . . . . .	491
	21.4.4	Magnetische Datenübertragung . . . . .	495
	21.4.5	Mechanische Datenübertragung . . . . .	495
	21.4.6	Weiterverarbeitung der gewonnenen Daten . . . . .	495
		Literatur . . . . .	495
<b>22</b>		<b>Baumaschinen . . . . .</b>	<b>497</b>
		Günter Kunze	
	22.1	Einteilung und Begriffe . . . . .	497
	22.2	Hochbaumaschinen . . . . .	497
	22.2.1	Turmdrehkrane . . . . .	497
	22.2.2	Betonmischanlagen . . . . .	497
	22.2.3	Transportbetonmischer . . . . .	499
	22.2.4	Betonpumpen . . . . .	499
	22.2.5	Verteilmasten . . . . .	500
	22.3	Erdbaumaschinen . . . . .	502
	22.3.1	Bagger . . . . .	502
	22.3.2	Schaufellader . . . . .	504
	22.3.3	Planiermaschinen . . . . .	507
	22.3.4	Transportfahrzeuge . . . . .	508
		Literatur . . . . .	509
 <b>Teil IV Grundlagen der Verfahrenstechnik</b>			
<b>23</b>		<b>Einführung . . . . .</b>	<b>513</b>
		Matthias Bohnet	
		Literatur . . . . .	514

<b>24</b>	<b>Mechanische Verfahrenstechnik</b> . . . . .	517
	Arno Kwade und Jörg Schwedes	
24.1	Einführung . . . . .	517
24.2	Zerkleinern . . . . .	518
24.2.1	Bruchphysik . . . . .	518
24.2.2	Zerkleinerungsmaschinen . . . . .	519
24.3	Agglomerieren/Granulieren . . . . .	520
24.3.1	Bindemechanismen, Agglomeratfestigkeit . . . . .	521
24.3.2	Granulationstechnik . . . . .	521
24.4	Trennen . . . . .	522
24.4.1	Abscheiden von Partikeln aus Gasen . . . . .	523
24.4.2	Abscheiden von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten . . . . .	523
24.4.3	Klassieren in Gasen . . . . .	525
24.5	Mischen von Feststoffen . . . . .	526
24.6	Lagern . . . . .	527
24.6.1	Fließverhalten von Schüttgütern . . . . .	527
24.6.2	Dimensionierung von Silos . . . . .	527
	Literatur . . . . .	528
<b>25</b>	<b>Thermische Verfahrenstechnik</b> . . . . .	529
	Stephan Scholl und Alfons Mersmann	
25.1	Absorbieren, Rektifizieren, Flüssig-flüssig-Extrahieren . . . . .	529
25.1.1	Durchsatz . . . . .	531
25.1.2	Stofftrennung . . . . .	531
25.2	Verdampfen und Kristallisieren . . . . .	534
25.3	Adsorbieren, Trocknen, Fest-flüssig-Extrahieren . . . . .	536
25.4	Membrantrennverfahren . . . . .	539
	Literatur . . . . .	540
<b>26</b>	<b>Chemische Verfahrenstechnik</b> . . . . .	541
	Andreas Seidel-Morgenstern	
26.1	Einleitung . . . . .	541
26.2	Stöchiometrie . . . . .	541
26.3	Chemische Thermodynamik . . . . .	543
26.4	Kinetik chemischer Reaktionen . . . . .	544
26.5	Ideale isotherme Reaktoren . . . . .	547
26.6	Reale Reaktoren . . . . .	549
	Literatur . . . . .	552
<b>27</b>	<b>Mehrphasenströmungen</b> . . . . .	553
	Matthias Bohnet	
27.1	Einphasenströmung . . . . .	553
27.2	Widerstand fester und fluider Partikel . . . . .	554
27.3	Feststoff/Fluidströmung . . . . .	555
27.3.1	Pneumatische Förderung . . . . .	555
27.3.2	Hydraulische Förderung . . . . .	559
27.3.3	Wirbelschicht . . . . .	560

