

Ekbert Hering ■ Karl-Heinz Modler (Hrsg.)

GRUNDWISSEN

14. Auflage

des Ingenieurs

Mathematik / Physik / Chemie / Elektrotechnik / Elektronik

Informatik und Kommunikationstechnik / Technische Mechanik

Strömungsmechanik / Thermodynamik / Konstruktionselemente

Konstruktionstechnik / Werkstofftechnik / Energietechnik

Fertigungstechnik / Fertigungssysteme / Fluidenergiemaschinen

Elektrische und elektronische Bauelemente / Messtechnik

Steuerungs- und Regelungstechnik / Antriebstechnik / Maschinendynamik / Simulationstechnik / Mechatronik / Adaptronik

Umwelttechnik / Betriebswirtschaftslehre

 **Fachbuchverlag Leipzig**

Standardwerk
aktualisierte
Auflage

8

Thermodynamik

Prof. Dr.-Ing. habil.
Hans-Joachim Kretzschmar
unter Mitarbeit von
Dr.-Ing. Ines Stöcker
Hochschule Zittau/Görlitz

Inhaltsverzeichnis

1	Mathematik	31
1.1	Zahlen	33
1.1.1	Reelle Zahlen	33
1.1.1.1	Aufbau des Zahlensystems	33
1.1.1.2	Potenzen, Wurzeln, Logarithmen.	33
1.1.1.3	Mittelwerte	34
1.1.2	Komplexe Zahlen	34
1.1.2.1	Imaginäre Einheit, Darstellung komplexer Zahlen	34
1.1.2.2	Rechnen mit komplexen Zahlen	35
1.1.2.3	Fundamentalsatz der Algebra.	37
1.1.2.4	Darstellung harmonischer Schwingungen	37
1.1.3	Folgen	38
1.1.4	Reihen	39
1.1.5	Kombinatorik	39
1.2	Lineare Algebra	40
1.2.1	Lineare Gleichungssysteme	40
1.2.1.1	Gauß-Algorithmus	40
1.2.1.2	Numerische Probleme	41
1.2.2	Vektorrechnung	42
1.2.2.1	Vektoralgebra	43
1.2.2.2	Skalarprodukt, Vektorprodukt, Spatprodukt.	44
1.2.2.3	Lineare Unabhängigkeit im \mathbb{R}^n	45
1.2.3	Determinanten	46
1.2.4	Matrizen	47
1.2.4.1	Lineare Abbildungen	47
1.2.4.2	Rechenregeln	48
1.2.4.3	Eigenwertprobleme	49
1.3	Funktionen einer reellen Veränderlichen	50
1.3.1	Funktionsbegriff	50
1.3.2	Grenzwert und Stetigkeit	51
1.3.3	Ableitung einer Funktion	53
1.3.3.1	Differenzialquotient	53
1.3.3.2	Extrema, Wendepunkte	55
1.3.3.3	Differenzial	56
1.3.3.4	Taylorentwicklung	56
1.3.3.5	Newton-Verfahren	57
1.3.3.6	Regel von de l'Hospital	58
1.3.4	Integralrechnung	59
1.3.4.1	Das bestimmte Integral	59
1.3.4.2	Stammfunktion, Hauptsatz der Differenzial- und Integralrechnung	60
1.3.4.3	Grundintegrale, Integrationsregeln	61
1.3.5	Elementare Funktionen	61
1.3.5.1	Rationale Funktionen	62
1.3.5.2	Wurzelfunktionen	64
1.3.5.3	Transzendente Funktionen	65

1.4	Funktionen mehrerer Variabler	68
1.4.1	Grafische Darstellung, Isoquanten	68
1.4.2	Partielle Ableitungen	69
1.4.3	Richtungsableitung, Gradient	69
1.4.4	Tangentialebene, totales Differenzial	70
1.4.5	Extrema	70
1.4.6	Mehrfachintegrale	71
1.5	Vektoranalysis	73
1.5.1	Kurven im \mathbb{R}^2	73
1.5.2	Kurvenintegrale	74
1.5.3	Potenzial, Gradientenfeld	75
1.5.4	Divergenz, Rotation, Integralsätze	75
1.6	Differenzialgleichungen	76
1.6.1	Differenzialgleichungen 1. Ordnung	77
1.6.2	Lineare Differenzialgleichungen n -ter Ordnung	78
1.6.3	Systeme von Differenzialgleichungen	79
1.6.4	Numerische Verfahren	81
2	Physik	83
2.1	Einleitung, Stellung der Physik	85
2.2	Mechanik	85
2.3	Akustik	86
2.3.1	Schallwellen	87
2.3.1.1	Schallgeschwindigkeit	87
2.3.1.2	Schallfeldgrößen	88
2.3.1.3	Pegelmaße	92
2.3.2	Schallempfindung	93
2.3.3	Raumakustik	96
2.3.4	Körperschalldämmung	98
2.4	Optik	100
2.4.1	Geometrische Optik	100
2.4.1.1	Lichtstrahlen und Abbildung	100
2.4.1.2	Reflexion	101
2.4.1.3	Brechung	102
2.4.1.4	Abbildung durch Linsen	102
2.4.1.5	Optische Instrumente	104
2.4.2	Wellenoptik	106
2.4.2.1	Interferenz	106
2.4.2.2	Beugung am Spalt	109
2.4.2.3	Beugung am Gitter	111
2.4.3	Quantenoptik	111
2.4.3.1	Lichtquanten	111
2.4.3.2	Emission und Absorption von Licht	112
2.4.3.3	Laser	113
3	Chemie	115
3.1	Atombau und chemische Bindung	118
3.1.1	Atombau	118
3.1.2	Periodensystem der Elemente	118

3.1.3	Chemische Bindung	121
3.1.3.1	Beschreibung der Bindungsarten	121
3.1.3.2	Intermolekulare Wechselwirkungen	124
3.2	Chemische Reaktionen	125
3.2.1	Stöchiometrie	125
3.2.2	Reaktionsenergie	126
3.2.3	Reaktionskinetik	127
3.2.4	Chemisches Gleichgewicht und Reaktionstypen	128
3.3	Analytische Chemie	130
3.3.1	Analysenverfahren	132
3.3.2	Probenahme	136
3.4	Umweltchemie	136
3.4.1	Boden	136
3.4.2	Wasser	138
3.4.3	Atmosphäre	139
3.4.4	Umweltschadstoffe	140
4	Elektrotechnik/Elektronik	147
4.1	Grundgesetze und Definitionen	149
4.1.1	Ladung und Strom	149
4.1.2	Spannung und Potenzial	150
4.1.3	Ohm'sches Gesetz und Widerstand	151
4.1.4	Arbeit und Leistung	152
4.1.5	Kirchhoff'sche Gesetze	152
4.2	Gleichstromkreise	153
4.2.1	Spannungs- und Stromquellen	153
4.2.2	Schaltungen von Widerständen	154
4.3	Elektrisches Feld	155
4.3.1	Feldbegriff	155
4.3.2	Kapazität	156
4.3.3	Laden und Entladen von Kondensatoren	157
4.4	Magnetisches Feld	158
4.4.1	Feldbegriff	158
4.4.2	Kräfte auf bewegte Ladungen im Magnetfeld	159
4.4.3	Materie im Magnetfeld	160
4.4.4	Magnetischer Kreis	161
4.4.5	Elektromagnetische Induktion	163
4.4.6	Selbstinduktion	164
4.4.7	Ein- und Ausschalten von Stromkreisen mit Spulen	165
4.5	Wechselstrom	166
4.5.1	Sinusförmige Wechselströme und -spannungen	166
4.5.2	Zeigerdiagramm	167
4.5.3	Wechselstromverhalten von Widerstand, Spule und Kondensator	169
4.5.4	Transformator	170
4.6	Drehstrom	171
4.7	Leitungsmechanismen	173
4.7.1	Elektrische Leitung in Metallen	173
4.7.2	Elektrische Leitung in Halbleitern	174

