
Inhaltsverzeichnis



Mathematik und Statistik

P. Ruge, C. Birk, M. Wermuth

Mathematik

P. Ruge, C. Birk

1	Mengen, Logik, Graphen	A1
1.1	Mengen	A1
	1.1.1 Grundbegriffe der Mengenlehre – 1.1.2 Mengenrelationen und -operationen	
1.2	Verknüpfungsmerkmale spezieller Mengen	A2
1.3	Aussagenlogik	A3
1.4	Graphen	A4
2	Zahlen, Abbildungen, Folgen	A5
2.1	Reelle Zahlen	A5
	2.1.1 Zahlenmengen, Mittelwerte – 2.1.2 Potenzen, Wurzeln, Logarithmen	
2.2	Stellenwertsysteme	A6
2.3	Komplexe Zahlen	A6
	2.3.1 Grundoperationen, Koordinatendarstellung – 2.3.2 Potenzen, Wurzeln	
2.4	Intervalle	A7
2.5	Abbildungen, Folgen und Reihen	A7
	2.5.1 Abbildungen, Funktionen – 2.5.2 Folgen und Reihen – 2.5.3 Potenzen von Reihen	
3	Matrizen und Tensoren	A10
3.1	Matrizen	A10
	3.1.1 Bezeichnungen, spezielle Matrizen – 3.1.2 Rechenoperationen – 3.1.3 Matrixnormen	
3.2	Determinanten	A13
3.3	Vektoren	A14
	3.3.1 Vektoreigenschaften – 3.3.2 Basis – 3.3.3 Inneres oder Skalarprodukt – 3.3.4 Äußeres oder Vektorprodukt – 3.3.5 Spatprodukt, Mehrfachprodukte	
3.4	Tensoren	A18
	3.4.1 Tensoren n -ter Stufe – 3.4.2 Tensoroperationen	
4	Elementare Geometrie	A19
4.1	Koordinaten	A19
	4.1.1 Koordinaten, Basen – 4.1.2 Kartesische Koordinaten – 4.1.3 Polarkoordinaten – 4.1.4 Flächenkoordinaten – 4.1.5 Volumenkoordinaten – 4.1.6 Zylinderkoordinaten – 4.1.7 Kugelkoordinaten	

4.2	Kurven, Flächen 1. und 2. Ordnung	A21
4.2.1	Gerade in der Ebene – 4.2.2 Ebene im Raum – 4.2.3 Gerade im Raum –	
4.2.4	Kurven 2. Ordnung – 4.2.5 Flächen 2. Ordnung	
4.3	Planimetrie, Stereometrie	A26
5	Projektionen	A33
6	Algebraische Funktionen einer Veränderlichen	A35
6.1	Sätze über Nullstellen	A35
6.2	Quadratische Gleichungen	A36
7	Transzendente Funktionen	A36
7.1	Exponentialfunktionen	A36
7.2	Trigonometrische Funktionen	A36
7.3	Hyperbolische Funktionen	A40
8	Höhere Funktionen	A42
8.1	Algebraische Funktionen 3. und 4. Ordnung	A42
8.2	Zykloiden, Spiralen	A42
8.3	Delta-, Heaviside- und Gammafunktion	A42
9	Differenziation reeller Funktionen einer Variablen	A46
9.1	Grenzwert, Stetigkeit	A46
9.2	Ableitung einer Funktion	A47
9.2.1	Funktionsdarstellung nach Taylor – 9.2.2 Grenzwerte durch Ableitungen –	
9.2.3	Extrema, Wendepunkte	
9.3	Fraktionale Ableitungen	A52
10	Integration reeller Funktionen einer Variablen	A53
10.1	Unbestimmtes Integral	A53
10.2	Bestimmtes Integral	A55
10.2.1	Integrationsregeln – 10.2.2 Uneigentliche Integrale	
11	Differenziation reeller Funktionen mehrerer Variablen	A57
11.1	Grenzwert, Stetigkeit	A57
11.2	Ableitungen	A58
11.2.1	Funktionsdarstellung nach Taylor – 11.2.2 Extrema	
12	Integration reeller Funktionen mehrerer Variablen	A61
12.1	Parameterintegrale	A61
12.2	Doppelintegrale	A62
12.3	Uneigentliche Bereichsintegrale	A63
12.4	Dreifachintegrale	A63
12.5	Variablentransformation	A64
12.6	Kurvenintegrale	A65
12.7	Oberflächenintegrale	A66
13	Differenzialgeometrie der Kurven	A66
13.1	Ebene Kurven	A66
13.1.1	Tangente, Krümmung – 13.1.2 Hüllkurve	
13.2	Räumliche Kurven	A68
14	Räumliche Drehungen	A69
15	Differenzialgeometrie gekrümmter Flächen	A70
16	Differenzialgeometrie im Raum	A71
16.1	Basen, Metrik	A71
16.2	Krummlinige Koordinaten	A72
17	Differenziation und Integration in Feldern	A73
17.1	Nabla-Operator	A73

17.2	Fluss, Zirkulation	A75
17.3	Integralsätze	A76
18	Differenziation und Integration komplexer Funktionen	A77
18.1	Darstellung, Stetigkeit komplexer Funktionen	A77
18.2	Ableitung	A78
18.3	Integration	A79
19	Konforme Abbildung	A82
20	Orthogonalsysteme	A84
21	Fourier-Reihen	A85
21.1	Reelle Entwicklung	A85
21.2	Komplexe Entwicklung	A86
22	Polynomentwicklungen	A88
23	Integraltransformationen	A89
23.1	Fourier-Transformation	A89
23.2	Laplace-Transformation	A90
23.3	z -Transformation	A92
24	Gewöhnliche Differenzialgleichungen	A94
24.1	Einteilung	A94
24.2	Geometrische Interpretation	A94
25	Lösungsverfahren für gewöhnliche Differenzialgleichungen	A95
25.1	Trennung der Veränderlichen	A95
25.2	Totales Differenzial	A95
25.3	Substitution	A96
25.4	Lineare Differenzialgleichungen	A96
25.5	Lineare Differenzialgleichung, konstante Koeffizienten	A97
25.6	Normiertes Fundamentalsystem	A98
25.7	Green'sche Funktion	A99
25.8	Integration durch Reihenentwicklung	A100
25.9	Integralgleichungen	A101
26	Systeme von Differenzialgleichungen	A101
27	Selbstadjungierte Differenzialgleichung	A103
28	Klassische nichtelementare Differenzialgleichungen	A104
29	Partielle Differenzialgleichungen 1. Ordnung	A106
30	Partielle Differenzialgleichungen 2. Ordnung	A106
31	Lösungen partieller Differenzialgleichungen	A108
31.1	Spezielle Lösungen der Wellen- und Potenzialgleichung	A108
31.2	Fundamentallösungen	A110
32	Variationsrechnung	A111
32.1	Funktionale	A111
32.2	Optimierung	A115
32.3	Lineare Optimierung	A116
33	Lineare Gleichungssysteme	A117
33.1	Gestaffelte Systeme	A117
33.2	Gaußverwandte Verfahren	A118
33.3	Überbestimmte Systeme	A121
33.4	Testmatrizen	A121
34	Nichtlineare Gleichungen	A122

34.1	Fixpunktiteration, Konvergenzordnung	A122
34.2	Spezielle Iterationsverfahren	A123
34.3	Nichtlineare Gleichungssysteme	A125
35	Matrizeneigenwertproblem	A126
35.1	Homogene Matrizenfunktionen, Normalformen	A126
35.2	Symmetrische Matrizenpaare	A128
35.3	Testmatrizen	A130
35.4	Singulärwertzerlegung	A131
36	Interpolation	A132
36.1	Nichtperiodische Interpolation	A132
36.2	Periodische Interpolation	A136
36.3	Integration durch Interpolation	A136
37	Numerische Integration von Differenzialgleichungen	A139
37.1	Anfangswertprobleme	A139
37.2	Randwertprobleme	A143
37.3	Mehrgitterverfahren (Multigrid method)	A145

Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik

M. Wermuth

38	Wahrscheinlichkeitsrechnung	A147
38.1	Zufallsexperiment und Zufallsereignis	A147
38.2	Kombinatorik	A147
38.3	Wahrscheinlichkeit von Zufallsereignissen	A149
38.4	Bedingte Wahrscheinlichkeit	A149
38.5	Unabhängigkeit von Ereignissen	A150
38.6	Rechenregeln für Wahrscheinlichkeiten	A150
39	Zufallsvariable und Wahrscheinlichkeitsverteilung	A152
39.1	Zufallsvariablen	A152
39.2	Wahrscheinlichkeits- und Verteilungsfunktion einer diskreten Zufallsvariablen	A152
39.3	Wahrscheinlichkeitsdichte- und Verteilungsfunktion einer stetigen Zufallsvariablen	A153
39.4	Kenngrößen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen	A153
	39.4.1 α -Quantil – 39.4.2 Erwartungswert einer Funktion einer Zufallsgröße – 39.4.3 Lageparameter einer Verteilung – 39.4.4 Streuungsparameter einer Verteilung	
39.5	Stochastische Unabhängigkeit von Zufallsgrößen	A163
39.6	Korrelation von Zufallsgrößen	A164
40	Deskriptive Statistik	A165
40.1	Aufgaben der Statistik	A165
40.2	Grundbegriffe	A167
40.3	Häufigkeit und Häufigkeitsverteilung	A167
40.4	Kenngrößen empirischer Verteilungen	A169
	40.4.1 Lageparameter – 40.4.2 Streuungsparameter	
40.5	Empirischer Korrelationskoeffizient	A170
41	Induktive Statistik	A170
41.1	Stichprobenauswahl	A171
41.2	Stichprobenfunktionen	A171
42	Statistische Schätzverfahren	A171

42.1	Schätzfunktion	A171
42.2	Punktschätzung	A171
42.3	Intervallschätzung	A172
43	Statistische Prüfverfahren (Tests)	A173
43.1	Ablauf eines Tests	A173
43.2	Test der Gleichheit des Erwartungswerts μ eines quantitativen Merkmals mit einem gegebenen Wert μ_0 (Parametertest)	A174
43.3	Test der Gleichheit des Anteilswerts p eines qualitativen Merkmals mit einem gegebenen Wert p_0 (Parametertest)	A175
43.4	Test der Gleichheit einer empirischen mit einer theoretischen Verteilung (Anpassungstest)	A176
43.5	Prüfen der Unabhängigkeit zweier Zufallsgrößen (Korrelationskoeffizient)	A176
44	Regression	A177
44.1	Grundlagen	A177
44.2	Schätzwerte für α , β und σ^2	A177
44.3	Konfidenzintervalle für die Parameter β , σ^2 und $\mu(\chi)$	A177
44.4	Prüfen einer Hypothese über den Regressionskoeffizienten	A178
44.5	Beispiel zur Regressionsrechnung	A178
	Formelzeichen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik	A179
	Literatur	A180

B

Physik

H. Niedrig, M. Sternberg

0	Übersicht	B1
1	Physikalische Größen und Einheiten	B2
1.1	Physikalische Größen	B2
1.2	Basisgrößen und -einheiten	B2
1.3	Das Internationale Einheitensystem, Konstanten und Einheiten	B2

I. Teilchen und Teilchensysteme

2	Kinematik	B7
2.1	Geradlinige Bewegung	B7
2.2	Kreisbewegung	B9
2.3	Gleichförmig translatorische Relativbewegung	B10
	2.3.1 Galilei-Transformation – 2.3.2 Lorentz-Transformation – 2.3.3 Relativistische Kinematik	
2.4	Geradlinig beschleunigte Relativbewegung	B14
2.5	Rotatorische Relativbewegung	B14
3	Kraft und Impuls	B15
3.1	Trägheitsgesetz	B16
3.2	Kraftgesetz	B16
	3.2.1 Gewichtskraft – 3.2.2 Federkraft – 3.2.3 Reibungskräfte	
3.3	Reaktionsgesetz	B18
	3.3.1 Kräfte bei elastischen Verformungen – 3.3.2 Kräfte zwischen freien Körpern („innere Kräfte“)	
3.4	Äquivalenzprinzip: Schwer- und Trägheitskräfte	B20
3.5	Trägheitskräfte bei Rotation	B20
	3.5.1 Zentripetal- und Zentrifugalkraft – 3.5.2 Coriolis-Kraft	

