

# **GRUNDWISSEN des Ingenieurs**

Herausgegeben von

**Prof. Dr. rer. nat. Dr. rer. pol. Ekbert Hering**  
und

**Prof. Dr. rer. nat. habil. Karl-Heinz Modler**

13., völlig neu erarbeitete Auflage

Mit 831 Bildern und 265 Tabellen



**Fachbuchverlag Leipzig**  
im Carl Hanser Verlag

## **Herausgeber**

Prof. Dr. rer. nat. Dr. rer. pol. **Eckbert Hering**  
Fachhochschule Aalen  
Prof. Dr. rer. nat. habil. **Karl-Heinz Modler**  
Technische Universität Dresden

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation  
ist bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich.

ISBN 3-446-21443-7

**FACHGEBIETSBÜCHEREI**  
**Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik**  
**TU Darmstadt**  
**2299 Maba**

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Für in diesem Werk genannte Gesetze, Normen (DIN, DIN EN, DIN ISO, VDI, VDE usw.) und Richtlinien sind die jeweils gültigen Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum zu beachten.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag

© 2002 Carl Hanser Verlag München Wien

[www.fachbuch-leipzig.hanser.de](http://www.fachbuch-leipzig.hanser.de)

Projektleitung: Dipl.-Phys. Jochen Horn

Layout und Einbandgestaltung: Dipl.-Grafiker Matthias Dittmann, Mügeln

Korrektor: Dipl.-Phys. Klaus Vogelsang, Leipzig

Zeichnungen: Peter Palm, Berlin (Kapitel 3, 4, 13, 15, 16, 19)

Herstellung: Renate Roßbach

Satz, Druck und Bindung: Druckhaus „Thomas Müntzer“ GmbH, Bad Langensalza

Printed in Germany

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Mathematik</b>	31
<b>1.1</b>	<b>Zahlen</b>	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
<b>1.2</b>	<b>Lineare Algebra</b>	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
<b>1.3</b>	<b>Funktionen einer reellen Veränderlichen</b>	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

<b>1.4</b>	<b>Funktionen mehrerer Variabler</b> . . . . .	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
<b>1.5</b>	<b>Vektoranalysis</b> . . . . .	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
<b>1.6</b>	<b>Differenzialgleichungen</b> . . . . .	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
<b>2</b>	<b>Physik</b> . . . . .	83
<b>2.1</b>	<b>Einleitung, Stellung der Physik</b> . . . . .	85
<b>2.2</b>	<b>Mechanik</b> . . . . .	85
<b>2.3</b>	<b>Akustik</b> . . . . .	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
<b>2.4</b>	<b>Optik</b> . . . . .	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
<b>3</b>	<b>Chemie</b> . . . . .	115
<b>3.1</b>	<b>Atombau und chemische Bindung</b> . . . . .	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
<b>3.2</b>	<b>Chemische Reaktionen</b> . . . . .	<b>125</b>
3.2.1	Stöchiometrie . . . . .	125
3.2.2	Reaktionsenergie . . . . .	126
3.2.3	Reaktionskinetik. . . . .	127
3.2.4	Chemisches Gleichgewicht und Reaktionstypen . . . . .	128
<b>3.3</b>	<b>Analytische Chemie</b> . . . . .	<b>130</b>
3.3.1	Analysenverfahren . . . . .	132
3.3.2	Probenahme . . . . .	136
<b>3.4</b>	<b>Umweltchemie</b> . . . . .	<b>136</b>
3.4.1	Boden. . . . .	136
3.4.2	Wasser . . . . .	138
3.4.3	Atmosphäre . . . . .	139
3.4.4	Umweltschadstoffe . . . . .	140
<b>4</b>	<b>Elektrotechnik/Elektronik</b> . . . . .	<b>147</b>
<b>4.1</b>	<b>Grundgesetze und Definitionen</b> . . . . .	<b>149</b>
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
<b>4.2</b>	<b>Gleichstromkreise</b> . . . . .	<b>153</b>
4.2.1	Spannungs- und Stromquellen . . . . .	153
4.2.2	Schaltungen von Widerständen . . . . .	154
<b>4.3</b>	<b>Elektrisches Feld</b> . . . . .	<b>155</b>
4.3.1	Feldbegriff . . . . .	155
4.3.2	Kapazität . . . . .	156
4.3.3	Laden und Entladen von Kondensatoren . . . . .	157
<b>4.4</b>	<b>Magnetisches Feld</b> . . . . .	<b>158</b>
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
<b>4.5</b>	<b>Wechselstrom</b> . . . . .	<b>166</b>
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
<b>4.6</b>	<b>Drehstrom</b> . . . . .	<b>171</b>
<b>4.7</b>	<b>Leitungsmechanismen</b> . . . . .	<b>173</b>
4.7.1	Elektrische Leitung in Metallen . . . . .	173
4.7.2	Elektrische Leitung in Halbleitern . . . . .	174