4.8	Elektronik	177
4.8.1	Übersicht über die Halbleiterelemente	177
4.8.2	Dioden	177
4.8.3	Transistoren	178
4.8.3.1	Bipolare Transistoren	178
4.8.3.2	Feldeffekttransistoren	179
4.8.4	Thyristoren	180
4.8.5	Integrierte Schaltungen	181
4.8.5.1	Analoge integrierte Schaltungen	182
4.8.5.2	Digitale integrierte Schaltungen	184
5	Informatik und Kommunikationstechnik	187
5.1	Informatik	189
5.1.1	Technische Informatik	190
5.1.1.1	Aufbau und Funktionsweise eines Computers	190
5.1.1.2	Mikroprozessor	190
5.1.1.3	Mikroprozessorarchitekturen und Spezialformen	193
5.1.1.4	Halbleiterspeicher	194
5.1.1.5	Ein-/Ausgabe-Einheiten	197
5.1.1.6	Massenspeicher- und Archivspeichergeräte	200
5.1.2	Betriebssysteme	200
5.1.2.1	Aufgaben und Struktur eines Betriebssystems	201
5.1.2.2	Klassifizierung von Betriebssystemen	202
5.1.3	Programmiersprachen und Datentypen	202
5.1.3.1	Klassifizierung von Programmiersprachen	203
5.1.3.2	Konzepte höherer Programmiersprachen	204
5.1.3.3	Datenstrukturen	205
5.1.4	Software-Engineering	206
5.1.4.1	Phasenmodell des Software-Entwicklungsprozesses	206
5.1.4.2	Methoden, Darstellungsformen, Werkzeuge	207
5.2	Kommunikationstechnik	208
5.2.1	Grundlagen der Kommunikationstechnik	209
5.2.1.1	Komponenten einer digitalen Nachrichtenübertragungsstrecke	209
5.2.1.2	Codierer/Decodierer	209
5.2.1.3	Modulator/Demodulator	210
5.2.1.4	Multiplexer/Demultiplexer	210
5.2.1.5	Übertragungsmedien	211
5.2.1.6	Paketübertragung	211
5.2.1.7	Das ISO/OSI-Referenzmodell	212
5.2.2	Datenfernübertragung in Telekommunikationsnetzen	213
5.2.2.1	Telekommunikationsnetze	213
5.2.2.2	Komponenten einer Datenfernübertragungsstrecke	214
5.2.2.3	Schnittstellenempfehlungen	214
5.2.3	Rechnernetze	215
5.2.3.1	Technologien, Parameter lokaler Rechnernetze	215
5.2.3.2	LAN-Kopplung: Erweiterung von Rechnernetzen	217
5.2.3.3	Internet	217

6	Technische Mechanik	221
6.1	Statik starrer Körper	223
6.1.1	Grundlagen.	224
6.1.1.1	Kraft	224
6.1.1.2	Moment.	225
6.1.1.3	Moment einer Kraft	225
6.1.1.4	Resultierende Kraft und resultierendes Moment	225
6.1.1.5	Gleichgewicht	226
6.1.1.6	Sonderfall des ebenen Systems.	226
6.1.2	Linientragwerke	227
6.1.2.1	Ebene Linientragwerke	227
6.1.2.2	Räumliche Linientragwerke	229
6.1.3	Reibung	229
6.1.4	Schwerpunkt.	230
6.1.4.1	Körperschwerpunkt	230
6.1.4.2	Flächen- und Linienschwerpunkt.	230
6.1.5	Flächenmomente	232
6.2	Festigkeitslehre	234
6.2.1	Grundlagen.	234
6.2.1.1	Spannungen	234
6.2.1.2	Verzerrungen.	236
6.2.1.3	Linear elastisches Materialverhalten.	237
6.2.2	Zug und Druck.	238
6.2.3	Biegung	239
6.2.3.1	Biegespannungen	239
6.2.3.2	Biegeverformungen	240
6.2.4	Reine Torsion	244
6.2.5	Querkraftschub	246
6.2.6	Extremalprinzip	247
6.2.6.1	Prinzip vom Minimum des elastischen Gesamtpotenzials	247
6.2.6.2	Prinzip vom Minimum des elastischen Ergänzungspotenzials.	248
6.2.7	Einführung in die Stabilitätstheorie	249
6.2.8	Rotationssymmetrische Spannungszustände	250
6.2.8.1	Kreis- und Kreisringscheiben.	251
6.2.8.2	Kreis- und Kreisringplatten.	251
6.2.9	Festigkeits-hypothesen.	253
6.2.10	Räumliches linear-elastisches Gesamtproblem.	254
6.3	Kinematik	256
6.3.1	Kinematik des Punktes	256
6.3.1.1	Darstellung der Vektoren in verschiedenen Koordinatensystemen	256
6.3.1.2	Wichtige Sonderfälle	258
6.3.2	Kinematik des starren Körpers.	259
6.3.2.1	Translation des starren Körpers.	259
6.3.2.2	Rotation des starren Körpers	260
6.3.2.3	Zusammengesetzte Bewegung	260
6.3.3	Relativbewegung	261
6.4	Kinetik	261
6.4.1	Kinetik des Massenpunktes und des starren Körpers in der Ebene	262
6.4.1.1	Impulserhaltung	263

6.4.1.2	Arbeitssatz der Mechanik	263
6.4.1.3	Energiesatz der Mechanik	264
6.4.2	Kinetik des Massenpunktsystems	264
6.4.2.1	Schwerpunktsatz	264
6.4.2.2	Impulssatz	265
6.4.2.3	Arbeitssatz der Mechanik für das Massenpunktsystem.	266
6.4.3	Kinetik des starren Körpers	266
6.4.3.1	Dynamische Kennwerte des starren Körpers	266
6.4.3.2	Drehimpulssatz.	267
6.4.3.3	Schlussfolgerungen aus dem Drehimpulssatz	268
6.4.4	Aufstellen von Bewegungsgleichungen	269
6.4.4.1	D'Alembert'sches Prinzip.	269
6.4.4.2	Lagrange'sche Gleichungen zweiter Art.	270
6.5	Schwingungen mechanischer Systeme	270
6.5.1	Kinematik der Schwingungen und Schwingungsanalyse	270
6.5.1.1	Harmonische Schwingungen	270
6.5.1.2	Periodische Schwingungen	271
6.5.1.3	Rechnergestützte Schwingungsanalyse	271
6.5.2	Verfahren der kleinen Schwingungen	272
6.5.3	Freie Schwingungen	273
6.5.3.1	Freie ungedämpfte Schwingungen	273
6.5.3.2	Freie gedämpfte Schwingungen	273
6.5.4	Erzwungene Schwingungen	275
7	Strömungsmechanik	279
7.1	Einführung	281
7.1.1	Fluide.	281
7.1.1.1	Fließeigenschaften der Flüssigkeiten und Gase	281
7.1.1.2	Zustandsgrößen, Stoffgrößen, Zustandsänderungen	282
7.1.1.3	Wandhaftung und Grenzflächenspannung	284
7.1.2	Strömungsfelder	284
7.1.2.1	Ortsvektor, Geschwindigkeit und Beschleunigung	284
7.1.2.2	Stromlinie, Bahnlinie und Streichlinie	285
7.1.2.3	Masse-, Impuls- und Energiefluss	285
7.1.2.4	Instabilität von Scherschichten	286
7.1.3	Hydro- und Aerostatik	286
7.1.3.1	Druckverteilungen	286
7.1.3.2	Auftrieb, Lagestabilität	287
7.2	Stromfadentheorie	288
7.2.1	Definitionen, Kontinuitätsgleichung.	288
7.2.2	Bewegungsgleichung des reibungsfreien Stromfadens	289
7.2.2.1	Euler-Gleichung	289
7.2.2.2	Bernoulli-Gleichung inkompressibler Strömungen.	290
7.2.3	Impulsgleichung.	290
7.2.3.1	Integraler Impulssatz	290
7.2.3.2	Druckanstieg hinter einer plötzlichen Rohrerweiterung	292
7.2.3.3	Fördervorgang im Strahlapparat	293
7.2.3.4	Haltekraft eines Tragflügels	294
7.2.3.5	Wandkraft auf eine gekrümmte Düse	294