---

27.4	Gas-/Flüssigkeitsströmung . . . . .	562
27.4.1	Strömungsform . . . . .	562
27.4.2	Druckverlust . . . . .	562
27.4.3	Filmströmung . . . . .	563
	Literatur . . . . .	564
<b>28</b>	<b>Bioverfahrenstechnik . . . . .</b>	<b>565</b>
	Rainer Krull, Dietmar Hempel und Thomas Wucherpennig	
28.1	Mikroorganismen mit technischer Bedeutung . . . . .	565
28.1.1	Bakterien . . . . .	565
28.1.2	Pilze . . . . .	566
28.1.3	Hefen . . . . .	567
28.1.4	Algen . . . . .	567
28.1.5	Viren . . . . .	568
28.1.6	Pflanzliche und tierische Zellen . . . . .	568
28.2	Kultivierungsbedingungen . . . . .	569
28.2.1	Wachstumsbedingungen . . . . .	569
28.2.2	Phänomenologie des Wachstums . . . . .	571
28.2.3	Ablauf technischer Kultivierungen . . . . .	573
28.2.4	Prozessbeispiel – Produktion monoklonaler Antikörper . . . . .	575
28.3	Sterilisation . . . . .	577
28.3.1	Hitzesterilisation . . . . .	577
28.3.2	Sterilfiltration . . . . .	579
28.4	Bioreaktoren . . . . .	580
28.4.1	Oberflächenkultivierung . . . . .	580
28.4.2	Submerskultivierung . . . . .	580
28.4.3	Mess- und Regelungstechnik . . . . .	583
28.4.4	Schaumzerstörung . . . . .	583
28.4.5	Steriler Betrieb . . . . .	584
28.5	Kinetik enzymatischer Reaktionen . . . . .	584
28.5.1	Katalytische Wirkung der Enzyme . . . . .	584
28.5.2	Michaelis-Menten-Kinetik . . . . .	585
28.5.3	Transformationen der Michaelis-Menten- Gleichung . . . . .	586
28.5.4	Einfluss von Temperatur, pH-Wert, Inhibitoren und Aktivatoren . . . . .	586
28.6	Kinetik des mikrobiellen Wachstums . . . . .	588
28.6.1	Substratlimitiertes Wachstum . . . . .	588
28.6.2	Wachstumshemmung . . . . .	590
28.6.3	Wachstum mit Transportlimitierung . . . . .	591
28.6.4	Wachstum in kontinuierlicher Kultivierung . . . . .	591
28.6.5	<i>Fed Batch</i> -Kultivierung . . . . .	594
28.6.6	Zellerhaltung . . . . .	594
28.6.7	Filamentöses Wachstum . . . . .	595
28.6.8	Rheologie von Kultivierungsbrühen . . . . .	598
28.6.9	Produktbildungskinetik . . . . .	599
	Literatur . . . . .	600

---

**Teil V Thermischer Apparatebau und Industrieöfen**

<b>29</b>	<b>Industrieöfen</b> . . . . .	603
	Eckehard Specht und Friedherz Becker	
29.1	Grundlagen . . . . .	603
29.2	Charakterisierung . . . . .	603
29.3	Spezifischer Energieverbrauch . . . . .	606
29.4	Wärmerückgewinnung durch Luftvorwärmung . . . . .	608
	Literatur . . . . .	610
<b>30</b>	<b>Drehrohröfen</b> . . . . .	611
	Eckehard Specht und Friedherz Becker	
30.1	Bauarten und Prozesse . . . . .	611
30.1.1	Wirkungsweise . . . . .	611
30.1.2	Materialtransport . . . . .	612
30.1.3	Beheizung . . . . .	613
30.1.4	Drehrohrmantel . . . . .	614
30.1.5	Lagerung und Antrieb . . . . .	614
30.1.6	Ofenköpfe . . . . .	616
30.1.7	Thermische Behandlungsprozesse . . . . .	616
30.2	Quertransport . . . . .	616
30.2.1	Arten der Querbewegung . . . . .	616
30.2.2	Rolling Motion . . . . .	617
30.2.3	Segregation . . . . .	618
30.3	Axialtransport . . . . .	618
30.3.1	Bettiefenprofil . . . . .	618
30.3.2	Mittlere Verweilzeit . . . . .	619
30.4	Wärmeübergang . . . . .	619
30.4.1	Gesamtmechanismus . . . . .	619
30.4.2	Direkter Wärmeübergang . . . . .	620
30.4.3	Regenerativer Wärmeübergang . . . . .	620
30.4.4	Axiale Temperaturverläufe . . . . .	621
	Literatur . . . . .	622
<b>31</b>	<b>Schacht-, Kupol- und Hochöfen</b> . . . . .	625
	Eckehard Specht und Friedherz Becker	
31.1	Prozesse und Funktionsweisen . . . . .	625
31.2	Strömung . . . . .	626
31.2.1	Druckverlust . . . . .	626
31.2.2	Lückengrad . . . . .	627
31.3	Wärme- und Stoffübertragung . . . . .	628
31.4	Axiale Temperatur- und Massenstromprofile . . . . .	628
	Literatur . . . . .	629