3.6	Drehmoment und Gleichgewicht	B21
3.7	Drehimpuls (Drall)	B22
3.8	Drehimpulserhaltung	B23
4	Arbeit und Energie	B23
4.1	Beschleunigungsarbeit, kinetische Energie	B24
4.2	Potenzielle Energie, Hub- und Spannungsarbeit	B24
4.3	Energieerhaltung bei konservativen Kräften	B26
4.4	Energiesatz bei nichtkonservativen Kräften	B26
4.5	Relativistische Dynamik	B27
5	Schwingungen	B29
5.1	Kinematik der harmonischen Bewegung	B29
5.2	Der ungedämpfte, harmonische Oszillator	B30
	5.2.1 Mechanische harmonische Oszillatoren – 5.2.2 Schwingungsgleichung und Schwingungsenergie des harmonischen Oszillators	
5.3	Freie gedämpfte Schwingungen	B34
	5.3.1 Periodischer Fall (Schwingfall) – 5.3.2 Aperiodischer Grenzfall – 5.3.3 Aperiodischer Fall (Kriechfall) – 5.3.4 Abklingzeit	
5.4	Erzwungene Schwingungen, Resonanz	B37
	5.4.1 Resonanz – 5.4.2 Leistungsaufnahme des Oszillators	
5.5	Überlagerung von harmonischen Schwingungen	B40
	5.5.1 Schwingungen gleicher Frequenz – 5.5.2 Schwingungen verschiedener Frequenz	
5.6	Gekoppelte Oszillatoren	B43
	5.6.1 Gekoppelte Pendel – 5.6.2 Mehrere gekoppelte Oszillatoren	
5.7	Nichtlineare Oszillatoren. Chaotisches Schwingungsverhalten	B46
6	Teilchensysteme	B48
6.1	Schwerpunkt (Massenzentrum), Impuls und Drehimpuls von Teilchensystemen	B49
	6.1.1 Schwerpunktbewegung ohne äußere Kräfte – 6.1.2 Schwerpunktbewegung bei Einwirkung äußerer Kräfte – 6.1.3 Drehimpuls eines Teilchensystems	
6.2	Energieinhalt von Teilchensystemen	B52
	6.2.1 Energieerhaltungssatz in Teilchensystemen – 6.2.2 Bindungsenergie eines Teilchensystems	
6.3	Stöße	B54
	6.3.1 Zentraler elastischer Stoß – 6.3.2 Nichtzentraler elastischer Stoß – 6.3.3 Unelastischer Stoß	
7	Dynamik starrer Körper	B59
7.1	Translation und Rotation eines starren Körpers	B59
7.2	Rotationsenergie, Trägheitsmoment	B61
7.3	Drehimpuls eines starren Körpers	B63
7.4	Kreisel	B64
7.5	Vergleich Translation — Rotation	B65
8	Statistische Mechanik — Thermodynamik	B65
8.1	Kinetische Theorie der Gase	B66
8.2	Temperaturskalen, Gasgesetze	B69
8.3	Freiheitsgrade, Gleichverteilungssatz	B72
8.4	Reale Gase, tiefe Temperaturen	B74
8.5	Energieaustausch bei Vielteilchensystemen	B78
	8.5.1 Volumenarbeit – 8.5.2 Wärme – 8.5.3 Energieerhaltungssatz für Vielteilchensysteme	
8.6	Wärmemengen bei thermodynamischen Prozessen	B81
	8.6.1 Spezifische und molare Wärmekapazitäten – 8.6.2 Phasenumwandlungsenthalpien	

8.7	Zustandsänderungen bei idealen Gasen	B85
8.8	Kreisprozesse	B88
	8.8.1 Wärmekraftmaschine – 8.8.2 Kältemaschine und Wärmepumpe	
8.9	Ablaufrichtung physikalischer Prozesse (Entropie)	B91
9	Transporterscheinungen	B95
9.1	Stoßquerschnitt, mittlere freie Weglänge	B95
9.2	Molekulardiffusion	B96
9.3	Wärmeleitung	B97
9.4	Innere Reibung: Viskosität	B99
10	Hydro- und Aerodynamik	B103
10.1	Strömungen idealer Flüssigkeiten	B104
10.2	Strömungen realer Flüssigkeiten	B108

II. Wechselwirkungen und Felder

11	Gravitationswechselwirkung	B111
11.1	Der Feldbegriff	B111
11.2	Planetenbewegung: Kepler-Gesetze	B111
11.3	Newton'sches Gravitationsgesetz	B112
11.4	Das Gravitationsfeld	B113
11.5	Satellitenbahnen im Zentralfeld	B115
12	Elektrische Wechselwirkung	B118
12.1	Elektrische Ladung, Coulomb'sches Gesetz	B118
12.2	Das elektrostatische Feld	B119
12.3	Elektrisches Potenzial, elektrische Spannung	B124
12.4	Quantisierung der elektrischen Ladung	B126
12.5	Energieaufnahme im elektrischen Feld	B127
12.6	Elektrischer Strom	B129
12.7	Elektrische Leiter im elektrostatischen Feld, Influenz	B130
12.8	Kapazität leitender Körper	B132
12.9	Nichtleitende Materie im elektrischen Feld, elektrische Polarisation	B134
13	Magnetische Wechselwirkung	B140
13.1	Das magnetostatische Feld, stationäre Magnetfelder	B140
13.2	Die magnetische Kraft auf bewegte Ladungen	B143
13.3	Die magnetische Kraft auf stromdurchflossene Leiter	B147
13.4	Materie im magnetischen Feld, magnetische Polarisation	B149
14	Zeitveränderliche elektromagnetische Felder	B156
14.1	Zeitveränderliche magnetische Felder: Induktion	B156
14.2	Selbstinduktion	B160
14.3	Energieinhalt des Magnetfeldes	B161
14.4	Wirkung zeitveränderlicher elektrischer Felder	B161
14.5	Maxwell'sche Gleichungen	B162
15	Elektrische Stromkreise	B163
15.1	Ohm'sches Gesetz	B164
15.2	Gleichstromkreise, Kirchhoff'sche Sätze	B165
15.3	Wechselstromkreise	B166
	15.3.1 Wechselstromarbeit – 15.3.2 Transformator – 15.3.3 Scheinwiderstand von R, L und C	

15.4	Elektromagnetische Schwingungen	B170
	15.4.1 Freie, gedämpfte elektromagnetische Schwingungen – 15.4.2 Erzwungene elektromagnetische Schwingungen, Resonanzkreise – 15.4.3 Selbsterregung elektromagnetischer Schwingungen durch Rückkopplung	
16	Transport elektrischer Ladung; Leitungsmechanismen	B175
16.1	Elektrische Struktur der Materie	B175
	16.1.1 Atomstruktur – 16.1.2 Elektronen in Festkörpern	
16.2	Metallische Leitung	B184
16.3	Supraleitung	B187
16.4	Halbleiter	B191
	16.4.1 Eigenleitung – 16.4.2 Störstellenleitung – 16.4.3 Hall-Effekt in Halbleitern – 16.4.4 PN-Übergänge	
16.5	Elektrolytische Leitung	B197
16.6	Stromleitung in Gasen	B198
	16.6.1 Unselbstständige Gasentladung – 16.6.2 Selbstständige Gasentladung – 16.6.3 Der Plasmazustand	
16.7	Elektrische Leitung im Hochvakuum	B202
	16.7.1 Elektronenemission	
	16.7.2 Bewegung freier Ladungsträger im Vakuum	
17	Starke und schwache Wechselwirkung:	
	Atomkerne und Elementarteilchen	B208
17.1	Atomkerne	B208
17.2	Massendefekt, Kernbindungsenergie	B210
17.3	Radioaktiver Zerfall	B211
	17.3.1 Alphazerfall – 17.3.2 Betazerfall	
17.4	Künstliche Kernumwandlungen, Kernenergiegewinnung	B214
17.5	Elementarteilchen	B219

III. Wellen und Quanten

18	Wellenausbreitung	B224
18.1	Beschreibung von Wellenbewegungen, Wellengleichung	B224
18.2	Elastische Wellen, Schallwellen	B229
18.3	Doppler-Effekt, Kopfwellen	B232
19	Elektromagnetische Wellen	B234
19.1	Erzeugung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen	B235
19.2	Elektromagnetisches Spektrum	B240
20	Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Materie	B242
20.1	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Materie, Dispersion	B242
20.2	Emission und Absorption des schwarzen Körpers, Planck'sches Strahlungsgesetz	B245
20.3	Quantisierung des Lichtes, Photonen	B249
20.4	Stationäre Energiezustände, Spektroskopie	B252
20.5	Induzierte Emission, Laser	B255
21	Reflexion und Brechung, Polarisation	B258
21.1	Reflexion, Brechung, Totalreflexion	B258
21.2	Optische Polarisation	B262
22	Geometrische Optik	B264
22.1	Optische Abbildung	B264
22.2	Abbildungsfehler	B268
23	Interferenz und Beugung	B270

23.1	Huygens'sches Prinzip	B270
23.2	Fraunhofer-Beugung an Spalt und Gitter	B273
24	Wellenaspekte bei der optischen Abbildung	B277
24.1	Abbe'sche Mikroskoptheorie	B277
24.2	Holografie	B278
25	Materiewellen	B280
25.1	Teilchen, Wellen, Unschärferelation	B280
25.2	Die De-Broglie-Beziehung	B281
25.3	Die Schrödinger-Gleichung	B283
25.4	Elektronenbeugung, Elektroneninterferenzen	B284
25.5	Elektronenoptik	B286
	Literatur	B289



Chemie

B. Plewinsky, M. Hennecke, W. Oppermann

1	Atombau	C1
1.1	Das Atommodell von Rutherford	C1
1.2	Das Bohr'sche Atommodell	C1
1.3	Ionisierungsenergie, Elektronenaffinität	C2
1.4	Das quantenmechanische Atommodell	C3
	1.4.1 Die Ψ -Funktion – 1.4.2 Die Schrödinger-Gleichung für das Wasserstoffatom – 1.4.3 Darstellung der Wasserstoff-Orbitale – 1.4.4 Mehrelektronensysteme	
1.5	Besetzung der Energieniveaus	C5
1.6	Darstellung der Elektronenkonfiguration	C5
1.7	Aufbau des Atomkerns	C5
2	Das Periodensystem der Elemente	C6
2.1	Aufbau des Periodensystems	C6
2.2	Periodizität einiger Eigenschaften	C8
3	Chemische Bindung	C8
3.1	Atombindung (kovalente Bindung)	C8
	3.1.1 Modell nach Lewis – 3.1.2 Molekülorbitale – 3.1.3 Hybridisierung – 3.1.4 Elektronegativität	
3.2	Ionenbindung	C11
	3.2.1 Gitterenergie – 3.2.2 Born-Haber'scher Kreisprozess – 3.2.3 Atom- und Ionenradien	
3.3	Metallische Bindung	C12
3.4	Van-der-Waals'sche Bindung und Wasserstoffbrückenbindung (Nebervalenzbindungen)	C13
4	Chemische Gleichungen und Stöchiometrie	C13
4.1	Chemische Formeln	C13
4.2	Chemische Gleichungen	C13
4.3	Grundgesetze der Stöchiometrie	C14
	4.3.1 Gesetz von der Erhaltung der Masse – 4.3.2 Gesetz der konstanten Proportionen – 4.3.3 Gesetz der multiplen Proportionen	
4.4	Stoffmenge, Avogadro-Konstante	C15
4.5	Die molare Masse	C15
4.6	Quantitative Beschreibung von Mischphasen	C15
	4.6.1 Der Massenanteil – 4.6.2 Der Stoffmengenanteil – 4.6.3 Die Konzentration (oder Stoffmengenkonzentration)	