7.2.3.6	Haltekraft und Energiewandlung bei Propeller und Windrad . . .	295
7.2.4	Energiesatz.	296
7.2.4.1	Gesamtdruckverlust, Dissipation und Energieumwandlung	296
7.2.4.2	Energiegleichung des stationären Stromfadens	297
7.2.5	Drehimpuls, Turbinengleichung	298
7.3	Inkompressible Strömungsfelder	299
7.3.1	Reibungsfreie inkompressible Strömungen	299
7.3.1.1	Strömungspotenzial, Stromfunktion	299
7.3.1.2	Ebene inkompressible Potenzialströmungen	299
7.3.1.3	Räumliche inkompressible Potenzialströmungen	301
7.3.1.4	Beschleunigte Strömung, hydrodynamische Masse	302
7.3.1.5	Oberflächenwellen, Wellenwiderstand	303
7.3.2	Reibungsbehaftete Strömungen	304
7.3.2.1	Kontinuitätsgleichung, Bewegungsgleichung	304
7.3.2.2	Ähnlichkeitstheorie, Modellgesetze	306
7.3.2.3	Laminare Rohr- und Kanalströmung, Kugelumströmung	306
7.3.3	Strömungsgrenzschichten	307
7.4	Strömungsmechanisches Versuchswesen	309
7.4.1	Aufgabengebiete	309
7.4.2	Hydraulische Sonden	309
7.4.3	Modellgesetze, Versuchsanlagen	310
7.5	Druckverlustbeiwerte	311
7.5.1	Rohrleitungen und Kanäle	311
7.5.1.1	Kreiszyllindrische Rohre.	311
7.5.1.2	Kanäle von nicht kreisförmigen Querschnitten	313
7.5.1.3	Kanäle mit freier Oberfläche	314
7.5.2	Kanaleinbauten	314
7.5.2.1	Blenden, Siebmitter und Rohrbündel	314
7.5.2.2	Krümmen, Umlenkmitter und Verzweigungen	316
7.5.2.3	Diffusoren	317
7.5.3	Durchflussregler.	317
7.5.3.1	Drosselklappen und Schieber.	317
7.5.3.2	Tellerventile	318
8	Thermodynamik	319
8.1	Zustandseigenschaften der Fluide	322
8.1.1	Temperatur.	322
8.1.2	Druck.	323
8.1.3	Druck-Temperatur-Verhalten der Fluide	323
8.1.4	Masse, Volumen und Dichte	325
8.1.4.1	Zustandsverhalten – p, v -Diagramm	325
8.1.4.2	Flüssigkeit und überhitzter Dampf.	325
8.1.4.3	Nassdampf – Zweiphasengemisch flüssig-gasförmig.	327
8.1.5	Wärmekapazität und Isentropenexponent.	328
8.1.5.1	Isochore und isobare Wärmekapazität	328
8.1.5.2	Isentropenexponent	330
8.1.6	Innere Energie und Enthalpie	330
8.1.6.1	Zustandsverhalten – h, s -Diagramm	330
8.1.6.2	Flüssigkeit und überhitzter Dampf.	331

8.1.6.3	Nassdampf – Zweiphasengemisch flüssig-gasförmig	333
8.1.7	Entropie	334
8.1.7.1	Zustandsverhalten – T, s -Diagramm	334
8.1.7.2	Flüssigkeit und überhitzter Dampf	334
8.1.7.3	Nassdampf – Zweiphasengemisch flüssig-gasförmig	336
8.1.8	Exergie	336
8.2	Energiebilanz – 1. Hauptsatz der Thermodynamik	337
8.2.1	Irreversibilität und Reversibilität	337
8.2.2	Geschlossenes System	338
8.2.2.1	Aufstellen der Energiebilanz	338
8.2.2.2	Volumenänderungsarbeit	339
8.2.2.3	Kolbennutzarbeit	340
8.2.2.4	Dissipationsarbeit	340
8.2.2.5	Wärme	341
8.2.3	Offenes stationäres System	341
8.2.3.1	Aufstellen der Energiebilanz	341
8.2.3.2	Technische Arbeitsleistung	343
8.2.4	Allgemeine instationäre Energiebilanz	344
8.2.5	Berechnung der Änderungen von innerer Energie und Enthalpie	344
8.3	Entropiebilanz – 2. Hauptsatz der Thermodynamik	346
8.3.1	Geschlossenes System	346
8.3.2	Offenes stationäres System	347
8.3.3	Berechnung der Entropieänderungen	348
8.4	Exergiebilanz	350
8.4.1	Energie, Exergie und Anergie	350
8.4.2	Offenes stationäres System	351
8.4.3	Berechnung der Exergieänderungen	352
8.5	Einfache technische Prozesse	352
8.5.1	Fluide in geschlossenen Behältern	352
8.5.2	Fluide unter konstantem Druck	353
8.5.3	Mischung von Fluidströmen	353
8.5.4	Übertragung von Wärme an Fluidströme	355
8.5.5	Verdichten und Pumpen	356
8.5.6	Turbinenentspannung	357
9	Konstruktionselemente	365
9.1	Definition und Konstruktionsprozess	368
9.2	Maße, Toleranzen und Passungen	369
9.2.1	Normzahlen (NZ nach DIN 323)	369
9.2.2	Maße, Abmaße und Toleranzen	370
9.2.3	Passungen	372
9.2.4	Gestaltabweichungen von Oberflächen	374
9.3	Nichtlösbare Verbindungen	376
9.3.1	Schweißverbindungen	377
9.3.1.1	Schmelz-Schweißverbindungen	378
9.3.1.2	Press-Schweißverbindungen	388
9.3.2	Lötverbindungen	390
9.3.2.1	Lötverfahren	391
9.3.2.2	Gestalten der Lötverbindungen	391

9.3.2.3	Berechnen der Lötverbindungen	392
9.3.3	Klebverbindungen.	393
9.3.3.1	Klebeverfahren.	393
9.3.3.2	Gestaltung der Klebverbindungen	393
9.3.3.3	Berechnung der Klebverbindungen	394
9.3.4	Nietverbindungen	394
9.3.4.1	Nietformen und Nietverfahren	395
9.3.4.2	Berechnung der Nietverbindungen.	395
9.3.5	Pressverbände	397
9.3.5.1	Pressverfahren und Gestaltung	397
9.3.5.2	Berechnung zylindrischer Pressverbände	398
9.4	Lösbare Verbindungen	401
9.4.1	Befestigungsschrauben	401
9.4.1.1	Gewinde	401
9.4.1.2	Werkstoffe und Korrosionsschutz	403
9.4.1.3	Ausführungen von Schrauben und Muttern	403
9.4.1.4	Unterlegscheiben und Sicherungen	404
9.4.1.5	Kraftfluss	406
9.4.1.6	Beanspruchung und Verformung beim Anziehen.	407
9.4.1.7	Kräfte und Haltbarkeit der Schraubenverbindungen	409
9.4.2	Bewegungsschrauben	411
9.4.2.1	Gewinde und Werkstoffe	411
9.4.2.2	Berechnungen	412
9.4.3	Bolzen- und Stiftverbindungen, Sicherungselemente	414
9.4.3.1	Definitionen und Ausführungen	414
9.4.3.2	Berechnungen	415
9.5	Elastische Verbindungselemente, Federn	416
9.5.1	Grundlegende Zusammenhänge	416
9.5.1.1	Federrate, Federarbeit, Schalten mehrerer Federn	416
9.5.1.2	Schwingverhalten	417
9.5.1.3	Zylindrische Schraubenfedern	418
9.5.1.4	Tellerfedern	418
9.5.1.5	Drehfedern	420
9.5.1.6	Blattfedern	421
9.5.1.7	Sonstige Metallfedern	422
9.5.1.8	Gummifedern	422
9.6	Drehbewegungselemente	423
9.6.1	Achsen und Wellen	423
9.6.2	Lager	428
9.6.2.1	Gleitlager	428
9.6.2.2	Wälzlager	432
9.6.3	Reibung und Schmierstoffe.	433
9.6.3.1	Reibung	433
9.6.3.2	Schmierstoffe	433
9.6.3.3	Schmieröle	434
9.6.3.4	Schmierfette	434
9.6.3.5	Festschmierstoffe	434
9.6.4	Welle-Nabe-Verbindungen.	435
9.6.4.1	Längskeilverbindungen	435