---

<b>32</b>	<b>Öfen für geformtes Gut</b> . . . . .	631
	Eckehard Specht und Friedherz Becker	
32.1	Betriebsweise . . . . .	631
32.2	Durchlauföfen . . . . .	632
32.2.1	Stoßofen . . . . .	632
32.2.2	Hubbalkenofen . . . . .	633
32.2.3	Tunnelwagenofen . . . . .	633
32.2.4	Rollenherdofen . . . . .	634
32.2.5	Konstruktive Merkmale . . . . .	637
32.2.6	Verfahrenstechnische Merkmale . . . . .	638
32.3	Beschreibung von Chargenöfen . . . . .	639
32.4	Beheizung . . . . .	640
32.4.1	Direkte Beheizung . . . . .	640
32.4.2	Indirekte Beheizung . . . . .	643
32.4.3	Elektrobeheizung . . . . .	643
32.5	Wärmeübertragung . . . . .	646
32.5.1	Strahlung in Industrieöfen . . . . .	646
32.5.2	Konvektion . . . . .	655
32.5.3	Wärmeübergang ins Solid . . . . .	657
	Literatur . . . . .	657
<b>33</b>	<b>Feuerfestmaterialien</b> . . . . .	659
	Eckehard Specht und Friedherz Becker	
	Literatur . . . . .	662
<b>34</b>	<b>Wärmeübertrager</b> . . . . .	663
	Lothar Mörl und Eckehard Specht	
34.1	Konstante Wärmestromdichte . . . . .	663
34.2	Konstante Wandtemperatur . . . . .	664
34.3	Wärmeübertragung Fluid–Fluid . . . . .	665
34.3.1	Temperaturverläufe . . . . .	665
34.3.2	Gleiche Kapazitätsströme (Gegenstrom) . . . . .	666
34.3.3	Ungleiche Kapazitätsstromverhältnisse . . . . .	666
34.4	Auslegung von Wärmeübertragern . . . . .	667
34.5	Kondensatoren . . . . .	668
34.5.1	Grundbegriffe der Kondensation . . . . .	668
34.5.2	Oberflächenkondensatoren . . . . .	668
34.5.3	Luftgekühlte Kondensatoren . . . . .	670
	Literatur . . . . .	671
<b>35</b>	<b>Konstruktionselemente von Apparaten und Rohrleitungen</b> .	673
	Lothar Mörl und Horst Gelbe	
35.1	Berechnungsgrundlagen . . . . .	673
35.2	Zylindrische Mäntel und Rohre unter innerem Überdruck	674
35.3	Zylindrische Mäntel unter äußerem Überdruck . . . . .	675



35.4	Ebene Böden . . . . .	676
35.4.1	Wanddicke verschraubter runder ebener Böden ohne Ausschnitt . . . . .	677
35.4.2	Wanddicke ebener Böden mit Ausschnitten . . .	678
35.5	Gewölbte Böden . . . . .	678
35.6	Ausschnitte . . . . .	680
35.6.1	Spannungsbeanspruchte Querschnitte . . . . .	680
35.6.2	Druckbeanspruchte Querschnittsflächen $A_p$ . . .	681
35.7	Flanschverbindungen . . . . .	682
35.7.1	Schrauben . . . . .	682
35.7.2	Flansche . . . . .	684
35.8	Rohrleitungen . . . . .	687
35.8.1	Rohrdurchmesser . . . . .	687
35.8.2	Strömungsverluste . . . . .	688
35.8.3	Rohrarten, Normen, Werkstoffe . . . . .	688
35.8.4	Rohrverbindungen . . . . .	689
35.8.5	Dehnungsausgleicher . . . . .	691
35.8.6	Rohrhalterungen . . . . .	692
35.9	Absperr- und Regelorgane . . . . .	695
35.9.1	Allgemeines . . . . .	695
35.9.2	Ventile . . . . .	697
35.9.3	Schieber . . . . .	698
35.9.4	Hähne (Drehschieber) . . . . .	699
35.9.5	Klappen . . . . .	700
35.10	Dichtungen . . . . .	700
35.10.1	Berührungsdichtungen an ruhenden Flächen . . .	700
35.10.2	Berührungsdichtungen an gleitenden Flächen . .	702
	Anhang . . . . .	704
	Literatur . . . . .	706
<b>36</b>	<b>Intensivkühlung heißer Metalle mit Flüssigkeiten . . . . .</b>	<b>709</b>
	Eckehard Specht	
36.1	Phänomenologie . . . . .	709
36.2	Tauchkühlung . . . . .	712
36.3	Spritzkühlung . . . . .	713
36.3.1	Düsentechnik . . . . .	713
36.3.2	Wärmeübergangsmechanismus . . . . .	715
36.3.3	Filmverdampfung . . . . .	715
36.3.4	Einfluss der Wassertemperatur . . . . .	717
36.4	Wasserqualität . . . . .	717
	Literatur . . . . .	718
	<b>Literatur zu Teil V Thermischer Apparatebau und Industrieöfen . . . . .</b>	<b>719</b>