<b>4.8</b>	<b>Elektronik</b> . . . . .	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
<b>5</b>	<b>Informatik und Kommunikationstechnik</b> . . . . .	187
<b>5.1</b>	<b>Informatik</b> . . . . .	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
<b>5.2</b>	<b>Kommunikationstechnik</b> . . . . .	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

<b>6</b>	<b>Technische Mechanik</b>	221
<b>6.1</b>	<b>Statik starrer Körper</b>	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
<b>6.2</b>	<b>Festigkeitslehre</b>	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
<b>6.3</b>	<b>Kinematik</b>	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
<b>6.4</b>	<b>Kinetik</b>	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
<b>6.5</b>	<b>Schwingungen mechanischer Systeme . . . . .</b>	<b>270</b>
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
<b>7</b>	<b>Strömungsmechanik . . . . .</b>	<b>279</b>
<b>7.1</b>	<b>Einführung . . . . .</b>	<b>281</b>
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
<b>7.2</b>	<b>Stromfadentheorie . . . . .</b>	<b>288</b>
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
<b>7.3</b>	<b>Inkompressible Strömungsfelder</b> . . . . .	<b>299</b>
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
<b>7.4</b>	<b>Strömungsmechanisches Versuchswesen</b> . . . . .	<b>309</b>
7.4.1	Aufgabengebiete . . . . .	309
7.4.2	Hydraulische Sonden . . . . .	309
7.4.3	Modellgesetze, Versuchsanlagen . . . . .	310
<b>7.5</b>	<b>Druckverlustbeiwerte</b> . . . . .	<b>311</b>
7.5.1	Rohrleitungen und Kanäle . . . . .	311
7.5.1.1	Kreiszyklrische 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, Siebgitter und Rohrbündel . . . . .	314
7.5.2.2	Krümmen, Umlenkigitter 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
<b>8</b>	<b>Thermodynamik</b> . . . . .	<b>319</b>
<b>8.1</b>	<b>Zustandseigenschaften der Fluide</b> . . . . .	<b>322</b>
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
<b>8.2</b>	<b>Energiebilanz – 1. Hauptsatz der Thermodynamik</b> . . . . .	<b>337</b>
	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
<b>8.3</b>	<b>Entropiebilanz – 2. Hauptsatz der Thermodynamik</b> . . . . .	<b>346</b>
	8.3.1 Geschlossenes System . . . . .	346
	8.3.2 Offenes stationäres System . . . . .	347
	8.3.3 Berechnung der Entropieänderungen . . . . .	348
<b>8.4</b>	<b>Exergiebilanz</b> . . . . .	<b>350</b>
	8.4.1 Energie, Exergie und Anergie . . . . .	350
	8.4.2 Offenes stationäres System . . . . .	351
	8.4.3 Berechnung der Exergieänderungen . . . . .	352
<b>8.5</b>	<b>Einfache technische Prozesse</b> . . . . .	<b>352</b>
	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
<b>9</b>	<b>Konstruktionselemente</b> . . . . .	<b>365</b>
<b>9.1</b>	<b>Definition und Konstruktionsprozess</b> . . . . .	<b>368</b>
<b>9.2</b>	<b>Maße, Toleranzen und Passungen</b> . . . . .	<b>369</b>
	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
<b>9.3</b>	<b>Nichtlösbare Verbindungen</b> . . . . .	<b>376</b>
	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
<b>9.4</b>	<b>Lösbare Verbindungen . . . . .</b>	<b>401</b>
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
<b>9.5</b>	<b>Elastische Verbindungselemente, Federn . . . . .</b>	<b>416</b>
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
<b>9.6</b>	<b>Drehbewegungselemente . . . . .</b>	<b>423</b>
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	Fliehkraftkupplungen (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	<b>Zahnräder und Zahnradgetriebe . . . . .</b>	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	<b>Hülltriebe. . . . .</b>	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	<b>Führungselemente für Flüssigkeiten und Gase . . . . .</b>	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