9.6.4.2	Passfederverbindungen	436
9.6.4.3	Keilwellenverbindungen	436
9.6.4.4	Zahnwellenverbindungen	437
9.6.4.5	Polygonwellenverbindungen	437
9.6.4.6	Kegelverbindungen	438
9.6.4.7	Spannelementverbindungen	438
9.6.4.8	Klemmverbindungen	439
9.6.4.9	Stirnzahnverbindungen	439
9.6.5	Wellenkupplungen und -bremsen	440
9.6.5.1	Starre Kupplungen	440
9.6.5.2	Formschlüssig nachgiebige, drehsteife Wellenkupplungen (Ausgleichskupplungen)	442
9.6.5.3	Formschlüssig nachgiebige, drehelastische Wellenkupplungen . .	443
9.6.5.4	Schlupfkupplungen	443
9.6.5.5	Formschlüssige Schaltkupplungen	444
9.6.5.6	Reibkupplungen als kraftschlüssige Schaltkupplungen	444
9.6.5.7	Flihkraftkupplungen (drehzahlbetätigt) und Sicherheits- kupplungen (momentbetätigt)	445
9.6.5.8	Richtungsbetätigte Kupplungen als Freilaufkupplungen	445
9.6.5.9	Bremsen	445
9.6.6	Lager- und Wellendichtungen	446
9.6.6.1	Berührungsfreie Dichtungen	446
9.6.6.2	Schleifende Dichtungen	446
9.7	Zahnräder und Zahnradgetriebe	447
9.7.1	Grundlagen	447
9.7.1.1	Begriffe und Bezeichnungen	447
9.7.1.2	Verzahnungsgesetz	449
9.7.1.3	Zykloidenverzahnung	449
9.7.1.4	Evolventenverzahnung	450
9.7.2	Abmessungen, Geometrie und Tragfähigkeit von Stirn- und Kegelrädern . .	451
9.7.2.1	Abmessungen und Geometrie der Stirn- und Kegelräder	451
9.7.2.2	Tragfähigkeit der Stirn- und Kegelräder	452
9.7.3	Zahnradpaare mit sich kreuzenden Achsen	455
9.8	Hülltriebe	457
9.8.1	Kettentriebe	457
9.8.1.1	Arten von Ketten	458
9.8.1.2	Berechnung von Rollenketten	459
9.8.2	Riementriebe	460
9.8.2.1	Flachriementriebe	460
9.8.2.2	Keilriementriebe	462
9.8.2.3	Zahnriementriebe	462
9.9	Führungselemente für Flüssigkeiten und Gase	463
9.9.1	Rohrleitungen	463
9.9.1.1	Grundlagen	464
9.9.1.2	Rohrarten, Rohrformstücke und Rohrverbindungen	464
9.9.1.3	Darstellung und Berechnung von Rohrleitungen	465
9.9.2	Armaturen	466

10 Konstruktionstechnik	469
10.1 Begriffe und Grundlagen	471
10.1.1 Eigenschaften technischer Produkte	471
10.1.2 Ablauf des konstruktiven Entwicklungsprozesses	476
10.1.2.1 Charakter des Konstruierens	476
10.1.2.2 Stadien und Phasen des konstruktiven Entwicklungsprozesses	479
10.1.3 Werkzeuge der Konstruktionstechnik	481
10.2 Konstruktionsmethoden	481
10.2.1 Elementare Methoden	482
10.2.2 Präzisieren von Konstruktionsaufgaben	484
10.2.2.1 Präzisieren der Prozessdaten	485
10.2.2.2 Präzisieren der Produktdaten	486
10.2.2.3 Festlegen der Aufgaben im Pflichtenheft	488
10.2.2.4 Methode der kunden- und wettbewerbsorientierten Produkt- und Qualitätsplanung – QFD (Quality Function Deployment)	490
10.2.3 Methoden zur Lösungsfindung	491
10.2.3.1 Ermitteln der Gesamtfunktion	491
10.2.3.2 Ermitteln von Verfahrensprinzipien und Funktionsstrukturen	492
10.2.3.3 Funktionsorientierte Auswahl aus Lösungskatalogen	494
10.2.3.4 Variation	495
10.2.3.5 Analogien	497
10.2.3.6 Ideenfindung	499
10.2.3.7 Wertanalyse	501
10.2.3.8 Kombination	502
10.2.4 Methoden zur Lösungsbewertung	505
10.2.4.1 Fehlerkritik	506
10.2.4.2 Bewertung	507
10.2.4.3 Bewertungsverfahren	509
10.3 Gestalten und Dimensionieren	512
10.3.1 Grundsätze	512
10.3.2 Vorgehen beim Gestalten	513
10.3.3 Dimensionieren	518
10.4 Produktdokumentation und Datentransfer	519
10.5 Schutz von Erfindungen	522
10.5.1 Patente	522
10.5.1.1 Erfindungsbeschreibung	523
10.5.1.2 Anmeldung, Prüfung und Erteilung	524
10.5.2 Gebrauchsmuster	524
10.5.3 Hinweise für Erfinder	525
11 Werkstofftechnik	527
11.1 Kristallbau und Gitterbaufehler	530
11.2 Thermisch aktivierte Prozesse	531
11.3 Werkstoffprüfung	532
11.3.1 Härteprüfung	532
11.3.2 Zugversuch	533
11.3.3 Biegeversuch	534
11.3.4 Zeitstandversuch	535
11.3.5 Schwingversuch	535

11.4 Eisen und Stahl	535
11.4.1 Grundlagen der Eisenwerkstoffe	536
11.4.2 Wärmebehandlung	539
11.4.3 Systematik der Stähle	543
11.4.4 Eisengusslegierungen	550
11.5 Nichteisenmetalle	552
11.5.1 Aluminiumlegierungen	552
11.5.2 Magnesiumlegierungen	553
11.5.3 Nickellegerungen	554
11.5.4 Kupferlegierungen	555
11.6 Keramische Werkstoffe	556
11.6.1 Herstellung	556
11.6.2 Aufbau und Eigenschaften	557
11.6.3 Eigenschaften und Anwendungen	560
11.7 Kunststoffe	562
11.7.1 Herstellung	562
11.7.2 Bezeichnung der Kunststoffe	562
11.7.3 Eigenschaften und Anwendungen	563
11.8 Verbundwerkstoffe	568
11.8.1 Faserverbundwerkstoffe	568
11.8.2 Metallmatrix-Verbundwerkstoffe (MMC)	569
11.8.3 Keramikmatrix-Verbundwerkstoffe (CMC)	571
11.9 Funktionswerkstoffe	571
11.9.1 Magnetwerkstoffe	571
11.9.2 Werkstoffe mit besonderen elektrischen Eigenschaften	574
11.9.3 Halbleiter	576
11.10 Werkstoffe mit besonderen thermischen Eigenschaften	577
12 Energietechnik	579
12.1 Energietechnische Randbedingungen	583
12.2 Primärenergieträger	584
12.2.1 Fossile Brennstoffe	584
12.2.2 Kernbrennstoffe	586
12.2.3 Dampferzeuger für fossile Brennstoffe	587
12.2.4 Energieumwandlung in der Brennkammer von Gasturbinenanlagen	591
12.3 Wärmefreisetzung und Dampferzeugung im Kernkraftwerk	592
12.3.1 Wärmefreisetzung durch Kernumwandlung	592
12.3.2 Dampferzeugung für den 2. Kreislauf eines KKW mit Druckwasserreaktor	592
12.4 Verfahren und Anlagen der thermischen Energieumwandlung	594
12.4.1 Energetische Gasturbinenanlagen	594
12.4.2 Dampfkraftwerk	596
12.4.3 Gas- und Dampfturbinenkraftwerk (GuD)	602
12.5 Anlagen zur Umwandlung regenerativer Energien	604
12.5.1 Wasserkraftanlagen	505
12.5.2 Windkraftanlagen	606
12.5.3 Solarenergie	608
12.5.4 Thermische Verwertung von Biomasse und Müll	609
12.5.5 Geothermische Kraftwerke	609