## Teil VI Kälte-, Klima- und Heizungstechnik

<b>37</b>	<b>Kältetechnik</b> . . . . .	723
	Christian Hainbach	
37.1	Einsatzgebiete . . . . .	723
37.2	Kältetechnische Verfahren . . . . .	724
37.2.1	Kaltdampf-Kompressionskälteanlage . . . . .	724
37.2.2	Absorptionskälteanlage . . . . .	725
37.2.3	Verdunstungskühlverfahren . . . . .	727
37.3	Kältetechnische Betriebsstoffe . . . . .	728
37.3.1	Kältemittel . . . . .	728
37.3.2	Kältemaschinen-Öle . . . . .	733
37.3.3	Kühlsolen . . . . .	734
37.4	Systeme und Bauteile der kältetechnischen Anlagen . . .	736
37.4.1	Kältemittelverdichter . . . . .	736
37.4.2	Verdampfer . . . . .	739
37.4.3	Verflüssiger . . . . .	740
37.4.4	Sonstige Bauteile . . . . .	740
37.5	Direktverdampfer-Anlagen . . . . .	742
37.5.1	Verflüssigersätze, Splitgeräte für Klimaanlage .	743
37.6	Kaltwassersätze . . . . .	744
37.6.1	Kompressions-Kaltwassersätze . . . . .	744
37.6.2	Absorptions-Kaltwassersatz . . . . .	744
37.7	Rückkühlwerke . . . . .	745
37.7.1	Kühlwassertemperaturen im Jahresverlauf . . . .	746
37.7.2	Wasserbehandlung . . . . .	747
37.8	Freie Kühlung . . . . .	747
37.8.1	Freie Kühlung . . . . .	747
37.8.2	Freie Kühlung durch Solekreislauf . . . . .	748
37.8.3	Freie Kühlung durch Kältemittel-Pumpen-System	748
37.8.4	Freie Kühlung durch Rückkühlwerk . . . . .	748
37.9	Speichersysteme . . . . .	749
37.9.1	Eisspeichersysteme . . . . .	749
37.9.2	Kältespeicherung in eutektischer Lösung . . . . .	750
37.9.3	Kältespeicherung in Binäreis . . . . .	751
37.10	Wärmepumpenanlagen . . . . .	752
37.10.1	Wärmequellen . . . . .	754
37.10.2	Kleinwärmepumpen . . . . .	754
37.10.3	Wärmepumpen größerer Leistung . . . . .	755
37.10.4	Absorptionswärmepumpen . . . . .	756
37.10.5	Wärmepumpensysteme Heizbetrieb . . . . .	757
37.10.6	Systeme für gleichzeitigen Kühl- und Heizbetrieb	758
37.10.7	Wärmepumpen in Heizsystemen . . . . .	760
	Anhang . . . . .	761
	Literatur . . . . .	762

---

<b>38</b>	<b>Klimatechnik</b> . . . . .	765
	Sylvia Schädlich	
38.1	Anforderungen an das Raumklima . . . . .	765
38.1.1	Raumluftfeuchte . . . . .	769
38.1.2	Raumluftgeschwindigkeit . . . . .	770
38.1.3	Schadstoffgehalt . . . . .	770
38.1.4	Weitere Einflussgrößen . . . . .	770
38.2	Auslegung von Klimaanlageanlagen . . . . .	772
38.2.1	Meteorologische Grundlagen . . . . .	772
38.2.2	Heizlast . . . . .	772
38.2.3	Kühllast . . . . .	775
38.2.4	Luft-Volumenstrom . . . . .	777
38.3	Luftführung und Luftdurchlässe . . . . .	777
38.3.1	Luftführung . . . . .	777
38.3.2	Luftdurchlässe . . . . .	781
38.4	Komponenten von Lüftungs- und Klimaanlageanlagen . . . . .	784
38.4.1	Ventilatoren . . . . .	785
38.4.2	Lufterhitzer, -kühler . . . . .	793
38.4.3	Luftbefeuchter . . . . .	794
38.4.4	Wärmerückgewinnung . . . . .	797
38.4.5	Luftfilter . . . . .	801
38.4.6	Schalldämpfer . . . . .	804
38.4.7	Luftkanalsystem . . . . .	807
38.4.8	Mess- und Regelungstechnik . . . . .	808
38.5	Lüftungsanlage . . . . .	808
38.5.1	Einrichtungen zur freien Lüftung . . . . .	808
38.5.2	Mechanische Lüftungsanlagen . . . . .	810
38.6	Zentrale Raumlufttechnische Anlagen . . . . .	810
38.6.1	Klassifizierung raumlufttechnischer Systeme . . . . .	810
38.6.2	Nur-Luft-Anlagen . . . . .	812
38.6.3	Luft-Wasser-Anlagen . . . . .	814
38.7	Dezentrale Klimaanlage . . . . .	819
38.8	Berücksichtigung von Klimaanlageanlagen nach Energieeinsparverordnung . . . . .	821
38.8.1	Referenzgebäudeverfahren für Nichtwohngebäude . . . . .	821
38.8.2	Wartung von Klimaanlageanlagen . . . . .	821
38.8.3	Energetische Inspektion von Klimaanlageanlagen . . . . .	822
38.8.4	Vorgaben für die Planung von Lüftungs- und Klimaanlagen . . . . .	822
38.8.5	Berücksichtigung von Klimaanlageanlagen in der DIN V 18599 . . . . .	823
38.8.6	Endenergie für Ventilatoren . . . . .	824
	Literatur . . . . .	824