<b>10</b>	<b>Konstruktionstechnik</b> . . . . .	469
<b>10.1</b>	<b>Begriffe und Grundlagen</b> . . . . .	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
<b>10.2</b>	<b>Konstruktionsmethoden</b> . . . . .	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
<b>10.3</b>	<b>Gestalten und Dimensionieren</b> . . . . .	512
10.3.1	Grundsätze . . . . .	512
10.3.2	Vorgehen beim Gestalten . . . . .	513
10.3.3	Dimensionieren . . . . .	518
<b>10.4</b>	<b>Produktdokumentation und Datentransfer</b> . . . . .	519
<b>10.5</b>	<b>Schutz von Erfindungen</b> . . . . .	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
<b>11</b>	<b>Werkstofftechnik</b> . . . . .	527
<b>11.1</b>	<b>Kristallbau und Gitterbaufehler</b> . . . . .	530
<b>11.2</b>	<b>Thermisch aktivierte Prozesse</b> . . . . .	531
<b>11.3</b>	<b>Werkstoffprüfung</b> . . . . .	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

<b>11.4 Eisen und Stahl</b> . . . . .	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
<b>11.5 Nichteisenmetalle</b> . . . . .	552
11.5.1 Aluminiumlegierungen . . . . .	552
11.5.2 Magnesiumlegierungen . . . . .	553
11.5.3 Nickellegierungen . . . . .	554
11.5.4 Kupferlegierungen . . . . .	555
<b>11.6 Keramische Werkstoffe</b> . . . . .	556
11.6.1 Herstellung . . . . .	556
11.6.2 Aufbau und Eigenschaften . . . . .	557
11.6.3 Eigenschaften und Anwendungen . . . . .	560
<b>11.7 Kunststoffe</b> . . . . .	562
11.7.1 Herstellung . . . . .	562
11.7.2 Bezeichnung der Kunststoffe . . . . .	562
11.7.3 Eigenschaften und Anwendungen . . . . .	563
<b>11.8 Verbundwerkstoffe</b> . . . . .	568
11.8.1 Faserverbundwerkstoffe . . . . .	568
11.8.2 Metallmatrix-Verbundwerkstoffe (MMC) . . . . .	569
11.8.3 Keramikmatrix-Verbundwerkstoffe (CMC) . . . . .	571
<b>11.9 Funktionswerkstoffe</b> . . . . .	571
11.9.1 Magnetwerkstoffe . . . . .	571
11.9.2 Werkstoffe mit besonderen elektrischen Eigenschaften . . . . .	574
11.9.3 Halbleiter . . . . .	576
<b>11.10 Werkstoffe mit besonderen thermischen Eigenschaften</b> . . . . .	577
<b>12 Energietechnik</b> . . . . .	579
<b>12.1 Energietechnische Randbedingungen</b> . . . . .	583
<b>12.2 Primärenergieträger</b> . . . . .	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
<b>12.3 Wärmefreisetzung und Dampferzeugung im Kernkraftwerk</b> . . . . .	592
12.3.1 Wärmefreisetzung durch Kernumwandlung . . . . .	592
12.3.2 Dampferzeugung für den 2. Kreislauf eines KKW mit Druckwasserreaktor . . . . .	592
<b>12.4 Verfahren und Anlagen der thermischen Energieumwandlung</b> . . . . .	594
12.4.1 Energetische Gasturbinenanlagen . . . . .	594
12.4.2 Dampfkraftwerk . . . . .	596
12.4.3 Gas- und Dampfturbinenkraftwerk (GuD) . . . . .	602
<b>12.5 Anlagen zur Umwandlung regenerativer Energien</b> . . . . .	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