12.6 Zuverlässigkeit, Ökonomie und Ökologie	609
12.6.1 Zuverlässigkeit von Energieanlagen	609
12.6.2 Ökonomische Bewertung der Elektroenergieerzeugungsverfahren	611
12.6.3 Schadstoffe aus thermischen Energieanlagen und ihre Beeinflussung	612
12.7 Zukünftige Entwicklungen in der Energietechnik	614
12.7.1 Dezentraler Bereich der Energieversorgung	614
12.7.2 Zentrale Energieversorgung	616
13 Fertigungstechnik	619
13.1 Einführung	621
13.1.1 Grundbegriffe und Definitionen	621
13.1.2 Gliederung der Fertigungsverfahren	621
13.1.3 Gliederung des Fertigungsprozesses	622
13.2 Urformen	624
13.2.1 Verfahrenübersicht	624
13.2.2 Gießen mit verlorenen Formen	628
13.2.3 Gießen mit Dauerform	630
13.2.4 Pulvermetallurgische Teilefertigung (Pressen und Sintern)	631
13.3 Umformen	632
13.3.1 Grundbegriffe und Verfahrenübersicht	632
13.3.2 Grundlagen der Umformtechnik	635
13.3.3 Walzen	640
13.3.4 Freiformen	642
13.3.5 Gesenkformen	642
13.3.6 Durchdrücken/Fließpressen	643
13.3.7 Tiefziehen	644
13.3.8 Zugumformen	644
13.3.9 Biegen	645
13.4 Zerteilen	646
13.4.1 Verfahrenübersicht	646
13.4.2 Schneidvorgang	647
13.4.3 Schneidverfahren	647
13.5 Spanen	649
13.5.1 Einführung, Verfahrenübersicht	649
13.5.2 Drehen	652
13.5.3 Bohren, Senken, Reiben	653
13.5.4 Fräsen	655
13.5.5 Hobeln, Stoßen, Räumen	658
13.5.6 Schleifen	659
13.5.7 Honen	661
13.5.8 Läppen	662
13.6 Abtragen	663
13.6.1 Definition und Verfahrenübersicht	663
13.6.2 Thermisches Abtragen	663
13.6.3 Chemisches Abtragen	664
13.6.4 Elektrochemisches Abtragen	664
13.7 Fügen	665
13.7.1 Verfahrenübersicht	665
13.7.2 Schweißvorgang und Grundbegriffe	666

13.7.3	Schmelzschweißverfahren	667
13.7.4	Pressschweißverfahren	669
13.8	Beschichten.	669
13.8.1	Einführung, Verfahrenübersicht	669
13.8.2	Vakuumbeschichten.	670
13.8.3	Galvanisieren	671
13.9	Stoffeigenschaftsändern	672
13.9.1	Verfahrenübersicht.	672
13.9.2	Verfestigen durch Umformen	673
13.9.3	Wärmebehandeln	674
13.9.4	Thermomechanische Behandlung	675
14	Fertigungssysteme	677
14.1	Einleitung.	679
14.2	Entwicklungstendenzen in der Fertigungstechnik	680
14.2.1	Notwendigkeit der Fertigungsprozessoptimierung	680
14.2.2	Veränderungen der industriellen Randbedingungen	680
14.2.3	Flexible Automation in der Fertigung	681
14.3	Voraussetzungen und Charakteristika des Einsatzes von Flexiblen Fertigungssystemen (FFS)	681
14.3.1	Voraussetzungen für den Einsatz von FFS	681
14.3.2	Einsatzcharakteristika für FFS	682
14.4	Planungsgrundlagen für FFS	684
14.5	Aufbau und Planung des FFS	686
14.5.1	Hauptkomponenten des FFS	686
14.5.2	Vorgehensweise und Hilfsmittel zur Planung der FFS-Hauptkomponenten	687
14.5.3	Varianten Flexibler Fertigungssysteme (FFS)	689
14.6	Das Maschinenkonzept im FFS	694
14.6.1	Grundbaustein der flexiblen Automation	694
14.6.2	Bearbeitungszentrum oder Flexible Fertigungszelle	694
14.6.2.1	Werkzeugmagazin und Werkzeugwechsel	695
14.6.2.2	Werkstückspeicher mit Wechseleinrichtung	696
14.6.2.3	Kühlmittelversorgung und Späneentsorgung	696
14.6.2.4	Automatische Messeinrichtung	697
14.6.2.5	Sonderausstattungen.	698
14.6.3	Erforderliche Eigenschaften der Fertigungseinrichtung im FFS	698
14.6.4	Kriterien bei der Beschaffung der Fertigungseinrichtungen	699
14.7	Materialflusssystem im FFS	700
14.7.1	Werkzeugverwaltung	700
14.7.2	Werkstücktransport	703
14.8	Informationssystem im FFS	706
14.8.1	Vorgehensweise und Hilfsmittel zur Planung des Informationssystems	706
14.8.2	Steuerung von FFS	708
14.8.3	CNC-Steuerung eines FFS	711
14.8.4	Programmierung im FFS	712
14.8.4.1	Methoden zur Werkstückprogrammierung	713
14.8.4.2	Materialfluss-Programmierung	713
14.8.4.3	Werkzeugfluss- und Werkzeugdaten-Programmierung	715
14.8.4.4	Bearbeitungsablaufsimulation	716

14.9 Flexible Montagesysteme (FMS)	716
14.9.1 Grundkomponenten des FMS	717
14.9.2 Aufgaben des FMS	719
14.9.3 Einsatzbedingungen für eine flexible Montage	719
14.9.4 Hauptkomponenten des FMS.	719
14.9.4.1 Mechanische Grundelemente	719
14.9.4.2 FMS-internes Transportsystem	719
14.9.4.3 Materialfluss im FMS	720
14.9.4.4 Handhabungstechnik im FMS	720
14.9.4.5 Aufgaben und Varianten der Steuerung im FMS	722
14.9.4.6 Effektivitätsmerkmale für ein FMS	722
14.10 Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungslösungen	722
14.10.1 Fertigungsmesstechnik	722
14.10.2 Einsetzbare Messtechnik im FFS	723
14.10.3 Koordinatenmessgeräte im FFS	724
14.10.4 Steuerung und Programmierung systemintegrierter flexibler Qualitätssicherungs-lösungen.	724
14.11 Personalbedarf für Planung und Betrieb eines FFS	725
14.12 Bewertung von FFS	725
14.12.1 Bewertung in der Planungsphase	726
14.12.2 Bewertung in der Einsatzphase.	727
14.13 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für FFS	728
14.13.1 Kapazitätsbetrachtungen	728
14.13.2 Effektivitätsbetrachtungen	729
14.13.3 Reduzierung der Stillstandszeiten und anderer Nutzungsverluste.	730
14.13.4 Besonderheiten der FFS-Installation im Zusammenhang mit der Fertigungssituation	730
14.14 Zusammenfassung und Ausblick	732
15 Fluidenergiemaschinen	735
15.1 Charakterisierung und Einteilung der Fluidenergiemaschinen	738
15.2 Turbomaschinen	740
15.2.1 Turbokraftmaschinen	740
15.2.1.1 Wasserturbinen.	740
15.2.1.2 Windturbinen.	742
15.2.1.3 Dampfturbinen.	744
15.2.1.4 Gasturbinen.	747
15.2.2 Turboarbeitsmaschinen	750
15.2.2.1 Kreiselpumpen	750
15.2.2.2 Turboverdichter	752
15.3 Kolbenmaschinen	754
15.3.1 Kolbenkraftmaschinen	754
15.3.1.1 Verbrennungsmotoren.	754
15.3.1.2 Kolbenentspannungsmaschinen	761
15.3.2 Kolbenarbeitsmaschinen	762
15.3.2.1 Kolbenpumpen.	762
15.3.2.2 Kolbenverdichter	763