---

<b>39</b>	<b>Systeme und Bauteile der Heizungstechnik</b> . . . . .	827
	Christian Hainbach	
39.1	Einzelheizung . . . . .	827
39.2	Zentralheizung . . . . .	828
39.2.1	Systeme . . . . .	828
39.2.2	Raum-Heizkörper, -Heizflächen . . . . .	829
39.2.3	Rohrnetz . . . . .	831
39.2.4	Armaturen . . . . .	833
39.2.5	Umwälzpumpen . . . . .	834
39.2.6	Wärmeerzeugung . . . . .	835
39.2.7	Heizzentrale . . . . .	837
39.2.8	Wärmeverbrauchsermittlung . . . . .	838
	Literatur . . . . .	839

## Teil VII Biomedizinische Technik

<b>40</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	845
	Stephan Klein und Marc Kraft	
	Literatur . . . . .	846
<b>41</b>	<b>Einteilung von Medizinprodukten</b> . . . . .	849
	Stephan Klein und Marc Kraft	
	Literatur . . . . .	850
<b>42</b>	<b>Ausgewählte Beispiele wichtiger medizintechnischer Geräte</b>	851
	Stephan Klein, Marc Kraft, Henrik Botterweck, Jürgen Manigel, Martin Ryschka, Harald Hanke, Peter Schouwink und Jochim Koch	
42.1	Bildgebung . . . . .	851
42.1.1	Definition und Aufgabe . . . . .	851
42.1.2	Modalitäten . . . . .	852
42.1.3	Trends und Aspekte . . . . .	858
42.2	Monitoring . . . . .	859
42.2.1	Patientenmonitoring . . . . .	859
42.2.2	Maschinenmonitoring . . . . .	859
42.2.3	Alarmgebung . . . . .	859
42.2.4	Zentrale Überwachung . . . . .	860
42.2.5	Gerätetechnik . . . . .	860
42.3	Beatmung, Inhalationsnarkose . . . . .	861
42.3.1	Beatmung . . . . .	861
42.3.2	Inhalationsnarkose . . . . .	862
42.3.3	Gasdosierung . . . . .	862
42.3.4	Narkosemitteldosierung . . . . .	863
42.3.5	Kreissystem . . . . .	863
42.3.6	CO <sub>2</sub> -Absorber . . . . .	864
42.3.7	Ventilator . . . . .	864
42.3.8	Gas-, Druck- und Flussmessung . . . . .	865

42.4	Therapie von Herzrhythmusstörungen . . . . .	865
42.5	Blutreinigung (Dialyse) . . . . .	867
42.6	Pumpen für Infusionen und Herzunterstützung . . . . .	870
42.6.1	Herzunterstützungssysteme . . . . .	872
42.7	Minimal-invasive Technologien . . . . .	873
42.7.1	Endoskopische Techniken . . . . .	873
42.7.2	Endoskope . . . . .	874
42.7.3	Interventionelle Kardiologie . . . . .	876
42.8	Orthopädische Implantate . . . . .	877
42.9	Gliedmaßenprothetik (Exoprothetik der Extremitäten) . .	880
42.10	Wärmetherapiegeräte für Früh- und Neugeborene . . . . .	883
	Literatur . . . . .	885
<b>43</b>	<b>Entwicklung und Marktzugang von Medizinprodukten . . .</b>	<b>887</b>
	Stephan Klein, Marc Kraft und Folker Spitzenberger	
	Literatur . . . . .	891
<b>44</b>	<b>Aufbereitung . . . . .</b>	<b>893</b>
	Marc Kraft	
	Literatur . . . . .	893
<b>45</b>	<b>Telemedizin . . . . .</b>	<b>895</b>
	Marc Kraft	
	Literatur . . . . .	896
<b>46</b>	<b>Physiologische Regelkreise . . . . .</b>	<b>897</b>
	Philipp Rostalski	
	Literatur . . . . .	899
	<b>Literatur zu Teil VII Biomedizinische Technik . . . . .</b>	<b>901</b>
<b>Teil VIII Energietechnik und -wirtschaft</b>		
<b>47</b>	<b>Grundsätze der Energieversorgung . . . . .</b>	<b>905</b>
	Hermann-Josef Wagner, Hendrik Hasenclever und Kathrin Hoffmann	
47.1	Planung und Investitionen . . . . .	907
47.2	Elektrizitätswirtschaft . . . . .	908
47.3	Gaswirtschaft . . . . .	913
47.4	Fernwärmewirtschaft . . . . .	915
	Literatur . . . . .	916
<b>48</b>	<b>Primärenergien . . . . .</b>	<b>917</b>
	Hermann-Josef Wagner, Christian Bratfisch, Hendrik Hasenclever und Kathrin Hoffmann	
48.1	Definitionen . . . . .	917
48.2	Feste Brennstoffe . . . . .	917
48.2.1	Natürliche feste Brennstoffe . . . . .	917
48.2.2	Künstliche feste Brennstoffe . . . . .	918