4.7	Stöchiometrische Berechnungen	C16
	4.7.1 Gravimetrische Analyse – 4.7.2 Maßanalyse – 4.7.3 Verbrennungsvorgänge	
5	Zustandsformen der Materie	C18
5.1	Gase	C18
	5.1.1 Ideale Gase – 5.1.2 Zustandsgleichung idealer Gase – 5.1.3 Spezialfälle der Zustandsgleichung idealer Gase – 5.1.4 Reale Gase – 5.1.5 Die Virialgleichung – 5.1.6 Die van-der-Waals'sche Gleichung. Der kritische Punkt	
5.2	Flüssigkeiten	C22
	5.2.1 Einteilung der Flüssigkeiten – 5.2.2 Struktur von Flüssigkeiten – 5.2.3 Eigenschaften des flüssigen Wassers – 5.2.4 Gläser – 5.2.5 Flüssige Kristalle oder Flüssigkristalle	
5.3	Festkörper	C26
	5.3.1 Kristalle – 5.3.2 Bindungszustände in Kristallen – 5.3.3 Reale Kristalle – 5.3.4 Grenzflächen	
5.4	Plasmen	C30
6	Thermodynamik chemischer Reaktionen.	
	Das chemische Gleichgewicht	C30
6.1	Grundlagen	C30
	6.1.1 Einteilung der thermodynamischen Systeme – 6.1.2 Die Umsatzvariable	
6.2	Anwendung des 1. Hauptsatzes der Thermodynamik auf chemische Reaktionen	C31
	6.2.1 Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik – 6.2.2 Die Reaktionsenergie – 6.2.3 Die Reaktionsenthalpie – 6.2.4 Der Heß'sche Satz – 6.2.5 Die Standardbildungsenthalpie von Verbindungen – 6.2.6 Temperatur- und Druckabhängigkeit der Reaktionsenthalpie	
6.3	Anwendung des 2. und 3. Hauptsatzes der Thermodynamik auf chemische Reaktionen	C35
	6.3.1 Grundlagen – 6.3.2 Reaktionsentropie – 6.3.3 Die Freie Enthalpie und das chemische Potenzial – 6.3.4 Die Freie Reaktionsenthalpie. Die Gibbs-Helmholtz'sche Gleichung – 6.3.5 Phasenstabilität	
6.4	Das Massenwirkungsgesetz	C38
	6.4.1 Chemisches Gleichgewicht – 6.4.2 Homogene Gasreaktionen – 6.4.3 Heterogene Reaktionen – 6.4.4 Berechnung von Gleichgewichtskonstanten aus thermochemischen Tabellen – 6.4.5 Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstante – 6.4.6 Prinzip des kleinsten Zwanges – 6.4.7 Gekoppelte Gleichgewichte	
7	Geschwindigkeit chemischer Reaktionen. Reaktionskinetik . . .	C41
7.1	Reaktionsgeschwindigkeit und Freie Reaktionsenthalpie	C41
7.2	Reaktionsgeschwindigkeit und Reaktionsordnung	C41
7.3	Elementarreaktion, Reaktionsmechanismus und Molekularität	C42
7.4	Konzentrationsabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	C43
	7.4.1 Zeitgesetz 1. Ordnung – 7.4.2 Zeitgesetz 2. Ordnung	
7.5	Reaktionsgeschwindigkeit und Massenwirkungsgesetz	C44
7.6	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	C45
7.7	Kettenreaktionen	C45
7.8	Explosionen	C46
7.9	Katalyse	C46
	7.9.1 Grundlagen – 7.9.2 Homogene Katalyse – 7.9.3 Heterogene Katalyse – 7.9.4 Haber-Bosch-Verfahren	
8	Stoffe und Reaktionen in Lösung	C48
8.1	Disperse Systeme	C48
	8.1.1 Kolloide – 8.1.2 Lösungen – 8.1.3 Elektrolyte, Elektrolytlösungen	
8.2	Kolligative Eigenschaften von Lösungen	C49
	8.2.1 Dampfdruckerniedrigung – 8.2.2 Gefrierpunkterniedrigung und Siedepunkterhöhung – 8.2.3 Osmotischer Druck	
8.3	Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten	C52

8.4	Verteilung gelöster Stoffe zwischen zwei Lösungsmitteln	C52
8.5	Wasser als Lösungsmittel	C52
8.6	Eigendissoziation des Wassers, Ionenprodukt des Wassers	C53
8.7	Säuren und Basen	C53
	8.7.1 Definitionen von Arrhenius und Brønsted – 8.7.2 Starke und schwache Säuren und Basen – 8.7.3 Der pH-Wert – 8.7.4 pH-Wert der Lösung einer starken Säure bzw. Base – 8.7.5 pH-Wert der Lösung einer schwachen Säure bzw. Base – 8.7.6 pH-Wert von Salzlösungen (Hydrolyse) – 8.7.7 Löslichkeitsprodukt	
8.8	Härte des Wassers	C58
9	Redoxreaktionen	C58
9.1	Oxidationszahl	C58
9.2	Oxidation und Reduktion, Redoxreaktionen	C58
9.3	Beispiele für Redoxreaktionen	C59
	9.3.1 Verbrennungsvorgänge – 9.3.2 Auflösen von Metallen in Säuren – 9.3.3 Darstellung von Metallen durch Reduktion von Metalloxiden	
9.4	Redoxreaktionen in elektrochemischen Zellen	C60
9.5	Elektrodenpotenziale, elektrochemische Spannungsreihe	C61
	9.5.1 Definition von Anode und Kathode – 9.5.2 Konzentrations- bzw. Partialdruck- abhängigkeit des Elektrodenpotenzials einer Halbzelle – 9.5.3 Berechnung der EMK elektrochemischer Zellen aus Elektrodenpotenzialen – 9.5.4 Edle und unedle Metalle	
9.6	Elektrochemische Korrosion	C63
9.7	Erzeugung von elektrischem Strom durch Redoxreaktionen	C63
9.8	Elektrolyse, Faraday-Gesetz	C64
	9.8.1 Technische Anwendungen elektrolytischer Vorgänge	
10	Die Elementgruppen	C65
10.1	Wasserstoff	C65
10.2	I. Hauptgruppe: Alkalimetalle	C66
10.3	II. Hauptgruppe: Erdalkalimetalle	C66
10.4	III. Hauptgruppe: die Borgruppe	C67
	10.4.1 Bor – 10.4.2 Aluminium	
10.5	IV. Hauptgruppe: die Kohlenstoffgruppe	C69
	10.5.1 Kohlenstoff – 10.5.2 Silicium – 10.5.3 Germanium, Zinn und Blei	
10.6	V. Hauptgruppe: die Stickstoffgruppe	C71
	10.6.1 Stickstoff – 10.6.2 Phosphor – 10.6.3 Arsen, Antimon	
10.7	VI. Hauptgruppe: Chalkogene	C73
	10.7.1 Sauerstoff – 10.7.2 Schwefel	
10.8	VII. Hauptgruppe: Halogene	C75
	10.8.1 Fluor – 10.8.2 Chlor – 10.8.3 Brom und Iod	
10.9	VIII. Hauptgruppe: Edelgase	C76
10.10	Scandiumgruppe (III. Nebengruppe)	C76
10.11	Titangruppe (IV. Nebengruppe)	C77
	10.11.1 Titan – 10.11.2 Zirconium	
10.12	Vanadiumgruppe (V. Nebengruppe)	C77
	10.12.1 Vanadium	
10.13	Chromgruppe (VI. Nebengruppe)	C78
	10.13.1 Chrom – 10.13.2 Molybdän – 10.13.3 Wolfram	
10.14	Mangangruppe (VII. Nebengruppe)	C79
	10.14.1 Mangan	
10.15	Eisenmetalle und Elementgruppe der Platinmetalle (VIII. Nebengruppe)	C80
	10.15.1 Eisen – 10.15.2 Cobalt – 10.15.3 Nickel	

10.16 Kupfergruppe (I. Nebengruppe)	C81
10.16.1 Kupfer – 10.16.2 Silber – 10.16.3 Gold	
10.17 Zinkgruppe (II. Nebengruppe)	C82
10.17.1 Zink – 10.17.2 Quecksilber	
10.18 Die Lanthanoide	C83
10.19 Die Actinoide	C84
10.19.1 Thorium – 10.19.2 Uran – 10.19.3 Plutonium	
11 Organische Verbindungen	C86
11.1 Organische Chemie: Überblick	C86
11.2 Isomerie bei organischen Molekülen	C86
11.2.1 Strukturisomerie – 11.2.2 Stereoisomerie	
11.3 Kohlenwasserstoffe	C87
11.3.1 Aliphatische Kohlenwasserstoffe – 11.3.2 Alicyclische Kohlenwasserstoffe – 11.3.3 Aromatische Kohlenwasserstoffe	
11.4 Verbindungen mit funktionellen Gruppen	C94
11.4.1 Halogenderivate der aliphatischen Kohlenwasserstoffe – 11.4.2 Alkohole – 11.4.3 Aldehyde – 11.4.4 Ketone – 11.4.5 Carbonsäuren und ihre Derivate – 11.4.6 Aminocarbonsäuren (Aminosäuren)	
12 Synthetische und natürliche Makromoleküle	C101
12.1 Synthetische Polymere	C101
12.1.1 Verknüpfung von Monomeren – 12.1.2 Mittelwerte der Molmassen – 12.1.3 Synthese von Polymeren	
12.2 Gestalt synthetischer Makromoleküle	C105
12.2.1 Knäuelmoleküle – 12.2.2 Charakterisierung der Gestalt	
12.3 Konfiguration	C106
12.4 Kristallisation von Polymeren	C106
12.5 Biopolymere (natürliche Makromoleküle)	C107
12.5.1 Polypeptide und Proteine – 12.5.2 Polynucleotide – 12.5.3 Polysaccharide	
Formelzeichen der Chemie	C111
Literatur	C111



Werkstoffe

H. Czichos, B. Skrotzki, F.-G. Simon

1 Übersicht	D1
1.1 Der Materialkreislauf	D1
1.2 Werkstoffe in Kultur, Wirtschaft, Technik und Umwelt	D2
1.3 Gliederung des Werkstoffgebietes	D5
2 Aufbau der Werkstoffe	D5
2.1 Aufbauprinzipien von Festkörpern	D6
2.2 Mikrostruktur	D8
2.3 Werkstoffoberflächen	D9
2.4 Werkstoffgruppen	D9
2.5 Mischkristalle und Phasengemische	D11
2.6 Gleichgewichte	D12
2.7 Zustandsdiagramme	D13
2.8 Diffusionsprozesse	D15
2.9 Keimbildung von Phasenumwandlungen	D17
2.10 Metastabile Zustände	D18
2.11 Erholung und Rekristallisation	D18
2.12 Ausscheidungs- und Umwandlungsprozesse	D19

3	Metallische Werkstoffe	D20
3.1	Herstellung metallischer Werkstoffe	D20
3.2	Einteilung der Metalle	D20
3.3	Eisenwerkstoffe	D21
	3.3.1 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm – 3.3.2 Wärmebehandlung – 3.3.3 Stahl – 3.3.4 Gusseisen	
3.4	Nichteisenmetalle und ihre Legierungen	D27
	3.4.1 Aluminium – 3.4.2 Magnesium – 3.4.3 Titan – 3.4.4 Kupfer – 3.4.5 Nickel – 3.4.6 Zinn – 3.4.7 Zink – 3.4.8 Blei	
4	Anorganisch-nichtmetallische Werkstoffe	D31
4.1	Mineralische Naturstoffe	D31
4.2	Kohlenstoff	D32
4.3	Keramische Werkstoffe	D33
	4.3.1 Herstellung keramischer Werkstoffe – 4.3.2 Silikatkeramik – 4.3.3 Oxidkeramik – 4.3.4 Nichtoxidkeramik	
4.4	Glas	D36
4.5	Glaskeramik	D37
4.6	Baustoffe	D37
	4.6.1 Bindemittel – 4.6.2 Zement – 4.6.3 Beton	
4.7	Erdstoffe	D39
5	Organische Stoffe; Polymerwerkstoffe	D40
5.1	Organische Naturstoffe	D40
	5.1.1 Holz und Holzwerkstoffe – 5.1.2 Fasern	
5.2	Papier und Pappe	D41
5.3	Polymerwerkstoffe: Herstellung	D42
5.4	Polymerwerkstoffe: Aufbau und Eigenschaften	D42
5.5	Thermoplaste	D43
5.6	Duroplaste	D45
5.7	Elastomere	D45
6	Verbundwerkstoffe	D47
6.1	Teilchenverbundwerkstoffe	D47
6.2	Faserverbundwerkstoffe	D47
6.3	Stahlbeton und Spannbeton	D48
6.4	Schichtverbundwerkstoffe	D49
6.5	Oberflächenbeschichtungen und Oberflächentechnologien	D49
7	Ressourcennutzung und Umweltauswirkungen	D51
7.1	Materialflüsse in der Wirtschaft	D51
7.2	Recycling	D53
8	Beanspruchung von Werkstoffen	D54
8.1	Volumenbeanspruchungen	D54
8.2	Oberflächenbeanspruchungen	D54
8.3	Zeitlicher Verlauf von Beanspruchungen	D55
8.4	Umweltbeanspruchung und Umweltsimulation	D55
9	Werkstoffeigenschaften und Werkstoffkennwerte	D58
9.1	Dichte	D58
9.2	Mechanische Eigenschaften	D58
	9.2.1 Elastizität – 9.2.2 Viskoelastizität – 9.2.3 Festigkeit und Verformung – 9.2.4 Kriechen und Zeitstandverhalten – 9.2.5 Ermüdung und Wechselfestigkeit – 9.2.6 Bruchmechanik – 9.2.7 Betriebsfestigkeit – 9.2.8 Härte	