16 Elektrische und Elektronische Bauelemente	767
16.1 Passive Bauelemente	769
16.1.1 Widerstände	769
16.1.1.1 Drahtwiderstände	769
16.1.1.2 Schichtwiderstände	770
16.1.1.3 Veränderbare Widerstände	771
16.1.1.4 Dehnungsmessstreifen (DMS)	771
16.1.1.5 Temperaturmesswiderstände	772
16.1.1.6 Heißeleiter und Kaltleiter.	773
16.1.1.7 Spannungsabhängige Widerstände	774
16.1.1.8 Magnetfeldabhängige Widerstände	774
16.1.1.9 Lichtabhängige Widerstände	774
16.1.2 Kondensatoren.	774
16.1.2.1 Folienkondensatoren	775
16.1.2.2 Metall-Papier-Kondensatoren	775
16.1.2.3 Keramische Kondensatoren.	776
16.1.2.4 Elektrolytkondensatoren	776
16.1.2.5 Sonderbauformen bei Kondensatoren	777
16.1.3 Induktivitäten	778
16.1.3.1 Luftspulen	778
16.1.3.2 Induktivität mit Eisenkern	778
16.1.3.3 Induktivität mit Ferritkern	779
16.1.3.4 Transformator	779
16.1.3.5 Leitung mit Ferritring	780
16.1.4 Entstörfilter	781
16.2 Halbleiterbauelemente	781
16.2.1 Dioden	781
16.2.1.1 Schaltdioden	782
16.2.1.2 Gleichrichterioden	782
16.2.1.3 Schnelle Leistungsdioden	783
16.2.1.4 Schottky-Leistungsdioden	783
16.2.1.5 Z-Dioden	783
16.2.1.6 Transzorbioden	784
16.2.1.7 Leuchtdioden.	784
16.2.1.8 Fotodioden	784
16.2.1.9 Solarzellen	785
16.2.2 Bipolare Transistoren	785
16.2.2.1 Emitterschaltung	787
16.2.2.2 Kollektorschaltung.	787
16.2.3 Feldeffekttransistoren (FET)	788
16.2.3.1 Kleinsignaltransistoren	789
16.2.3.2 Leistungs-FET	789
16.2.4 Thyristoren und Triacs	790
16.2.4.1 Thyristoren	790
16.2.4.2 Triacs	791
16.2.4.3 Phasenanschnittsteuerung und Schwingungspaketsteuerung	792
16.2.5 Analoge integrierte Schaltungen	792
16.2.5.1 Operationsverstärker (OPV)	793
16.2.5.2 Digital-Analog-Wandler (DA-Wandler).	795

16.2.5.3	Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler)	795
16.2.6	Digitale integrierte Schaltungen	797
16.2.6.1	Logikschaltungen	797
16.2.6.2	Speicherschaltungen	799
16.3	Elektromechanische Bauteile und elektronische Alternativen	800
16.3.1	Schalter	800
16.3.2	Relais	801
16.3.2.1	Elektromechanische Relais	801
16.3.2.2	Halbleiterrelais	802
16.3.3	Schütze	803
16.3.3.1	Sicherheitsrelevante Teile	804
16.3.4	Sicherungen	804
16.3.4.1	Schmelzsicherungen	804
16.3.4.2	Überstromsicherung mit PTC	805
16.3.4.3	Thermosicherung	805
16.3.4.4	Sicherungsautomaten oder Leitungsschutzschalter	806
16.3.4.5	Fehlerstromschutzschalter	807
16.4	Galvanische Elemente	808
16.4.1	Primärelemente	809
16.4.2	Sekundärelemente	810
17	Messtechnik	813
17.1	Einführung	815
17.1.1	Wirtschaftliche Bedeutung	815
17.1.2	Informationsbeziehungen in Messprozessen	815
17.2	Grundbegriffe	816
17.2.1	Gegenstand der Messtechnik	816
17.2.2	Messtechnische Disziplinen, Aufgaben und Ziele	817
17.2.2.1	Bezeichnungen	818
17.2.2.2	Strategische Ziele	819
17.2.2.3	Messtechnische Handlungen und Einrichtungen	821
17.2.3	Größen und Einheiten	823
17.2.3.1	Größen	823
17.2.3.2	Einheiten	823
17.2.4	Messgrößenwandlung	825
17.2.5	Grundstrukturen	827
17.2.6	Weiterverarbeitung	830
17.2.7	Unifizierung und Schnittstellen	831
17.2.7.1	Aufgabenunifizierung	831
17.2.7.2	Schnittstellen	831
17.3	Signale	832
17.3.1	Signalmerkmale	832
17.3.2	Signalwandlung	833
17.3.3	Abtastung und Analog-Digital-Umsetzung	834
17.3.4	Einheitssignale	837
17.4	Kennfunktionen und Kennwerte	839
17.4.1	Statische Kennfunktionen und Kennwerte	839
17.4.2	Dynamische Kennfunktionen und Kennwerte	840
17.5	Messfehler	842

17.5.1	Fehlerdefinitionen	842
17.5.1.1	Statische Fehler	842
17.5.1.2	Dynamische Fehler	844
17.5.1.3	Fehlergrenzen, Fehlerklasse	845
17.5.1.4	Fehlerfortpflanzung	845
17.5.2	Vorbereitung und Auswertung von Messungen	846
17.6	Baugruppen	847
17.6.1	Sensoren	847
17.6.2	Weitere Baugruppen	851
18	Steuerungs- und Regelungstechnik	853
18.1	Einführung	856
18.1.1	Blockdarstellung von Funktionalbeziehungen	856
18.1.2	Klassifizierung von Systemen	856
18.1.2.1	Lineare zeitinvariante und zeitvariante Systeme	858
18.1.2.2	Nichtlineare Systeme	858
18.1.3	Linearisierung um den Arbeitspunkt	859
18.1.4	Steuerungen und Regelungen	860
18.1.5	Laplace-Transformation	861
18.1.5.1	Rechenregeln der Laplace-Transformation	863
18.1.5.2	Anwendung der Laplace-Transformation	863
18.1.6	Übertragungsfunktion.	864
18.1.6.1	Wichtige Übertragungsglieder	865
18.1.6.2	Umformung eines Strukturbildes.	868
18.1.7	Zustandsraumdarstellung von Systemen	869
18.1.8	Modellbildung einer Gleichstrommaschine.	871
18.1.9	Modellbildung einer GM im Zustandsraum.	872
18.1.10	Modellbildung einer mechanischen Welle	873
18.2	Reglerentwurf für lineare kontinuierliche Systeme	874
18.2.1	Regeleinrichtung	875
18.2.2	Reglertypen und Reglerparameter	876
18.2.3	Reglerbegrenzung	880
18.2.4	Stabilität von Systemen und Regelkreisen	881
18.2.5	Beurteilung von Regelkreisen	882
18.2.6	Reglereinstellung	883
18.2.6.1	Betragsoptimum	883
18.2.6.2	Symmetrisches Optimum	885
18.2.6.3	Empirische Reglereinstellung.	886
18.2.7	Störgrößenaufschaltung.	886
18.2.8	Kaskadenregelung.	887
18.3	Zustandsraumregelung.	888
18.3.1	Regelungsnormalform	889
18.3.2	Beobachtungsnormalform	890
18.3.3	Polvorgabe.	890
18.3.4	Zustandsbeobachter.	893
18.4	Abtastregelung.	895
18.4.1	Aufbau einer Abtastregelung.	895
18.4.1.1	Mathematische Beschreibung des Abtasthalteglieds	896
18.4.1.2	Z-Transformation	897