<b>12.6</b>	<b>Zuverlässigkeit, Ökonomie und Ökologie</b> . . . . .	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
<b>12.7</b>	<b>Zukünftige Entwicklungen in der Energietechnik</b> . . . . .	614
12.7.1	Dezentraler Bereich der Energieversorgung . . . . .	614
12.7.2	Zentrale Energieversorgung . . . . .	616
<b>13</b>	<b>Fertigungstechnik</b> . . . . .	619
<b>13.1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	621
13.1.1	Grundbegriffe und Definitionen . . . . .	621
13.1.2	Gliederung der Fertigungsverfahren . . . . .	621
13.1.3	Gliederung des Fertigungsprozesses . . . . .	622
<b>13.2</b>	<b>Urformen</b> . . . . .	624
13.2.1	Verfahrensübersicht . . . . .	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
<b>13.3</b>	<b>Umformen</b> . . . . .	632
13.3.1	Grundbegriffe und Verfahrensübersicht . . . . .	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
<b>13.4</b>	<b>Zerteilen</b> . . . . .	646
13.4.1	Verfahrensübersicht . . . . .	646
13.4.2	Schneidvorgang . . . . .	647
13.4.3	Schneidverfahren . . . . .	647
<b>13.5</b>	<b>Spanen</b> . . . . .	649
13.5.1	Einführung, Verfahrensübersicht . . . . .	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
<b>13.6</b>	<b>Abtragen</b> . . . . .	663
13.6.1	Definition und Verfahrensübersicht . . . . .	663
13.6.2	Thermisches Abtragen . . . . .	663
13.6.3	Chemisches Abtragen . . . . .	664
13.6.4	Elektrochemisches Abtragen . . . . .	664
<b>13.7</b>	<b>Fügen</b> . . . . .	665
13.7.1	Verfahrensübersicht . . . . .	665
13.7.2	Schweißvorgang und Grundbegriffe . . . . .	666

13.7.3	Schmelzschweißverfahren . . . . .	667
13.7.4	Pressschweißverfahren . . . . .	669
<b>13.8</b>	<b>Beschichten</b> . . . . .	669
13.8.1	Einführung, Verfahrensübersicht . . . . .	669
13.8.2	Vakuumbeschichten . . . . .	670
13.8.3	Galvanisieren . . . . .	671
<b>13.9</b>	<b>Stoffeigenschaftsändern</b> . . . . .	672
13.9.1	Verfahrensübersicht . . . . .	672
13.9.2	Verfestigen durch Umformen . . . . .	673
13.9.3	Wärmebehandeln . . . . .	674
13.9.4	Thermomechanische Behandlung . . . . .	675
<b>14</b>	<b>Fertigungssysteme</b> . . . . .	677
<b>14.1</b>	<b>Einleitung</b> . . . . .	679
<b>14.2</b>	<b>Entwicklungstendenzen in der Fertigungstechnik</b> . . . . .	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
<b>14.3</b>	<b>Voraussetzungen und Charakteristika des Einsatzes von Flexiblen Fertigungssystemen (FFS)</b> . . . . .	681
14.3.1	Voraussetzungen für den Einsatz von FFS . . . . .	681
14.3.2	Einsatzcharakteristika für FFS . . . . .	682
<b>14.4</b>	<b>Planungsgrundlagen für FFS</b> . . . . .	684
<b>14.5</b>	<b>Aufbau und Planung des FFS</b> . . . . .	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
<b>14.6</b>	<b>Das Maschinenkonzept im FFS</b> . . . . .	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
<b>14.7</b>	<b>Materialflusssystem im FFS</b> . . . . .	700
14.7.1	Werkzeugverwaltung . . . . .	700
14.7.2	Werkstücktransport . . . . .	703
<b>14.8</b>	<b>Informationssystem im FFS</b> . . . . .	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

<b>14.9 Flexible Montagesysteme (FMS)</b> . . . . .	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
<b>14.10 Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungslösungen</b> . . . . .	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
<b>14.11 Personalbedarf für Planung und Betrieb eines FFS</b> . . . . .	725
<b>14.12 Bewertung von FFS</b> . . . . .	725
14.12.1 Bewertung in der Planungsphase . . . . .	726
14.12.2 Bewertung in der Einsatzphase. . . . .	727
<b>14.13 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für FFS</b> . . . . .	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
<b>14.14 Zusammenfassung und Ausblick</b> . . . . .	732
<b>15 Fluidenergiemaschinen</b> . . . . .	735
<b>15.1 Charakterisierung und Einteilung der Fluidenergiemaschinen</b> . . . . .	738
<b>15.2 Turbomaschinen</b> . . . . .	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
<b>15.3 Kolbenmaschinen</b> . . . . .	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

<b>16</b>	<b>Elektrische und Elektronische Bauelemente</b>	767
<b>16.1</b>	<b>Passive Bauelemente</b>	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 Kalteleiter	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
<b>16.2</b>	<b>Halbleiterbauelemente</b>	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