9.3	Thermische Eigenschaften	D70
9.3.1	Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit – 9.3.2 Thermische Ausdehnung –	
9.3.3	Schmelztemperatur	
9.4	Sicherheitstechnische Kenngrößen	D74
9.4.1	Sicherheitsbeiwerte von Konstruktionswerkstoffen	
9.5	Elektrische Eigenschaften	D75
9.6	Magnetische Eigenschaften	D76
9.7	Optische Eigenschaften	D77
10	Materialverhalten: Schadenskunde	D78
10.1	Übersicht	D78
10.2	Alterung	D78
10.3	Bruch	D80
10.3.1	Gewaltbruch – 10.3.2 Schwingbruch – 10.3.3 Warmbruch	
10.4	Korrosion	D82
10.4.1	Korrosionsarten – 10.4.2 Korrosionsmechanismen – 10.4.3 Korrosionsschutz	
10.5	Biologische Materialschädigung	D83
10.5.1	Materialschädigungsarten – 10.5.2 Materialschädlinge und Schadformen –	
10.5.3	Materialschutz gegen Organismen	
10.6	Tribologie	D85
10.6.1	Reibung – 10.6.2 Verschleiß – 10.6.3 Verschleißmechanismen –	
10.6.4	Verschleißschutz	
10.7	Methodik der Schadensanalyse	D89
11	Materialprüfung	D89
11.1	Planung von Messungen und Prüfungen	D90
11.2	Chemische Analyse von Werkstoffen	D90
11.2.1	Analyse anorganischer Stoffe – 11.2.2 Analyse organischer Stoffe –	
11.2.3	Oberflächenanalytik	
11.3	Mikrostruktur-Untersuchungsverfahren	D92
11.3.1	Gefügeuntersuchungen – 11.3.2 Oberflächenrauheitsmesstechnik	
11.4	Experimentelle Beanspruchungsanalyse	D94
11.5	Werkstoffmechanische Prüfverfahren	D94
11.5.1	Festigkeits- und Verformungsprüfungen – 11.5.2 Bruchmechanische Prüfungen –	
11.5.3	Härteprüfungen – 11.5.4 Technologische Prüfungen	
11.6	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	D98
11.6.1	Akustische Verfahren: Ultraschallprüfung, Schallemissionsanalyse –	
11.6.2	Elektrische und magnetische Verfahren – 11.6.3 Radiografie und	
11.6.3	Computertomografie	
11.7	Komplexe Prüfverfahren	D100
11.7.1	Bewitterungsprüfungen – 11.7.2 Korrosionsprüfungen – 11.7.3 Tribologische	
11.7.4	Prüfungen – 11.7.4 Biologische Prüfungen	
11.8	Bescheinigungen über Materialprüfungen	D103
11.9	Anforderungen an die Kompetenz von Prüflaboratorien	D103
12	Materialauswahl für technische Anwendungen	D104
12.1	Strukturmaterialien	D104
12.2	Funktionsmaterialien	D104
12.3	Festigkeitsbezogene Auswahlkriterien	D105
12.4	Systemmethodik zur Materialauswahl	D105
13	Referenzmaterialien und Referenzverfahren	D107
	Literatur	D108



Technische Mechanik

J. Wittenburg, H.A. Richard, J. Zierep, K. Bühler

Mechanik fester Körper

J. Wittenburg, H.A. Richard

1	Kinematik	E1
1.1	Kinematik des Punktes	E1
	1.1.1 Lage, Lagekoordinaten – 1.1.2 Geschwindigkeit, Beschleunigung	
1.2	Kinematik des starren Körpers	E2
	1.2.1 Winkellage, Koordinatentransformation – 1.2.2 Winkelgeschwindigkeit –	
	1.2.3 Winkelbeschleunigung	
1.3	Kinematik des Punktes mit Relativbewegung	E9
1.4	Freiheitsgrade der Bewegung, Kinematische Bindungen	E10
1.5	Virtuelle Verschiebungen	E10
1.6	Kinematik offener Gliederketten	E11
2	Statik starrer Körper	E13
2.1	Grundlagen	E13
	2.1.1 Kraft, Moment – 2.1.2 Äquivalenz von Kräftesystemen – 2.1.3 Zerlegung	
	von Kräften – 2.1.4 Resultierende von Kräften mit gemeinsamem Angriffspunkt –	
	2.1.5 Reduktion von Kräftesystemen – 2.1.6 Ebene Kräftesysteme – 2.1.7 Schwerpunkt,	
	Massenmittelpunkt – 2.1.8 Das 3. Newton'sche Axiom „ <i>actio = reactio</i> “ – 2.1.9 Innere	
	Kräfte und äußere Kräfte – 2.1.10 Eingeprägte Kräfte und Zwangskräfte –	
	2.1.11 Gleichgewichtsbedingungen für einen starren Körper – 2.1.12 Schnittprinzip –	
	2.1.13 Arbeit, Leistung – 2.1.14 Potenzialkraft, Potenzielle Energie – 2.1.15 Virtuelle	
	Arbeit, Generalisierte Kräfte – 2.1.16 Prinzip der virtuellen Arbeit	
2.2	Lager, Gelenke	E23
	2.2.1 Lagerreaktionen, Lagerwertigkeit – 2.2.2 Statisch bestimmte Lagerung –	
	2.2.3 Berechnung von Lagerreaktionen	
2.3	Fachwerke	E26
	2.3.1 Statische Bestimmtheit – 2.3.2 Nullstäbe – 2.3.3 Knotenschnittverfahren –	
	2.3.4 Ritter'sches Schnittverfahren für ebene Fachwerke – 2.3.5 Prinzip der virtuellen	
	Arbeit – 2.3.6 Methode der Stabvertauschung	
2.4	Ebene Seil- und Kettenlinien	E27
	2.4.1 Gewichtsloses Seil mit Einzelgewichten – 2.4.2 Schwere Gliederkette –	
	2.4.3 Schweres Seil – 2.4.4 Schweres Seil mit Einzelgewicht – 2.4.5 Rotierendes Seil	
2.5	Coulomb'sche Reibungskräfte	E30
	2.5.1 Ruhereibungskräfte – 2.5.2 Gleitreibungskräfte	
2.6	Stabilität von Gleichgewichtslagen	E33
3	Kinetik starrer Körper	E33
3.1	Grundlagen	E33
	3.1.1 Inertialsystem und absolute Beschleunigung – 3.1.2 Impuls – 3.1.3 Newton'sche	
	Axiome – 3.1.4 Impulssatz, Impulserhaltungssatz – 3.1.5 Kinetik der Punktmasse im	
	beschleunigten Bezugssystem – 3.1.6 Trägheitsmomente, Trägheitstensor – 3.1.7 Drall –	
	3.1.8 Drallsatz (Axiom von Euler) – 3.1.9 Drallerhaltungssatz – 3.1.10 Kinetische	
	Energie – 3.1.11 Energieerhaltungssatz – 3.1.12 Arbeitssatz	
3.2	Kreiselmechanik	E40
	3.2.1 Reguläre Präzession – 3.2.2 Nutation – 3.2.3 Linearisierte Kreiselgleichungen –	
	3.2.4 Präzessionsgleichungen	
3.3	Bewegungsgleichungen für holonome Mehrkörpersysteme	E43
	3.3.1 Synthetische Methode – 3.3.2 Lagrange'sche Gleichung – 3.3.3 D'Alembert'sches	
	Prinzip	

3.4	Stöße	E45
	3.4.1 Vereinfachende Annahmen über Stoßvorgänge – 3.4.2 Stöße an Mehrkörpersystemen – 3.4.3 Der schiefe exzentrische Stoß – 3.4.4 Gerader zentraler Stoß – 3.4.5 Gerader Stoß gegen ein Pendel	
3.5	Körper mit veränderlicher Masse	E48
3.6	Gravitation. Satellitenbahnen	E49
3.7	Stabilität	E51
4	Schwingungen	E51
4.1	Lineare Eigenschwingungen	E52
	4.1.1 Systeme mit einem Freiheitsgrad – 4.1.2 Eigenschwingungen bei endlich vielen Freiheitsgraden	
4.2	Erzwungene lineare Schwingungen	E54
	4.2.1 Systeme mit einem Freiheitsgrad – 4.2.2 Erzwungene Schwingungen bei endlich vielen Freiheitsgraden	
4.3	Lineare parametererregte Schwingungen	E59
4.4	Freie Schwingungen eindimensionaler Kontinua	E60
	4.4.1 Saite, Zugstab, Torsionsstab – 4.4.2 Biegeschwingungen von Stäben	
4.5	Näherungsverfahren zur Bestimmung von Eigenkreisfrequenzen	E63
	4.5.1 Rayleigh-Quotient – 4.5.2 Ritz-Verfahren	
4.6	Autonome nichtlineare Schwingungen mit einem Freiheitsgrad	E66
	4.6.1 Methode der kleinen Schwingungen – 4.6.2 Harmonische Balance – 4.6.3 Störungsrechnung nach Lindstedt – 4.6.4 Methode der multiplen Skalen	
4.7	Erzwungene nichtlineare Schwingungen	E69
	4.7.1 Harmonische Balance – 4.7.2 Methode der multiplen Skalen – 4.7.3 Subharmonische, superharmonische und Kombinationsresonanzen	
5	Festigkeitslehre. Elastizitätstheorie	E71
5.1	Kinematik des deformierbaren Körpers	E71
	5.1.1 Verschiebungen, Verzerrungen, Verzerrungstensor – 5.1.2 Kompatibilitätsbedingungen – 5.1.3 Koordinatentransformation – 5.1.4 Hauptdehnungen, Dehnungshauptachsen – 5.1.5 Mohr'scher Dehnungskreis	
5.2	Spannungen	E73
	5.2.1 Normal- und Schubspannungen, Spannungstensor – 5.2.2 Koordinatentransformation – 5.2.3 Hauptnormalspannungen, Spannungshauptachsen – 5.2.4 Hauptschubspannungen – 5.2.5 Kugeltensor, Spannungsdeviator – 5.2.6 Ebener Spannungszustand, Mohr'scher Spannungskreis – 5.2.7 Volumenkraft, Gleichgewichtsbedingungen	
5.3	Hooke'sches Gesetz	E75
5.4	Geometrische Größen für Stab- und Balkenquerschnitte	E76
	5.4.1 Flächenmomente 2. Grades – 5.4.2 Statische Flächenmomente – 5.4.3 Querschubzahlen – 5.4.4 Schubmittelpunkt oder Querkraftmittelpunkt – 5.4.5 Torsionsflächenmoment – 5.4.6 Wölbwiderstand	
5.5	Schnittgrößen in Stäben und Balken	E84
	5.5.1 Definition der Schnittgrößen für gerade Stäbe – 5.5.2 Berechnung von Schnittgrößen für gerade Stäbe	
5.6	Spannungen in Stäben und Balken	E87
	5.6.1 Zug und Druck – 5.6.2 Gerade Biegung – 5.6.3 Schiefe Biegung – 5.6.4 Druck und Biegung, Kern eines Querschnitts – 5.6.5 Biegung von Stäben aus Verbundwerkstoff – 5.6.6 Biegung vorgekrümmter Stäbe – 5.6.7 Reiner Schub – 5.6.8 Torsion ohne Wölbbehinderung (Saint-Venant-Torsion) – 5.6.9 Torsion mit Wölbbehinderung	
5.7	Verformungen von Stäben und Balken	E92
	5.7.1 Zug und Druck – 5.7.2 Gerade Biegung – 5.7.3 Schiefe Biegung – 5.7.4 Stab auf elastischer Bettung (Winkler-Bettung) – 5.7.5 Biegung von Stäben aus Verbundwerkstoff – 5.7.6 Querkraftbiegung – 5.7.7 Torsion ohne Wölbbehinderung (Saint-Venant-Torsion) – 5.7.8 Torsion mit Wölbbehinderung	
5.8	Energiemethoden der Elastostatik	E100
	5.8.1 Formänderungsenergie, Äußere Arbeit – 5.8.2 Prinzip der virtuellen Arbeit – 5.8.3 Arbeitsgleichung oder Verfahren mit einer Hilfskraft – 5.8.4 Sätze von Castigliano – 5.8.5 Steifigkeitsmatrix, Nachgiebigkeitsmatrix, Satz von Maxwell	

und Betti – 5.8.6 Statisch unbestimmte Systeme. Kraftgrößenverfahren – 5.8.7 Satz von Menabrea – 5.8.8 Verfahren von Ritz für Durchbiegungen

5.9 Rotierende Stäbe und Ringe E107

5.10 Flächentragwerke E108
5.10.1 Scheiben – 5.10.2 Platten – 5.10.3 Schalen

5.11 Dreidimensionale Probleme E113
5.11.1 Einzelkraft auf Halbraumoberfläche (Boussinesq-Problem) – 5.11.2 Einzelkraft im Vollraum (Kelvin-Problem) – 5.11.3 Druckbehälter, Kesselformeln – 5.11.4 Kontaktprobleme, Hertz'sche Formeln – 5.11.5 Kerbspannungen