18.4.1.3	Rechenregeln der z -Transformation	898
18.4.1.4	Zeitdiskreter PID-Regler	899
18.4.2	Reglereinstellung	900
18.4.3	Beschreibung einer Regelung mit der z -Transformation.	900
18.4.4	Stabilität	901
18.4.5	Kompensationsregler	902
19	Antriebstechnik	905
19.1	Elektrische Maschinen	908
19.1.1	Einführung und Zusammenfassung	908
19.1.1.1	Prinzipielles	908
19.1.1.2	Allgemeines über elektrische Antriebstechnik	908
19.1.2	Typen elektrischer Maschinen	909
19.1.2.1	Gleichstrommaschinen (GSM)	909
19.1.2.2	Asynchronmaschinen (ASM)	916
19.1.2.3	Synchronmaschinen (SM)	916
19.1.2.4	Linearmotor	917
19.1.3	Arbeitspunkt, Vierquadrantenbetrieb	917
19.1.4	Wirkungsgrad und Leistungsgrenzen	919
19.1.5	Dynamisches Verhalten, Hochlauf	919
19.1.5.1	Newton'sches Aktionsprinzip	919
19.1.5.2	Linearer Hochlauf (Rampen-Zeitfunktion)	920
19.1.5.3	Exponentieller Hochlauf	921
19.1.6	Thermodynamik, Erwärmung und Abkühlung	921
19.1.7	Normrichtlinien: Bauformen, Schutzarten, Kühlung und Isolation	923
19.1.7.1	Bauformen	923
19.1.7.2	Schutzarten, Schutzgrade	923
19.1.7.3	Kühlung	924
19.1.7.4	Isolation	924
19.2	Leistungselektronische Umrichter	925
19.2.1	Einleitung	925
19.2.2	Stromrichterschaltungen	926
19.2.2.1	Gleich-, Wechsel- und Umrichter	926
19.2.2.2	Zwischenkreis-Umrichter	926
19.2.2.3	Stromrichterspeisung für Synchron- und Asynchronmotoren	926
19.2.2.4	Der Pulsrichter mit Spannungs-Zwischenkreis	930
19.2.2.5	GTO-Stromrichter	931
19.2.2.6	Direktumrichter	933
19.2.2.7	Untersynchrone Stromrichtererkaskade für Schleifringläufer	933
19.2.2.8	Netzseitige Stromrichter	934
19.2.3	Projektierung	935
19.2.3.1	Nennleistung: vom Hersteller genannte Bemessungsleistung	935
19.2.3.2	Drehmoment	936
19.2.3.3	Drehzahlstellbereich.	936
19.2.3.4	Umgebungsbedingungen	937
19.2.3.5	Netzbedingungen	938
19.2.4	Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Redundanz	938
19.2.4.1	Standardwerte zur Ausfall- und Verfügbarkeitsberechnung	938
19.2.4.2	Weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Verfügbarkeit	939
19.2.5	Auswahlkriterien für Antriebssysteme	939

19.3	Hydraulische Antriebstechnik	941
19.3.1	Übersicht	941
19.3.2	Grundlagen	941
19.3.2.1	Druck	941
19.3.2.2	Hydraulische Energie	942
19.3.2.3	Hydraulische Leistung	942
19.3.2.4	Zusammenhang zwischen Druck- und Temperaturdifferenzen	942
19.3.2.5	Fluide und ihre Eigenschaften	943
19.3.2.6	Spalt- und Blendenströmungen	944
19.3.3	Bauelemente hydrostatischer Antriebe	945
19.3.3.1	Pumpen	945
19.3.3.2	Fluidmotoren	947
19.3.4	Ventile	947
19.3.5	Arbeitszylinder	948
19.3.6	Verbindungselemente	948
19.3.7	Dichtelemente	949
19.3.8	Hydrostatische Getriebe	949
19.3.9	Speicher	949
19.3.10	Bauelemente hydrodynamischer Antriebe	951
19.3.10.1	Hydrodynamische Kupplung	951
19.3.10.2	Hydrodynamische Bremse	953
19.3.10.3	Hydrodynamischer Drehmomentwandler	953
20	Maschinendynamik	955
20.1	Einleitung	957
20.2	Modellbildung und Parameterbestimmung	958
20.2.1	Modellbildung	958
20.2.2	Bewegungsgleichungen	958
20.2.3	Parameterbestimmung	960
20.3	Dynamik zwangläufiger starrer Körper	961
20.4	Eigenwertproblem	962
20.5	Massenausgleich und Auswuchten	964
20.5.1	Freie Massenkräfte	964
20.5.2	Massenausgleich	964
20.5.3	Auswuchten von Rotoren	964
20.6	Schwingungsisoliertes Aufstellen von Maschinen	966
20.6.1	Aktive und passive Schwingungsisolierung	966
20.6.2	Abstimmung und Dämpfung	966
20.6.3	Eigenfrequenzen der elastisch gelagerten Maschine	969
20.7	Antriebsdynamik	970
20.7.1	Berechnungsmodelle	970
20.7.2	Eigenfrequenzen und Eigenschwingformen	971
20.7.3	Systeme mit n Massen	972
20.8	Biegeschwingungen	972
20.8.1	Berechnung der Biegesteifigkeit	972
20.8.2	Biegeschwingung der einfach besetzten Welle mit Kreiselwirkung	973
20.8.3	Biegeschwingungen des Balkens mit n diskreten Punktmassen	975
20.8.4	Näherungsverfahren zur Abschätzung von Eigenfrequenzen	975
20.9	Mehrkörpersysteme	976

21 Simulationstechnik	979
21.1 Einführende Beispiele	982
21.1.1 Simulation bei der Entwicklung technischer Systeme	982
21.1.2 Simulation in der Fertigungsvorbereitung.	983
21.1.3 Simulation beim Betreiben technischer Anlagen	985
21.1.4 Historische Entwicklung	986
21.2 Grundlagen der Simulationstechnik	986
21.2.1 Definitionen: Prozesse, Systeme, Modelle	987
21.2.2 Aufbau von Simulationsmodellen	988
21.2.3 Testen von Simulationsmodellen	990
21.2.4 Untersuchungsmethoden	991
21.3 Simulationsmodelle	992
21.3.1 Differenzenmodelle	994
21.3.2 Differenzialmodelle	996
21.3.3 Endliche Automaten	998
21.3.4 Petri-Netz-Modelle	998
21.4 Numerische Methoden	999
21.4.1 Zeitdiskretisierung	1000
21.4.2 Ortsdiskretisierung	1001
21.4.3 Finite-Elemente-Methode	1002
21.5 Beschreibung mit Graphen	1005
21.5.1 Signalflussgraphen	1005
21.5.2 Energieflussgraphen (Bondgraphen)	1007
21.5.3 Zustands- und Ereignisgraphen	1009
21.6 Anwendungsbereiche	1012
21.6.1 Ausbildung und Training	1012
21.6.2 Computer-Aided Engineering	1013
21.6.3 Hardware-in-the-Loop	1014
21.6.4 Man-in-the-Loop	1016
22 Mechatronik/Adaptronik	1019
22.1 Einführung in die Mechatronik und Adaptronik	1021
22.1.1 Mechatronik	1022
22.1.2 Adaptronik.	1023
22.1.3 Vergleich von Mechatronik und Adaptronik	1024
22.1.4 Definition der Begriffe	1025
22.2 Aktor- und Sensorsysteme	1026
22.2.1 Funktionswerkstoffe	1026
22.2.1.1 Piezokeramiken	1027
22.2.1.2 Formgedächtnislegierungen.	1032
22.2.1.3 Sonstige.	1036
22.2.2 Multifunktionale Werkstoffsysteme	1038
22.2.3 Diskrete Aktoren	1040
22.2.3.1 Piezokeramische Stapelaktoren.	1040
22.2.3.2 Piezokeramische Biege wandler.	1044
22.3 Regelungstechnische Ansätze für adaptive Systeme	1045
22.3.1 Einführung	1045
22.3.2 System mit Rückkopplung	1046
22.3.3 System mit adaptiver Gegensteuerung	1048