48.2.3	Abfallbrennstoffe . . . . .	918
48.2.4	Eigenschaften . . . . .	919
48.2.5	Mineralische Bestandteile . . . . .	920
48.3	Flüssige Brennstoffe . . . . .	921
48.3.1	Zusammensetzung . . . . .	921
48.3.2	Natürliche flüssige Brennstoffe . . . . .	921
48.3.3	Künstliche flüssige Brennstoffe . . . . .	922
48.3.4	Abfallbrennstoffe . . . . .	923
48.3.5	Eigenschaften . . . . .	923
48.4	Gasförmige Brennstoffe oder Brenngase . . . . .	925
48.4.1	Natürliche Brenngase . . . . .	925
48.4.2	Künstliche Brenngase . . . . .	926
48.4.3	Abfallbrenngase . . . . .	926
48.4.4	Eigenschaften . . . . .	926
48.5	Kernbrennstoffe . . . . .	927
48.5.1	Brutprozess . . . . .	929
48.5.2	Brennstoffkreislauf . . . . .	930
48.5.3	Endlagerung radioaktiver Abfälle . . . . .	931
48.6	Regenerative Energien . . . . .	932
48.6.1	Wasserenergie . . . . .	932
48.6.2	Windenergie . . . . .	933
48.6.3	Solarenergie . . . . .	934
48.6.4	Geothermische Energie . . . . .	935
48.6.5	Biogas . . . . .	936
48.6.6	Biomasse . . . . .	936
	Anhang . . . . .	938
	Literatur . . . . .	941
<b>49</b>	<b>Wandlung von Primärenergie in Nutzenergie . . . . .</b>	<b>943</b>
	Hermann-Josef Wagner, Christian Bratfisch, Hendrik Hasenclever und Kathrin Hoffmann	
49.1	Fossile Brennstoffe . . . . .	943
49.1.1	Wärme- und Stromkraftwerke . . . . .	943
49.1.2	Kombi-Kraftwerke . . . . .	950
49.1.3	Brennstoffzelle . . . . .	952
49.2	Kraft-Wärme-Kopplung . . . . .	952
49.2.1	KWK-Anlagen mit Verbrennungsmotoren . . . . .	953
49.2.2	KWK-Anlagen mit Gasturbinen . . . . .	954
49.2.3	KWK-Anlagen mit Dampfturbinen . . . . .	954
49.2.4	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen . . . . .	955
49.2.5	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz . . . . .	956
49.3	Strom-/Wärmeerzeugung mit regenerativen Energien . . . . .	956
49.3.1	Wasserkraftanlagen (s. Abschn. 48.6) . . . . .	956
49.3.2	Windkraftanlagen . . . . .	958
49.3.3	Anlagen zur Nutzung der Sonnenenergie . . . . .	960
49.3.4	Wärmepumpen . . . . .	965

49.4	Kernkraftwerke . . . . .	966
49.4.1	Bauteile des Reaktors und Reaktorgebäude . . . . .	967
49.4.2	Sicherheitstechnik von Kernreaktoren . . . . .	968
49.4.3	Leistungsregelung bei Kernreaktoren . . . . .	970
49.4.4	Bauarten von Kernreaktoren . . . . .	970
49.5	Umweltschutztechnologien . . . . .	974
49.5.1	Rauchgasentstaubung . . . . .	974
49.5.2	Rauchgasentschwefelung . . . . .	974
49.5.3	Rauchgasentstickung . . . . .	976
49.5.4	Kohlendioxidabscheidung . . . . .	977
49.5.5	Entsorgung der Kraftwerksnebenprodukte . . . . .	977
	Literatur . . . . .	978
<b>50</b>	<b>Verteilen und Speicherung von Nutzenergie . . . . .</b>	<b>981</b>
	Hermann-Josef Wagner, Hendrik Hasenclever und Kathrin Hoffmann	
50.1	Energietransport . . . . .	981
50.1.1	Mineralöltransporte . . . . .	981
50.1.2	Erdgastransporte . . . . .	982
50.1.3	Elektrische Verbundnetze . . . . .	983
50.1.4	Fernwärmetransporte . . . . .	985
50.2	Energiespeicherung . . . . .	985
50.2.1	Pumpspeicherwerke . . . . .	986
50.2.2	Druckluftspeicherwerke . . . . .	987
50.2.3	Dampfspeicherung . . . . .	988
50.2.4	Elektrische Speicher . . . . .	988
	Literatur . . . . .	990
<b>51</b>	<b>Feuerungen . . . . .</b>	<b>993</b>
	Klaus Görner	
51.1	Technische Feuerungen . . . . .	993
51.1.1	Feuerung in einem Dampferzeuger . . . . .	993
51.1.2	Einteilung von Feuerungen für gasförmige, flüssige und feste Brennstoffe . . . . .	993
51.2	Verbrennung . . . . .	994
51.2.1	Verbrennungsvorgang . . . . .	994
51.2.2	Kennzahlen . . . . .	995
51.2.3	Emissionsgrenzwerte . . . . .	997
51.3	Feuerungen für gasförmige Brennstoffe . . . . .	998
51.3.1	Verbrennung und Brennererteilung . . . . .	998
51.3.2	Brennerbauarten . . . . .	998
51.4	Feuerungen für flüssige Brennstoffe . . . . .	999
51.4.1	Besondere Eigenschaften . . . . .	999
51.4.2	Brenner . . . . .	999
51.4.3	Gesamtanlage . . . . .	1000