5.12 Stabilitätsprobleme E116
5.12.1 Knicken von Stäben – 5.12.2 Biegedrillknicken – 5.12.3 Kippen – 5.12.4 Plattenbeulung – 5.12.5 Schalenbeulung

5.13 Finite Elemente E121
5.13.1 Elementmatrizen, Formfunktionen – 5.13.2 Matrizen für das Gesamtsystem – 5.13.3 Aufgabenstellungen bei Finite-Elemente-Rechnungen

5.14 Übertragungsmatrizen E126
5.14.1 Übertragungsmatrizen für Stabsysteme – 5.14.2 Übertragungsmatrizen für rotierende Scheiben – 5.14.3 Ergänzende Bemerkungen

5.15 Festigkeitshypothesen E131

5.16 Kerbspannungen, Kerbwirkung E132
5.16.1 Spannungsverteilungen an Kerben – 5.16.2 Elastizitätstheoretische Lösungen grundlegender Kerbprobleme – 5.16.3 Kerbfaktoren – 5.16.4 Kerbwirkung

6 Plastizitätstheorie, Bruchmechanik E137

6.1 Grundlagen der Plastizitätstheorie E137
6.1.1 Fließkriterien – 6.1.2 Fließregeln – 6.1.3 Gleitlinien

6.2 Elementare Theorie technischer Umformprozesse E138
6.2.1 Schrankensatz für Umformleistung – 6.2.2 Streifen-, Scheiben- und Röhrenmodell

6.3 Traglast E140
6.3.1 Fließgelenke, Fließschnittgrößen – 6.3.2 Traglastsätze – 6.3.3 Traglasten für Durchlaufträger – 6.3.4 Traglasten für Rahmen

6.4 Grundlagen der Bruchmechanik E142
6.4.1 Spannungsverteilungen an Rissen, Spannungsintensitätsfaktoren – 6.4.2 Bruchmechanische Bewertung der Bruchgefahr – 6.4.3 Ermüdungsrissausbreitung

6.5 Zusammenwirken von Festigkeitsberechnung und Bruchmechanik . . . E146

Strömungsmechanik

J. Zierep, K. Bühler

7 Einführung in die Strömungsmechanik E146

7.1 Eigenschaften von Fluiden E146

7.2 Newton'sche und nichtnewton'sche Medien E148

7.3 Hydrostatik und Aerostatik E148

7.4 Gliederung der Darstellung: Nach Viskositäts- und Kompressibilitätseinflüssen E149

8 Hydrodynamik: Inkompressible Strömungen mit und ohne Viskositätseinfluss E149

8.1 Eindimensionale reibungsfreie Strömungen E149
8.1.1 Grundbegriffe – 8.1.2 Grundgleichungen der Stromfadentheorie – 8.1.3 Anwendungsbeispiele

8.2 Zweidimensionale reibungsfreie, inkompressible Strömungen E154
8.2.1 Kontinuität – 8.2.2 Euler'sche Bewegungsgleichungen – 8.2.3 Stationäre ebene Potenzialströmungen – 8.2.4 Anwendungen elementarer und zusammengesetzter Potenzialströmungen – 8.2.5 Stationäre räumliche Potenzialströmungen

8.3	Reibungsbehaftete inkompressible Strömungen	E160
	8.3.1 Grundgleichungen für Masse, Impuls und Energie – 8.3.2 Kennzahlen – 8.3.3 Lösungseigenschaften der Navier-Stokes'schen Gleichungen – 8.3.4 Spezielle Lösungen für laminare Strömungen – 8.3.5 Turbulente Strömungen – 8.3.6 Grenzschichttheorie – 8.3.7 Impulssatz – 8.3.8 Anwendungsbeispiele	
8.4	Druckverlust und Strömungswiderstand	E170
	8.4.1 Durchströmungsprobleme – 8.4.2 Umströmungsprobleme	
8.5	Strömungen in rotierenden Systemen	E182
9	Gasdynamik	E183
9.1	Erhaltungssätze für Masse, Impuls und Energie	E183
9.2	Allgemeine Stoßgleichungen	E184
	9.2.1 Rankine-Hugoniot-Relation – 9.2.2 Rayleigh-Gerade – 9.2.3 Schallgeschwindigkeit – 9.2.4 Senkrechter Stoß – 9.2.5 Schiefer Stoß – 9.2.6 Busemann-Polare – 9.2.7 Herzkurve	
9.3	Kräfte auf umströmte Körper	E190
9.4	Stromfadentheorie	E191
	9.4.1 Lavaldüse	
9.5	Zweidimensionale Strömungen	E194
	9.5.1 Kleine Störungen, $M_\infty \leq 1$ – 9.5.2 Transformation auf Charakteristiken – 9.5.3 Prandtl-Meyer-Expansion – 9.5.4 Düsenströmungen – 9.5.5 Profilmströmungen – 9.5.6 Transsonische Strömungen	
10	Gleichzeitiger Viskositäts- und Kompressibilitätseinfluss	E204
10.1	Eindimensionale Rohrströmung mit Reibung	E204
10.2	Kugelumströmung, Naumann-Diagramm für c_W	E206
10.3	Grundsätzliches über die laminare Plattengrenzschicht	E206
10.4	(M, Re) -Ähnlichkeit in der Gasdynamik	E208
10.5	Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte aktueller Tragflügel	E209
	Formelzeichen der Mechanik	E211
	Formelzeichen der Strömungsmechanik	E215
	Literatur	E216



Technische Thermodynamik

J. Ahrendts, C. Kabelac

1	Grundlagen	F1
1.1	Energie und Energieformen	F1
	1.1.1 Erster Hauptsatz der Thermodynamik – 1.1.2 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	
1.2	Fundamentalgleichungen	F4
	1.2.1 Innere Energie – 1.2.2 Spezifische, molare und partielle molare Größen – 1.2.3 Legendre-Transformierte der inneren Energie	
1.3	Gleichgewichte	F7
	1.3.1 Extremalbedingungen – 1.3.2 Notwendige Gleichgewichtsbedingungen – 1.3.3 Stabilitätsbedingungen und Phasenzzerfall	
1.4	Messung der thermodynamischen Temperatur	F11
1.5	Bilanzgleichungen der Thermodynamik	F13
	1.5.1 Stoffmengen- und Massenbilanzen – 1.5.2 Energiebilanzen – 1.5.3 Entropiebilanzen, Bernoullische Gleichung	
1.6	Energieumwandlung	F18
	1.6.1 Beispiele stationärer Energiewandler, Kreisprozesse – 1.6.2 Wertigkeit von Energieformen	
2	Stoffmodelle	F22
2.1	Reine Stoffe	F22

2.1.1	Ideale Gase – 2.1.2 Inkompressible Fluide – 2.1.3 Reale Fluide – 2.1.4 Fundamentalgleichungen	
2.2	Gemische	F33
2.2.1	Ideale Gasgemische – 2.2.2 Gas-Dampf-Gemische. Feuchte Luft – 2.2.3 Reale Gemische	
3	Phasen- und Reaktionsgleichgewichte	F45
3.1	Phasengleichgewichte reiner Stoffe	F45
3.1.1	p , v , T -Fläche – 3.1.2 Koexistenzkurven – 3.1.3 Sättigungsgrößen des Nassdampfgebietes – 3.1.4 Eigenschaften von nassem Dampf – 3.1.5 T , s - und h , s -Diagramm	
3.2	Phasengleichgewichte fluider Mehrstoffsysteme	F50
3.2.1	Phasendiagramme – 3.2.2 Differenzialgleichungen der Phasengrenzkurven – 3.2.3 Punktweise Berechnung von Phasengleichgewichten	
3.3	Gleichgewichte reagierender Gemische	F58
3.3.1	Thermochemische Daten – 3.3.2 Gleichgewichtsalgorithmus – 3.3.3 Empfindlichkeit gegenüber Parameteränderungen	
4	Energie- und Stofftransport in Temperatur- und Konzentrationsfeldern	F64
4.1	Konstitutive Gleichungen	F64
4.1.1	Fourier'sches Gesetz – 4.1.2 Maxwell-Stefan'sche Gleichungen und Fick'sches Gesetz	
4.2	Bilanzgleichungen der Thermofluiddynamik	F73
4.2.1	Stoffbilanzen – 4.2.2 Impuls- und mechanische Energiebilanz – 4.2.3 Energiebilanz – 4.2.4 Entropiebilanz und konstitutive Gleichungen	
4.3	Feldgleichungen der intensiven Zustandsgrößen	F76
4.3.1	Kennzahlen bei erzwungener Konvektion – 4.3.2 Kennzahlen bei natürlicher Konvektion	
4.4	Turbulente Strömungen	F80
4.4.1	Reynolds'sche Gleichungen – 4.4.2 Wandgesetze – 4.4.3 Turbulenzmodelle	
4.5	Grenzschichten	F84
4.5.1	Grenzschichtgleichungen bei erzwungener Konvektion – 4.5.2 Grenzschichtgleichungen bei natürlicher Konvektion	
4.6	Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten	F88
	Literatur	F91



Elektrotechnik

H. Clausert, K. Hoffmann, W. Mathis, G. Wiesemann, H. Zürneck

Netzwerke

G. Wiesemann

1	Elektrische Stromkreise	G1
1.1	Elektrische Ladung und elektrischer Strom	G1
1.1.1	Elementarladung – 1.1.2 Elektrischer Strom – 1.1.3 1. Kirchhoff'scher Satz (Satz von der Erhaltung der Ladungen; Strom-Knotengleichung)	
1.2	Energie und elektrische Spannung; Leistung	G2
1.2.1	Definition der Spannung – 1.2.2 Energieaufnahme eines elektrischen Zweipols – 1.2.3 Elektrisches Potenzial – 1.2.4 Spannungsquellen – 1.2.5 2. Kirchhoff'scher Satz (Satz von der Erhaltung der Energie; Spannungs-Maschengleichung)	
1.3	Elektrischer Widerstand	G4
1.3.1	Ohm'sches Gesetz – 1.3.2 Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit – 1.3.3 Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	
2	Wechselstrom	G7
2.1	Beschreibung von Wechselströmen und -spannungen	G7

2.2	Mittelwerte periodischer Funktionen	G8
2.3	Wechselstrom in Widerstand, Spule und Kondensator	G8
2.4	Zeigerdiagramm	G9
2.5	Impedanz und Admittanz	G10
2.6	Kirchhoff'sche Sätze für die komplexen Effektivwerte	G10
3	Lineare Netze	G10
3.1	Widerstandsnetze	G10
	3.1.1 Gruppenschaltungen – 3.1.2 Brückenschaltungen – 3.1.3 Stern-Dreieck- Umwandlung	
3.2	Strom- und Spannungsberechnung in linearen Netzen	G13
	3.2.1 Der Überlagerungssatz (Superpositionsprinzip) – 3.2.2 Ersatz-Zweipolquellen – 3.2.3 Maschen- und Knotenanalyse	
3.3	Vierpole	G19
	3.3.1 Vierpolgleichungen in der Leitwertform – 3.3.2 Vierpolgleichungen in der Widerstandsform – 3.3.3 Vierpolgleichungen in der Kettenform	
4	Schwingkreise	G20
4.1	Phasen- und Betragsresonanz	G20
4.2	Einfache Schwingkreise	G20
	4.2.1 Reihenschwingkreis – 4.2.2 Parallelschwingkreis – 4.2.3 Spannungsüberhöhung am Reihenschwingkreis – 4.2.4 Bandbreite	
4.3	Parallelschwingkreis mit Wicklungsverlusten	G22
4.4	Reaktanzzweipole	G22
	4.4.1 Verlustloser Reihen- und Parallelschwingkreis – 4.4.2 Kombinationen verlustloser Schwingkreise	
5	Leistung in linearen Schaltungen	G24
5.1	Leistung in Gleichstromkreisen	G24
	5.1.1 Wirkungsgrad – 5.1.2 Leistungsanpassung – 5.1.3 Belastbarkeit von Leitungen	
5.2	Leistung in Wechselstromkreisen	G25
	5.2.1 Wirk-, Blind- und Scheinleistung – 5.2.2 Wirkleistungsanpassung	
6	Der Transformator	G27
6.1	Schaltzeichen	G27
6.2	Der eisenfreie Transformator	G27
	6.2.1 Transformator-Gleichungen – 6.2.2 Verlustloser Transformator – 6.2.3 Verlust- und streuungsfreier Transformator – 6.2.4 Idealer Transformator – 6.2.5 Streufaktor und Kopplungsfaktor – 6.2.6 Vierpolersatzschaltungen – 6.2.7 Zweipolersatzschaltung	
6.3	Transformator mit Eisenkern	G29
7	Drehstrom	G29
7.1	Spannungen symmetrischer Drehstromgeneratoren	G29
7.2	Die Spannung zwischen Generator- und Verbrauchersternpunkt	G31
7.3	Symmetrische Drehstromsysteme (symmetrische Belastung symmetrischer Drehstromgeneratoren)	G31
7.4	Asymmetrische Belastung eines symmetrischen Generators	G32
	7.4.1 Verbraucher-Sternschaltung – 7.4.2 Verbraucher-Dreieckschaltung	
7.5	Wirkleistungsmessung im Drehstromsystem (Zwei-Leistungsmesser-Methode, Aronschaltung)	G33
8	Nichtlineare Schaltungen	G33
8.1	Linearität	G33
8.2	Nichtlineare Kennlinien	G34
	8.2.1 Beispiele nichtlinearer Strom-Spannungs-Kennlinien von Zweipolen – 8.2.2 Verstärkungskennlinie des Operationsverstärkers	
8.3	Graphische Lösung durch Schnitt zweier Kennlinien	G35