22.4	Berechnungsverfahren	1049
22.4.1	Allgemein	1049
22.4.2	Bewegungsdifferenzialgleichung für einen diskretisierten Balken mit aktiven Werkstoffen	1049
22.4.3	Aktor- und Sensorpositionierung	1052
22.4.4	Regelung mit proportionaler Rückführung	1054
22.5	Anwendungsbeispiele	1055
22.5.1	Adaptive Tilger und Kompensatoren	1055
22.5.2	Semiaktive Dämpfung	1056
22.5.3	Adaptive Lärmunterdrückung	1058
23	Umwelttechnik	1061
23.1	Wasser-/Abwassertechnik	1066
23.1.1	Zusammenhänge der Abwasser- und Schadstoffstehung	1066
23.1.2	Standzeitverlängerung des Wirkbades	1067
23.1.3	Verringerung der Ausschleppung von Wirkstoffen	1069
23.1.4	Wasser sparende Spültechnik	1070
23.1.4.1	Ziele der Spültechnik	1070
23.1.4.2	Spültechnik-Parameter	1071
23.1.4.3	Spülsystem-Typen und Berechnungen der Wassermengen	1072
23.1.4.4	Kreislaufführung von Spülwasser	1072
23.1.4.5	Vergleich unterschiedlicher Spülsysteme	1073
23.1.5	Rückführung von Ausschleppungen	1074
23.1.6	Abwasserbehandlung	1075
23.2	Umweltbereich Luft/Abluft	1076
23.2.1	Luftzusammensetzung und Luftverunreinigungen	1077
23.2.2	Auswirkungen von Luftverunreinigungen	1077
23.2.3	Begrenzung der Emission von Luftverunreinigungen	1078
23.2.3.1	Primärmaßnahmen	1078
23.2.3.2	Sekundärmaßnahmen	1079
23.3	Umweltbereich Boden/Abfall	1080
23.3.1	Grundsatz der Abfallwirtschaft	1081
23.3.2	Primärmaßnahmen zur Abfallvermeidung	1081
23.3.3	Sekundärmaßnahmen zur Stoffkreislaufschließung	1082
23.3.4	Beseitigung von Abfällen	1082
24	Betriebswirtschaftslehre	1085
24.1	Betriebliches Personalmanagement	1087
24.1.1	Einführung	1087
24.1.2	Personalentwicklung	1088
24.1.2.1	Grundlagen	1088
24.1.2.2	Qualifikation von Mitarbeitern	1088
24.1.2.3	Mitarbeiterbeurteilung	1089
24.1.3	Personalführung	1090
24.1.3.1	Grundlagen	1090
24.1.3.2	Motivation	1092
24.1.4	Personalbeschaffung	1093
24.1.4.1	Grundlagen	1093
24.1.4.2	Werbung und Auswahl von Mitarbeitern	1093

24.1.5	Personalorganisation	1095
24.1.5.1	Grundlagen	1096
24.1.5.2	Personalinformationssysteme (PIS)	1096
24.1.6	Entgeltpolitik	1097
24.1.6.1	Grundlagen	1097
24.1.6.2	Prämien	1097
24.2.	Marketing	1098
24.2.1	Sichtweisen des Marketings	1098
24.2.2	Marketing-Mix	1100
24.2.3	Marketingformen	1100
24.2.4	Marketingstrategien	1100
24.2.4.1	Strategische Ziele	1101
24.2.4.2	Marketing-Basisstrategien	1101
24.2.5	Preispolitik	1104
24.2.5.1	Kostenorientierte Preissetzung	1104
24.2.5.2	Kundenorientierte Preissetzung	1104
24.2.5.3	Konkurrenzorientierte Preissetzung	1105
24.2.5.4	Konditionenpolitik	1105
24.2.6	Produktpolitik	1106
24.2.6.1	Produkttypologien	1107
24.2.6.2	Produkthierarchien	1108
24.2.6.3	Produktlinie	1108
24.2.6.4	Produktmix	1108
24.2.6.5	Sortiment	1109
24.2.6.6	Produktlebenszyklus (PLZ)	1109
24.2.6.7	Die Marke	1110
24.2.7	Distributionspolitik	1111
24.2.7.1	Wahl der Vertriebskanäle	1112
24.2.8	Kommunikationspolitik und Ziele	1116
24.2.8.1	Der Kommunikationsprozess	1116
24.2.8.2	Instrumente der Absatzförderung	1117
24.2.9	Das Bilden von Marktsegmenten	1118
24.2.10	Die Wahl der Zielmärkte und der Positionierung	1119
24.3	Der Jahresabschluss	1119
24.3.1	Bilanz	1119
24.3.1.1	Bilanzarten	1120
24.3.1.2	Gliederung der Bilanz	1121
24.3.1.3	Bewertung in der Bilanz	1122
24.3.2	Gewinn- und Verlustrechnung (GuV-Rechnung)	1123
24.3.3	Anhang und Lagebericht	1125
24.4	Kosten- und Leistungsrechnung	1125
24.4.1	Grundlagen	1125
24.4.2	Grundbegriffe der Kostenrechnung	1126
24.4.3	Kostenartenrechnung	1127
24.4.4	Kostenstellenrechnung	1129
24.4.4.1	Bestimmung der Kostenstellen	1129
24.4.4.2	Betriebsabrechnungsbogen (BAB)	1129
24.4.5	Kostenträgerrechnung	1131
24.4.5.1	Divisionskalkulation	1131

24.4.5.2	Zuschlagskalkulation	1133
24.4.6	Kostenrechnungssysteme in der Praxis	1134
24.4.6.1	Ist- und Plankostenrechnung	1134
24.4.6.2	Zusammenhang Kostenarten-, Kostenstellen- und Kostenträgerrechnung	1134
24.4.6.3	Teilkostenrechnung (Deckungsbeitragsrechnung)	1135
24.5	Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung	1136
24.5.1	Statische Verfahren	1136
24.5.1.1	Kostenvergleichsrechnung	1136
24.5.1.2	Gewinnvergleichsrechnung	1137
24.5.1.3	Rentabilitätsrechnung	1137
24.5.1.4	Amortisationsrechnung	1137
24.5.2	Dynamische Verfahren	1138
24.5.2.1	Kapitalwertmethode	1138
24.5.2.2	Interne Zinsfuß-Methode	1138
24.5.2.3	Annuitätenmethode	1138
24.6	Finanzierung	1139
24.6.1	Fremdfinanzierung	1140
24.6.1.1	Sicherheiten	1140
24.6.1.2	Kurzfristige Fremdfinanzierung	1140
24.6.1.3	Langfristige Fremdfinanzierung	1140
24.6.2	Innenfinanzierung	1141
24.6.2.1	Finanzierung aus Umsatzerlösen	1141
24.6.2.2	Finanzierung aus Kapitalfreisetzungen	1141
24.6.3	Beteiligungsfinanzierung	1142
24.6.3.1	Kapitalgesellschaften	1142
24.6.3.2	Personengesellschaften	1142
25	Anhang	1145
	Sachwortverzeichnis	1169