---

51.5	Feuerungen für feste Brennstoffe . . . . .	1001
51.5.1	Kohlenstaubfeuerung . . . . .	1001
51.5.2	Wirbelschichtfeuerung . . . . .	1009
51.5.3	Rostfeuerungen . . . . .	1011
51.6	Allgemeines Feuerungszubehör . . . . .	1016
51.6.1	Gebälse . . . . .	1016
51.6.2	Schornstein . . . . .	1016
	Literatur . . . . .	1017
<b>52</b>	<b>Dampferzeuger . . . . .</b>	<b>1019</b>
	Gerd Oeljeklaus	
52.1	Angaben zum System . . . . .	1019
52.1.1	Entwicklungsstufen . . . . .	1019
52.1.2	Dampferzeugersysteme . . . . .	1019
52.1.3	Drücke . . . . .	1020
52.1.4	Temperaturen . . . . .	1020
52.1.5	Dampfleistungen . . . . .	1021
52.1.6	Sicherheit . . . . .	1021
52.2	Ausgeführte Dampferzeuger . . . . .	1021
52.2.1	Großwasserraumkessel . . . . .	1021
52.2.2	Naturumlaufkessel für fossile Brennstoffe . . . . .	1021
52.2.3	Zwanglaufkessel für fossile Brennstoffe . . . . .	1023
52.3	Bauelemente von Dampferzeugern . . . . .	1026
52.3.1	Verdampfer . . . . .	1026
52.3.2	Überhitzer und Zwischenüberhitzer . . . . .	1026
52.3.3	Speisewasservorwärmer (Eco) . . . . .	1028
52.3.4	Luftvorwärmer (Luvo) . . . . .	1028
52.3.5	Speisewasseraufbereitung . . . . .	1029
52.4	Wärmetechnische Berechnung . . . . .	1030
52.4.1	Energiebilanz und Wirkungsgrad . . . . .	1030
52.4.2	Ermittlung der Heizfläche . . . . .	1031
52.4.3	Strömungswiderstände . . . . .	1032
52.4.4	Festigkeitsberechnung . . . . .	1032
	Literatur . . . . .	1032
 <b>Teil IX Fahrzeugtechnik</b>		
<b>53</b>	<b>Kraftfahrzeugtechnik . . . . .</b>	<b>1037</b>
	Volker Schindler und Steffen Müller	
53.1	Definition von Kraftfahrzeugen . . . . .	1037
53.2	Bedeutung von Kraftfahrzeugen . . . . .	1039
53.3	Karosserie . . . . .	1041
53.4	Fahrwerk . . . . .	1045
53.4.1	Räder . . . . .	1046
53.4.2	Radführungen . . . . .	1049
53.4.3	Federung und Dämpfung . . . . .	1050
53.4.4	Lenkung . . . . .	1051