8.3.1	Arbeitsgerade und Verbraucherkennlinie – 8.3.2 Stabile und instabile Arbeitspunkte einer Schaltung mit nichtlinearem Zweipol – 8.3.3 Rückkopplung von Operationsverstärkern	
8.4	Graphische Zusammenfassung von Strom-Spannungs-Kennlinien . . .	G38
8.4.1	Reihenschaltung – 8.4.2 Parallelschaltung	
8.5	Lösung durch abschnittweises Linearisieren	G39

Felder

H. Clausert

9	Leitungen	G40
9.1	Die Differenzialgleichungen der Leitung und ihre Lösungen	G40
9.2	Die charakteristischen Größen der Leitung	G41
9.3	Die Leitungsgleichungen	G41
9.4	Der Eingangswiderstand	G42
9.5	Der Reflexionsfaktor	G42
10	Elektrostatische Felder	G42
10.1	Skalare und vektorielle Feldgrößen	G42
10.2	Die elektrische Feldstärke	G42
10.3	Die elektrische Flussdichte	G43
10.4	Die Potenzialfunktion spezieller Ladungsverteilungen	G45
10.5	Influenz	G45
10.6	Die Kapazität	G45
10.7	Die Kapazität spezieller Anordnungen	G46
10.8	Energie und Kräfte	G47
10.9	Bedingungen an Grenzflächen	G48
11	Stationäre elektrische Strömungsfelder	G49
11.1	Die Grundgesetze	G49
11.2	Methoden zur Berechnung von Widerständen	G49
11.3	Bedingungen an Grenzflächen	G50
12	Stationäre Magnetfelder	G50
12.1	Die magnetische Flussdichte	G50
12.2	Die magnetische Feldstärke	G51
12.3	Der magnetische Fluss	G53
12.4	Bedingungen an Grenzflächen	G53
12.5	Magnetische Kreise	G53
13	Zeitlich veränderliche Magnetfelder	G55
13.1	Das Induktionsgesetz	G55
13.2	Die magnetische Energie	G56
13.3	Induktivitäten	G57
13.3.1	Die Selbstinduktivität – 13.3.2 Die Gegeninduktivität – 13.3.3 Berechnung von Selbst- und Gegeninduktivitäten – 13.3.4 Die gespeicherte Energie	
13.4	Kräfte im Magnetfeld	G59
14	Elektromagnetische Felder	G60
14.1	Die Maxwell'schen Gleichungen in integraler und differenzieller Form	G60
14.2	Die Einteilung der elektromagnetischen Felder	G60
14.3	Die Maxwell'schen Gleichungen bei harmonischer Zeitabhängigkeit	G61
15	Elektromagnetische Wellen	G61

15.1	Die Wellengleichung	G61
15.2	Die Anregung elektromagnetischer Wellen	G63
15.3	Die abgestrahlte Leistung	G64
15.4	Die Phase und aus dieser abgeleitete Begriffe	G64

Energietechnik

H. Zürneck

16	Prinzipien der Energieumwandlung	G66
16.0	Grundbegriffe	G66
	16.0.1 Energie, Leistung, Wirkungsgrad – 16.0.2 Energietechnische Betrachtungsweisen – 16.0.3 Definitionen	
16.1	Elektrodynamische Energieumwandlung	G67
	16.1.1 Energiedichte in magnetischen und elektrischen Feldern – 16.1.2 Energieumwandlung in elektrischen Maschinen – 16.1.3 Kommutatormaschinen – 16.1.4 Magnetisches Drehfeld – 16.1.5 Synchronmaschine – 16.1.6 Asynchronmotoren	
16.2	Elektromagnete	G73
16.3	Thermische Wirkungen des elektrischen Stromes	G74
	16.3.1 Widerstandserwärmung – 16.3.2 Bogenentladung	
16.4	Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes	G74
	16.4.1 Primärelemente – 16.4.2 Akkumulatoren	
16.5	Direkte Energieumwandlung, photovoltaischer Effekt, Solarzellen	G75
17	Übertragung elektrischer Energie	G76
17.1	Leistungsdichte, Spannungsabfall	G76
17.2	Stabilitätsprobleme	G77
17.3	Grundsätzliches zum Berührungsschutz	G77
	17.3.1 Körperströme – 17.3.2 Schutzmaßnahmen	
18	Umformung elektrischer Energie	G78
18.1	Schalten	G78
18.2	Gleichrichter, Wechselrichter, Umrichter	G80
	18.2.1 Leistungselektronik – 18.2.2 Netzgeführte Stromrichter mit natürlicher Kommutierung – 18.2.3 Selbstgeführte Stromrichter mit Zwangskommutierung oder abschaltbaren Ventilen	

Nachrichtentechnik

K. Hoffmann, W. Mathis

19	Grundbegriffe	G82
19.1	Signal, Information, Nachricht	G82
	19.1.1 Beschreibung zeitabhängiger Signale – 19.1.2 Deterministische und stochastische Signale – 19.1.3 Symbolische Darstellungsweise, Bewertung – 19.1.4 Unverschlüsselte und codierte Darstellung	
19.2	Aufbereitung, Übertragung, Verarbeitung	G83
	19.2.1 Grundprinzip der Signalübertragung – 19.2.2 Eigenschaften von Quellen und Senken – 19.2.3 Grundschemata der Kommunikation – 19.2.4 Betriebsweise der Vielfachnutzung	
19.3	Schnittstelle, Funktionsblock, System	G84
	19.3.1 Konstruktive und funktionelle Abgrenzung – 19.3.2 Mathematische Beschreibungsformen – 19.3.3 Darstellung in Funktionsblockbildern – 19.3.4 Zusammenwirken und Betriebsverhalten	
20	Signaleigenschaften	G85
20.1	Signaldynamik, Verzerrungen	G85
	20.1.1 Dämpfungsmaß und Pegelangaben – 20.1.2 Lineare und nichtlineare Verzerrungen	
20.2	Auflösung, Störungen, Störabstand	G86

20.2.1	Empfindlichkeit und Aussteuerung – 20.2.2 Störungsarten und Auswirkungen – 20.2.3 Maßnahmen zur Störverminderung	
20.3	Informationsfluss, Nachrichtengehalt	G87
20.3.1	Herleitung des Entscheidungsbaumes – 20.3.2 Darstellung mit Nachrichtenquader – 20.3.3 Grenzwerte und Mittelungszeitraum – 20.3.4 Kanalkapazität und Informationsverlust	
20.4	Relevanz, Redundanz, Fehlerkorrektur	G88
20.4.1	Erkennungssicherheit bei Mustern – 20.4.2 Störeinflüsse und Redundanz – 20.4.3 Fehlererkennung und Fehlerkorrektur	
21	Beschreibungsweisen	G89
21.1	Signalfilterung, Korrelation	G89
21.1.1	Reichweite des Filterungsbegriffes – 21.1.2 Lineare und nichtlineare Verzerrungen – 21.1.3 Redundanzverteilung in Mustern – 21.1.4 Kreuz- und Autokorrelation – 21.1.5 Änderung der Redundanzverteilung	
21.2	Analoge und digitale Signalbeschreibung	G90
21.2.1	Lineare Beschreibungsweise, Überlagerung – 21.2.2 Beschreibung nichtlinearer Zusammenhänge – 21.2.3 Parallele und serielle Bearbeitung	
22	Aufbereitungsverfahren	G91
22.1	Basisbandsignale, Signalwandler	G91
22.1.1	Dynamik der Signalquellen – 22.1.2 Direktwandler, Steuerungswandler	
22.2	Abtastung, Quantisierung, Codierung	G93
22.2.1	Zeitquantisierung, Abtasttheorem – 22.2.2 Amplitudenquantisierung – 22.2.3 Differenz- und Blockcodierung – 22.2.4 Quellen- und Kanalcodierung	
22.3	Sinusträger- und Pulsmodulation	G95
22.3.1	Modulationsprinzip und Darstellungsarten – 22.3.2 Zwei-, Ein- und Restseitenbandmodulation – 22.3.3 Frequenz- und Phasenmodulation – 22.3.4 Zeitkontinuierliche Umtastmodulation – 22.3.5 Kontinuierliche Pulsmodulation – 22.3.6 Pulscode-, Delta- und Sigma-Delta Modulation	
22.4	Raum-, Frequenz- und Zeitmultiplex	G100
22.4.1	Baum- und Matrixstruktur – 22.4.2 Durchschalt- und Speicherverfahren – 22.4.3 Zugänglichkeit und Blockierung – 22.4.4 Trägerfrequenzverfahren – 22.4.5 Geschlossene und offene Systeme – 22.4.6 Zeitschlit- und Amplitudenauswertung	
23	Signalübertragung	G103
23.1	Kanaleigenschaften, Übertragungsrate	G103
23.1.1	Eigenschaften, Verzerrungen, Entzerrung – 23.1.2 Nutzungsgrad und Kompressionssysteme	
23.2	Leitungsgebundene Übertragungswege	G104
23.2.1	Symmetrische und unsymmetrische Leitungen – 23.2.2 Hohlleiter- und Glasfaserarten – 23.2.3 Kabelnetze	
23.3	Datennetze, integrierte Dienste	G106
23.3.1	Netzgestaltung, Vermittlungsprotokoll – 23.3.2 Fernschreiben, Bildfernübertragung – 23.3.3 Verbundnetze mit Dienstintegration	
23.4	Richtfunk, Rundfunk, Sprechfunk	G107
23.4.1	Funkwege, Antennen, Wellenausbreitung – 23.4.2 Punkt-zu-Punkt-Verbindung, Systemparameter – 23.4.3 Ton- und Fernsehgrundfunk – 23.4.4 Stationärer und mobiler Sprechfunk	
24	Signalverarbeitung	G109
24.1	Detektionsverfahren, Funkmessung	G109
24.1.1	Detektionsprinzipien, Auflösungsgrenze – 24.1.2 Aussteuerung und Verzerrungen – 24.1.3 Amplituden- und Frequenzdemodulation – 24.1.4 Pulsdemodulation, Augendiagramm – 24.1.5 Funkmessprinzip und Signalauswertung	
24.2	Signalrekonstruktion, Signalspeicherung	G112
24.2.1	Systemadaption und Umsetzalgorithmen – 24.2.2 Speicherdichte, Schreib- und Leserate – 24.2.3 Flüchtige und remanente Speicherung – 24.2.4 Magnetische, elektrische und optische Speicher	

24.3	Signalverarbeitung und Signalvermittlung	G114
24.3.1	Strukturen für die Verarbeitung analoger und digitaler Signale –	
24.3.2	Signalauswertung und Parametersteuerung – 24.3.3 Rekursion, Adaption, Stabilität, Verklemmung – 24.3.4 Netzarten, Netzführung, Ausfallverhalten –	
24.3.5	Belegungsichte, Verlust und Wartezeitsysteme	

Elektronik

K. Hoffmann, W. Mathis, G. Wiesemann

25	Analoge Grundschaltungen	G117
25.1	Passive Netzwerke (RLC-Schaltungen)	G117
25.1.1	Tief- und Hochpasschaltung – 25.1.2 Differenzier- und Integrierglieder –	
25.1.3	Bandpässe, Bandsperren, Allpässe – 25.1.4 Resonanzfilter und Übertrager	
25.2	Nichtlineare Zweipole (Dioden)	G120
25.2.1	Diodenverhalten (Beschreibung) – 25.2.2 Gleichrichterschaltungen –	
25.2.3	Mischer und Demulatoren – 25.2.4 Besondere Diodenschaltungen	
25.3	Aktive Dreipole (Transistoren)	G124
25.3.1	Transistorverhalten – 25.3.2 Lineare Kleinsignalverstärker – 25.3.3 Lineare Großsignalverstärker (A- und B-Betrieb) und Sinusoszillatoren – 25.3.4 Nichtlineare Großsignalverstärker, Flip-Flop und Relaxationsoszillatoren	
25.4	Operationsverstärker	G135
25.4.1	Verstärkung – 25.4.2 Idealer und realer Operationsverstärker –	
25.4.3	Komparatoren – 25.4.4 Anwendungen des Umkehrverstärkers –	
25.4.5	Anwendungen des Elektrometerverstäkers – 25.4.6 Mitkopplungsschaltungen (Schmitt-Trigger)	
26	Digitale Grundschaltungen	G143
26.1	Gatter	G143
26.1.1	Diodengatter – 26.1.2 Der Transistor als Inverter – 26.1.3 DTL-Gatter –	
26.1.4	TTL-Gatter – 26.1.5 Schaltkreisfamilien (Übersicht) – 26.1.6 Beispiele digitaler Schaltnetze	
26.2	Ein-Bit-Speicher	G149
26.2.1	Einfache Kippschaltungen – 26.2.2 Getaktete SR-Flipflops – 26.2.3 Flipflops mit Zwischenspeicherung (Master-Slave-Flipflops, Zählflipflops)	
26.3	Schaltwerke	G153
26.3.1	Auffang- und Schieberegister – 26.3.2 Zähler	
27	Halbleiterbauelemente	G155
27.1	Grundprinzipien elektronischer Halbleiterbauelemente	G155
27.1.1	Ladungsträger in Silizium – 27.1.2 Das Bändermodell – 27.1.3 Stromleitung in Halbleitern – 27.1.4 Ausgleichsvorgänge bei der Injektion von Ladungsträgern	
27.2	Halbleiterdioden	G159
27.2.1	Aufbau und Wirkungsweise des PN-Überganges –	
27.2.2	Der PN-Übergang in Flusspolung – 27.2.3 Der PN-Übergang in Sperrpolung –	
27.2.4	Durchbruchmechanismen – 27.2.5 Kennliniengleichung des PN-Überganges –	
27.2.6	Zenerdioden – 27.2.7 Tunneldioden – 27.2.8 Kapazitätsdioden („Varaktoren“) –	
27.2.9	Leistungsleichrichterioden, PIN-Dioden – 27.2.10 Mikrowellendioden, Rückwärtsdioden	
27.3	Bipolare Transistoren	G164
27.3.1	Prinzip und Wirkungsweise – 27.3.2 Universaltransistoren. Kleinleistungstransistoren – 27.3.3 Schaltransistoren	
27.4	Halbleiterleistungsbaulemente	G167
27.4.1	Der Thyristor – 27.4.2 Der abschaltbare Thyristor – 27.4.3 Zweirichtungs-Thyristordiode (Diac) – 27.4.4 Bidirektionale Thyristordiode (Triac)	
27.5	Feldeffektbauelemente	G170
27.5.1	Sperschicht-Feldeffekt-Transistoren (Junction-FET, PN-FET, MSFET oder JFET) – 27.5.2 Feldeffekttransistoren mit isoliertem Gate (IG-FET, MISFET, MOSFET oder MNSFET)	

27.6	Optoelektronische Halbleiterbauelemente	G174
27.6.1	Innerer Fotoeffekt – 27.6.2 Der Fotowiderstand – 27.6.3 Der PN-Übergang bei Lichteinwirkung – 27.6.4 Der Fototransistor – 27.6.5 Die Lumineszenzdiode (LED)	

Literatur	G177
----------------------------	------



Messtechnik

H.-R. Tränkle, G. Fischerauer

1	Grundlagen der Messtechnik	H1
1.1	Übersicht	H1
1.1.1	Messsysteme und Messketten – 1.1.2 Anwendungsgebiete und Aufgabenstellungen der Messtechnik	
1.2	Übertragungseigenschaften von Messgliedern	H2
1.2.1	Statische Kennlinien von Messgliedern – 1.2.2 Dynamische Übertragungseigenschaften von Messgliedern – 1.2.3 Testfunktionen und Übergangsfunktionen für Übertragungsglieder – 1.2.4 Das Frequenzverhalten des Übertragungsgliedes – 1.2.5 Das Frequenzverhalten des Übertragungsgliedes 2. Ordnung – 1.2.6 Sprungantwort eines Übertragungsgliedes 2. Ordnung – 1.2.7 Frequenzgang eines Übertragungsgliedes 2. Ordnung – 1.2.8 Kenngrößen für Messglieder höherer Ordnung	
1.3	Messfehler	H9
1.3.1	Zufällige und systematische Fehler – 1.3.2 Definition von Fehlern, Fehlerkurven und Fehleranteilen – 1.3.3 Linearitätsfehler und zulässige Fehlergrenzen – 1.3.4 Einflussgrößen und Einflusseffekt – 1.3.5 Diskrete Verteilungsfunktionen zufälliger Messwerte – 1.3.6 Die Normalverteilung – 1.3.7 Gauß'sche Fehlerwahrscheinlichkeit – 1.3.8 Wahrscheinlichkeitspapier – 1.3.9 Fehlerfortpflanzung zufälliger Fehler – 1.3.10 Fehlerfortpflanzung systematischer Fehler	
2	Strukturen der Messtechnik	H15
2.1	Messsignalverarbeitung durch strukturelle Maßnahmen	H15
2.1.1	Die Kettenstruktur – 2.1.2 Die Parallelstruktur (Differenzprinzip) – 2.1.3 Die Kreisstruktur	
2.2	Das Modulationsprinzip	H18
2.3	Struktur eines digitalen Instrumentierungssystems	H19
2.3.1	Erhöhung des nutzbaren Informationsgehalts – 2.3.2 Struktur von Mikroelektroniksystemen mit dezentraler Intelligenz	
3	Messgrößenaufnehmer (Sensoren)	H21
3.1	Sensoren und deren Umfeld	H21
3.1.1	Aufgabe der Sensoren – 3.1.2 Messeffekt und Einflusseffekt – 3.1.3 Anforderungen an Sensoren – 3.1.4 Signalform der Sensorsignale	
3.2	Sensoren für geometrische und kinematische Größen	H22
3.2.1	Resistive Weg- und Winkelaufnehmer – 3.2.2 Induktive Weg- und Längenaufnehmer – 3.2.3 Kapazitive Aufnehmer für Weg und Füllstand – 3.2.4 Magnetische Aufnehmer – 3.2.5 Codierte Weg- und Winkelaufnehmer – 3.2.6 Inkrementale Aufnehmer – 3.2.7 Laser-Interferometer – 3.2.8 Drehzahlaufnehmer – 3.2.9 Beschleunigungsaufnehmer	
3.3	Sensoren für mechanische Beanspruchungen	H31
3.3.1	Dehnungsmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.2 Kraftmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.3 Druckmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.4 Drehmomentmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.5 Messung von Kräften über die Auslenkung von Federkörpern – 3.3.6 Messung von Drücken über die Auslenkung von Federkörpern – 3.3.7 Kraftmessung über Schwingsaiten – 3.3.8 Waage mit elektrodynamischer Kraftkompensation – 3.3.9 Piezoelektrische Kraft- und Druckaufnehmer	
3.4	Sensoren für strömungstechnische Kenngrößen	H36
3.4.1	Durchflussmessung nach dem Wirkdruckverfahren – 3.4.2 Schwebekörper-Durchflussmessung – 3.4.3 Durchflussmessung über magnetische Induktion – 3.4.4 Ultraschall-Durchflussmessung – 3.4.5 Turbinen-Durchflussmesser (mittelbare Volumenzähler mit Messflügeln) – 3.4.6 Verdrängungszähler (unmittelbare Volumenzähler)	

3.5	Sensoren zur Temperaturmessung	H39
	3.5.1 Platin-Widerstandsthermometer – 3.5.2 Andere Widerstandsthermometer – 3.5.3 Thermoelemente als Temperaturlaufnehmer – 3.5.4 Strahlungsthermometer (Pyrometer)	
3.6	Mikrosensorik	H44
	3.6.1 Herstellungstechnologien – 3.6.2 Mikrosensoren für mechanische Größen – 3.6.3 Mikrosensoren für Temperatur – 3.6.4 Mikrosensoren für (bio)chemische Größen – 3.6.5 Mikrosensoren für magnetische Größen	
3.7	Sensorspezifische Messsignalverarbeitung	H47
	3.7.1 Analoge Messsignalverarbeitung – 3.7.2 Inkrementale Messsignalverarbeitung – 3.7.3 Digitale Grundverknüpfungen und Grundfunktionen – 3.7.4 Physikalische Modellfunktionen für einen Sensor – 3.7.5 Skalierung und Linearisierung von Sensorkennlinien durch Interpolation – 3.7.6 Interpolation von Sensorkennlinien mit kubischen Splines – 3.7.7 Ausgleichskriterien zur Approximation von Sensorkennlinien – 3.7.8 Korrektur von Einflusseffekten auf Sensorkennlinien – 3.7.9 Dynamische Korrektur von Sensoren	
4	Messschaltungen und Messverstärker	H53
4.1	Signalumformung mit verstärkerlosen Messschaltungen	H53
	4.1.1 Strom-Spannungs-Umformung mit Messwiderstand – 4.1.2 Spannungsteiler und Stromteiler – 4.1.3 Direktanzeigende Widerstandsmessung	
4.2	Messbrücken und Kompensatoren	H56
	4.2.1 Qualitative Behandlung der Prinzipschaltungen – 4.2.2 Spannungs- und Stromkompensation – 4.2.3 Messbrücken im Ausschlagverfahren (Teilkompensation) – 4.2.4 Wheatstone-Brücke im Abgleichverfahren – 4.2.5 Wechselstrombrücken	
4.3	Grundschaltungen von Messverstärkern	H60
	4.3.1 Operationsverstärker – 4.3.2 Anwendung von Operationsverstärkern als reine Nullverstärker – 4.3.3 Das Prinzip der Gegenkopplung am Beispiel des reinen Spannungsverstärkers – 4.3.4 Die vier Grundschaltungen gegengekoppelter Messverstärker	
4.4	Ausgewählte Messverstärker-Schaltungen	H63
	4.4.1 Vom Stromverstärker mit Spannungsausgang zum Invertierer – 4.4.2 Aktive Brückenschaltung – 4.4.3 Addier- und Subtrahierverstärker – 4.4.4 Der Elektrometervverstärker (Instrumentation Amplifier) – 4.4.5 Präzisionsgleichrichtung – 4.4.6 Aktive Filter – 4.4.7 Ladungsverstärker – 4.4.8 Integrationsverstärker für Spannungen	
5	Analoge Messtechnik	H67
5.1	Analoge Messwerke	H67
	5.1.1 Prinzip des linearen Drehspulmesswerks – 5.1.2 Statische Eigenschaften des linearen Drehspulmesswerks	
5.2	Funktionsbildung und Verknüpfung mit Messwerken	H69
	5.2.1 Kernmagnetmesswerk mit radialem Sinusfeld – 5.2.2 Quotientenbestimmung mit Kreuzspulmesswerken – 5.2.3 Bildung von linearen Mittelwerten und Extremwerten – 5.2.4 Bildung von quadratischen Mittelwerten – 5.2.5 Multiplikation mit elektrodynamischen Messwerken – 5.2.6 Integralwertbestimmung mit Induktionszählern	
5.3	Prinzip und Anwendung des Elektronenstrahloszilloskops	H75
	5.3.1 Elektronenstrahlröhre. Ablenkempfindlichkeit – 5.3.2 Darstellung des zeitlichen Verlaufs periodischer Messsignale – 5.3.3 Blockschaltbild eines Oszilloskops in Standardausführung – 5.3.4 Anwendung eines Oszilloskops im x,y-Betrieb – 5.3.5 Frequenzkompensierter Eingangsteiler	
6	Digitale Messtechnik	H79
6.1	Quantisierung und digitale Signaldarstellung	H79
	6.1.1 Informationsverlust durch Quantisierung – 6.1.2 Der relative Quantisierungsfehler	
6.2	Abtasttheorem und Abtastfehler	H80
	6.2.1 Das Shannon'sche Abtasttheorem – 6.2.2 Frequenzgang bei Extrapolation nullter Ordnung – 6.2.3 Abtastfehler eines Haltekreises	
6.3	Digitale Zeit- und Frequenzmessung	H82
	6.3.1 Prinzip der digitalen Zeit- und Frequenzmessung – 6.3.2 Der Quarzoszillator – 6.3.3 Digitale Zeitmessung – 6.3.4 Digitale Frequenzmessung – 6.3.5 Auflösung und	