53.5	Antrieb und Bremsen . . . . .	1053
53.5.1	Bremsen . . . . .	1053
53.5.2	Fahrdynamikregelsysteme . . . . .	1054
53.5.3	Energiewandlung . . . . .	1058
53.5.4	Kupplung und Kennungswandler . . . . .	1064
53.5.5	Achsgetriebe . . . . .	1067
53.6	Ausstattungen . . . . .	1067
53.6.1	Verglasung, Scheibenwischer . . . . .	1068
53.6.2	Sitzanlage, Bedienelemente, Anzeigen . . . . .	1068
53.6.3	Heizung und Klimatisierung . . . . .	1069
53.6.4	Systeme für den Insassenschutz . . . . .	1069
53.6.5	Licht und Beleuchtung . . . . .	1070
53.6.6	Fahrerassistenzsysteme . . . . .	1071
53.6.7	Automatisiertes Fahren . . . . .	1072
53.7	Elektrische Infrastruktur . . . . .	1073
53.8	Eigenschaften des Gesamtfahrzeugs . . . . .	1076
53.8.1	Package, Ergonomie, Mensch-Maschine- Interface . . . . .	1076
53.8.2	Fahrdynamik . . . . .	1077
53.8.3	Aerodynamik . . . . .	1081
53.8.4	Verbrauch und CO <sub>2</sub> -Emission . . . . .	1081
53.8.5	Abgasverhalten . . . . .	1083
53.8.6	Geräusch . . . . .	1083
53.8.7	Fahrzeugsicherheit . . . . .	1083
53.8.8	Betriebsfestigkeit . . . . .	1084
53.9	Typgenehmigung . . . . .	1085
53.10	Entwicklungsprozesse und -methoden . . . . .	1085
	Literatur . . . . .	1086
<b>54</b>	<b>Schienefahrzeuge . . . . .</b>	<b>1089</b>
	Markus Hecht, Oldrich Polach und Ulrich Kleemann	
54.1	Grundsätzliche Randbedingungen . . . . .	1089
54.1.1	Fahrzeugbegrenzungsprofil . . . . .	1090
54.1.2	Fahrgastwechselzeiten . . . . .	1091
54.1.3	Lebenszykluskosten LCC . . . . .	1091
54.2	Fahrwerke . . . . .	1092
54.2.1	Grundbegriffe der Spurführungstechnik . . . . .	1092
54.2.2	Radbauarten . . . . .	1094
54.2.3	Radsatz . . . . .	1094
54.2.4	Rad-Schiene-Kontakt . . . . .	1095
54.2.5	Fahrwerkskonstruktionen . . . . .	1098
54.2.6	Neigetchnik . . . . .	1102
54.3	Aufbau, Fahrzeugarten . . . . .	1103
54.3.1	Rohbau . . . . .	1104
54.3.2	Klimaanlage . . . . .	1104
54.3.3	Türen . . . . .	1105
54.3.4	Fenster . . . . .	1106
54.3.5	Führerräume . . . . .	1106

54.3.6	Zug-Stoßeinrichtungen . . . . .	1109
54.3.7	Fahrzeugarten . . . . .	1113
54.4	Antriebe . . . . .	1116
54.4.1	Fahrwiderstand . . . . .	1116
54.4.2	Konstruktionen . . . . .	1116
54.5	Elektrische/Elektronische Ausrüstung/Diagnose . . . . .	1117
54.5.1	Leistungselektrik . . . . .	1117
54.5.2	Diagnosetechnik . . . . .	1119
54.6	Sicherheitstechnik . . . . .	1120
54.6.1	Aktive Sicherheitstechnik/Bremse, Bremsbauarten . . . . .	1120
54.6.2	Passive Sicherheit . . . . .	1125
54.7	Entwicklungsmethodik . . . . .	1126
54.7.1	Modelle . . . . .	1128
54.7.2	Fahrkomfort . . . . .	1129
54.7.3	Rad-Schiene-Kräfte . . . . .	1129
54.8	Zuverlässigkeitsprüfung . . . . .	1130
	Literatur . . . . .	1131
<b>55</b>	<b>Luftfahrzeuge . . . . .</b>	<b>1135</b>
	Rudolf Voit-Nitschmann und Thomas Keilig	
55.1	Allgemeines . . . . .	1135
55.1.1	Luftverkehr . . . . .	1135
55.1.2	Anforderungen an den Luftverkehr und an Luftfahrzeuge . . . . .	1136
55.1.3	Einordnung und Konstruktionsgruppen von Luftfahrzeugen . . . . .	1137
55.1.4	Einordnung von Luftfahrzeugen nach Vorschriften . . . . .	1139
55.2	Definitionen . . . . .	1142
55.2.1	Die internationale Standardatmosphäre (ISA) . . . . .	1142
55.2.2	Achsenkreuze . . . . .	1144
55.2.3	Winkel . . . . .	1144
55.2.4	Gewichte . . . . .	1145
55.2.5	Fluggeschwindigkeiten . . . . .	1145
55.2.6	Geometrische Beschreibung des Luftfahrzeuges . . . . .	1147
55.2.7	Kräfte und Winkel im Flug . . . . .	1151
55.2.8	Flugsteuerung . . . . .	1152
55.2.9	Flugstabilitäten . . . . .	1153
55.3	Grundlagen der Flugphysik . . . . .	1154
55.3.1	Einführung . . . . .	1154
55.3.2	Flugzeugpolare . . . . .	1157
55.3.3	Flugleistungen . . . . .	1158
55.4	Zelle, Struktur . . . . .	1170
55.4.1	Konstruktionsphilosophien und -prinzipien . . . . .	1170
55.4.2	Lasten, Lastannahmen . . . . .	1171
55.4.3	Leichtbau . . . . .	1173
55.4.4	Werkstoffe und Bauweisen . . . . .	1175

---

55.4.5 Rumpf . . . . .	1178
55.4.6 Tragflügel . . . . .	1180
55.4.7 Wartung und Instandhaltung . . . . .	1184
Literatur . . . . .	1185
<b>Fachausdrücke . . . . .</b>	<b>1189</b>
<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>1265</b>