	Messzeit bei der Periodendauer- bzw. Frequenzmessung – 6.3.6 Reziprokwertbildung und Multiperiodendauermessung	
6.4	Analog-Digital-Umsetzung über Zeit oder Frequenz als Zwischengrößen	H86
	6.4.1 Charge-balancing-Umsetzer – 6.4.2 Dual-slope-Umsetzer – 6.4.3 Integrierende Filterung bei integrierenden Umsetzern	
6.5	Analog-Digital-Umsetzung nach dem Kompensationsprinzip	H89
	6.5.1 Prinzip – 6.5.2 Digital-Analog-Umsetzer mit bewerteten Leitwerten – 6.5.3 Digital-Analog-Umsetzer mit Widerstandskettenleiter – 6.5.4 Nachlaufumsetzer mit Zweirichtungszähler – 6.5.5 Analog-Digital-Umsetzer mit sukzessiver Approximation	
6.6	Schnelle Analog-Digital-Umsetzung und Transientenspeicherung . . .	H93
	6.6.1 Parallele Analog-Digital-Umsetzer (Flash-Converter) – 6.6.2 Transientenspeicherung	
	Literatur	H95

Regelungs- und Steuerungstechnik

H. Unbehauen, F. Ley

Regelungstechnik

H. Unbehauen

1	Einführung	I1
1.1	Einordnung der Regelungs- und Steuerungstechnik	I1
1.2	Darstellung im Blockschaltbild	I1
1.3	Unterscheidung zwischen Regelung und Steuerung	I2
1.4	Beispiele von Regel- und Steuerungssystemen	I3
2	Modelle und Systemeigenschaften	I4
2.1	Mathematische Modelle	I4
2.2	Systemeigenschaften	I5
	2.2.1 Lineare und nichtlineare Systeme – 2.2.2 Systeme mit konzentrierten und verteilten Parametern – 2.2.3 Zeitvariante und zeitinvariante Systeme – 2.2.4 Systeme mit kontinuierlicher und diskreter Arbeitsweise – 2.2.5 Systeme mit deterministischen oder stochastischen Variablen – 2.2.6 Kausale Systeme – 2.2.7 Stabile und instabile Systeme – 2.2.8 Eingrößen- und Mehrgrößensysteme	
3	Beschreibung linearer kontinuierlicher Systeme im Zeitbereich	I9
3.1	Beschreibung mittels Differenzialgleichungen	I9
	3.1.1 Elektrische Systeme – 3.1.2 Mechanische Systeme – 3.1.3 Thermische Systeme	
3.2	Beschreibung mittels spezieller Ausgangssignale	I11
	3.2.1 Die Übergangsfunktion (Normierte Sprungantwort) – 3.2.2 Die Gewichtsfunktion (Impulsantwort) – 3.2.3 Das Faltungintegral (Duhamel'sches Integral)	
3.3	Zustandsraumdarstellung	I12
	3.3.1 Zustandsraumdarstellung für Eingrößensysteme – 3.3.2 Zustandsraumdarstellung für Mehrgrößensysteme	
4	Beschreibung linearer kontinuierlicher Systeme im Frequenzbereich	I14
4.1	Die Laplace-Transformation	I14
4.2	Die Fourier-Transformation	I15
4.3	Der Begriff der Übertragungsfunktion	I16
	4.3.1 Definition – 4.3.2 Pole und Nullstellen der Übertragungsfunktion – 4.3.3 Das Rechnen mit Übertragungsfunktionen – 4.3.4 Zusammenhang zwischen $G(s)$ und der Zustandsraumdarstellung – 4.3.5 Die komplexe G -Ebene	
4.4	Die Frequenzgangdarstellung	I18
	4.4.1 Definition – 4.4.2 Ortskurvendarstellung des Frequenzganges – 4.4.3 Darstellung des Frequenzganges durch Frequenzkennlinien (Bode-Diagramm)	

4.5	Das Verhalten der wichtigsten Übertragungsglieder	120
4.5.1	Das proportional wirkende Glied (P-Glied) – 4.5.2 Das integrierende Glied (I-Glied) – 4.5.3 Das differenzierende Glied (D-Glied) – 4.5.4 Das Verzögerungsglied 1. Ordnung (PT ₁ -Glied) – 4.5.5 Das Verzögerungsglied 2. Ordnung (PT ₂ -Glied und PT ₂ S-Glied) – 4.5.6 Bandbreite eines Übertragungsgliedes – 4.5.7 Systeme mit minimalem und nichtminimalem Phasenverhalten	
5	Das Verhalten linearer kontinuierlicher Regelkreise	126
5.1	Dynamisches Verhalten des Regelkreises	126
5.2	Stationäres Verhalten des Regelkreises	127
5.3	Der PID-Regler und die aus ihm ableitbaren Reglertypen	128
6	Stabilität linearer kontinuierlicher Regelsysteme	131
6.1	Definition der Stabilität	131
6.2	Algebraische Stabilitätskriterien	132
6.2.1	Das Hurwitz-Kriterium – 6.2.2 Das Routh-Kriterium	
6.3	Das Nyquist-Verfahren	134
6.3.1	Das Nyquist-Kriterium in der Ortskurvendarstellung – 6.3.2 Das Nyquist-Kriterium in der Frequenzkennliniendarstellung – 6.3.3 Vereinfachte Formen des Nyquist-Kriteriums	
7	Das Wurzelortskurvenverfahren	137
7.1	Der Grundgedanke des Verfahrens	137
7.2	Regeln zur Konstruktion von Wurzelortskurven	138
8	Entwurfsverfahren für lineare kontinuierliche Regelsysteme	140
8.1	Problemstellung	140
8.2	Entwurf im Zeitbereich	140
8.2.1	Gütemaße im Zeitbereich – 8.2.2 Integralkriterien – 8.2.3 Quadratische Regelfläche – 8.2.4 Ermittlung optimaler Einstellwerte eines Reglers nach dem Kriterium der minimalen quadratischen Regelfläche – 8.2.5 Empirisches Vorgehen	
8.3	Entwurf im Frequenzbereich	145
8.3.1	Kenndaten des geschlossenen Regelkreises im Frequenzbereich und deren Zusammenhang mit den Gütemaßen im Zeitbereich – 8.3.2 Kenndaten des offenen Regelkreises und deren Zusammenhang mit den Gütemaßen des geschlossenen Regelkreises im Zeitbereich – 8.3.3 Reglerentwurf nach dem Frequenzkennlinien-Verfahren – 8.3.4 Korrekturglieder für Phase und Amplitude – 8.3.5 Reglerentwurf mit dem Wurzelortskurvenverfahren	
8.4	Analytische Entwurfsverfahren	150
8.4.1	Vorgabe des Verhaltens des geschlossenen Regelkreises – 8.4.2 Das Verfahren nach Truxal-Guillemín – 8.4.3 Algebraisches Entwurfsverfahren	
9	Nichtlineare Regelsysteme	155
9.1	Allgemeine Eigenschaften nichtlinearer Regelsysteme	155
9.2	Regelkreis mit Zwei- und Dreipunktreglern	155
9.3	Analyse nichtlinearer Regelsysteme mithilfe der Beschreibungsfunktion	157
9.3.1	Definition der Beschreibungsfunktion – 9.3.2 Stabilitätsuntersuchung mittels der Beschreibungsfunktion	
9.4	Analyse nichtlinearer Regelsysteme in der Phasenebene	158
9.4.1	Zustandskurven – 9.4.2 Anwendung der Methode der Phasenebene zur Untersuchung von Relaisssystemen	
9.5	Stabilitätstheorie nach Ljapunow	160
9.5.1	Der Grundgedanke der direkten Methode von Ljapunow – 9.5.2 Stabilitätssätze von Ljapunow – 9.5.3 Ermittlung geeigneter Ljapunow-Funktionen	
9.6	Das Stabilitätskriterium von Popov	161
9.6.1	Absolute Stabilität – 9.6.2 Formulierung des Popov-Kriteriums – 9.6.3 Geometrische Auswertung der Popov-Ungleichung	
10	Lineare zeitdiskrete Systeme: Digitale Regelung	163
10.1	Arbeitsweise digitaler Regelsysteme	163

10.2	Darstellung im Zeitbereich	I64
10.3	Die z-Transformation	I66
10.3.1	Definition der z-Transformation	
10.4	Darstellung im Frequenzbereich	I66
10.4.1	Die Übertragungsfunktion diskreter Systeme – 10.4.2 Die z-Übertragungsfunktion kontinuierlicher Systeme	
10.5	Stabilität diskreter Regelsysteme	I68
10.5.1	Stabilitätsbedingungen – 10.5.2 Stabilitätskriterien	
10.6	Regelalgorithmen für die digitale Regelung	I70
10.6.1	PID-Algorithmus – 10.6.2 Der Entwurf diskreter Kompensationsalgorithmen – 10.6.3 Kompensationsalgorithmus für endliche Einstellzeit	
11	Zustandsraumdarstellung linearer Regelsysteme	I73
11.1	Allgemeine Darstellung	I73
11.2	Normalformen für Eingrößensysteme	I74
11.3	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	I75
11.4	Synthese linearer Regelsysteme im Zustandsraum	I76
11.4.1	Das geschlossene Regelsystem – 11.4.2 Der Grundgedanke der Reglersynthese – 11.4.3 Die modale Regelung – 11.4.4 Das Verfahren der Polvorgabe – 11.4.5 Optimaler Zustandsregler nach dem quadratischen Gütekriterium – 11.4.6 Das Messproblem	
12	Systemidentifikation	I80
12.1	Deterministische Verfahren zur Systemidentifikation	I80
12.1.1	Wendetangenten- und Zeitprozentkennwerte-Verfahren – 12.1.2 Identifikation im Frequenzbereich – 12.1.3 Berechnung des Frequenzganges aus der Übergangsfunktion – 12.1.4 Berechnung der Übergangsfunktion aus dem Frequenzgang	
12.2	Statistische Verfahren zur Systemidentifikation	I83
12.2.1	Korrelationsanalyse – 12.2.2 Spektrale Leistungsdichte – 12.2.3 Statistische Bestimmung dynamischer Eigenschaften linearer Systeme – 12.2.4 Systemidentifikation mittels Parameterschätzverfahren	
13	Weitere Reglerentwurfverfahren	I86
13.1	Übersicht	I86
13.2	Einige weitere klassische Regelkreisstrukturen	I86
13.2.1	Vermaschte Regelkreise – 13.2.2 Smith-Prädiktor – 13.2.3 IMC-Regler	
13.3	Robuste Regler	I89
13.4	Modellbasierte prädiktive Regler	I89
13.5	GMV-Regler	I90
13.6	Adaptive Regler	I91
13.7	Nichtlineare Regler	I91
13.8	„Intelligente“ Regler	I92

Steuerungstechnik

F. Ley

14	Binäre Steuerungstechnik	I93
14.1	Grundstruktur binärer Steuerungen	I93
14.1.1	Signalflussplan – 14.1.2 Klassifizierung binärer Steuerungen	
14.2	Grundlagen der kombinatorischen und der sequentiellen Schaltungen	I95
14.2.1	Kombinatorische Schaltungen – 14.2.2 Synthese und Analyse sequentieller Schaltungen	
14.3	Darstellung von Zuständen durch Zustandsgraphen und Petri-Netze	I97
14.4	Technische Realisierung von verbindungsprogrammierten Steuerungseinrichtungen	I100
14.4.1	Relaisstechnik – 14.4.2 Diskrete Bausteinsysteme (DTL- und TTL-Logikfamilien)	

14.5 Speicherprogrammierbare Steuerungen	I100
14.5.1 Sprachen für Steuerungen nach der Norm IEC61131-3 – 14.5.2 SPS und Prozessrechner – 14.5.3 Prozesssignale von Speicherprogrammierbaren Steuerungen	
Formelzeichen der Regelungs- und Steuerungstechnik	I116
Literatur	I117



Technische Informatik

H. Liebig, Th. Flik, P. Rechenberg, H. Mössenböck

Mathematische Modelle

H. Liebig, P. Rechenberg

1 Boole'sche Algebra	J3
1.1 Logische Verknüpfungen und Rechenregeln	J3
1.1.1 Grundverknüpfungen – 1.1.2 Ausdrücke – 1.1.3 Axiome – 1.1.4 Sätze	
1.2 Boole'sche Funktionen	J5
1.2.1 Von der Mengen- zur Vektordarstellung – 1.2.2 Darstellungsmittel	
1.3 Normal- und Minimalformen	J7
1.3.1 Kanonische Formen Boole'scher Funktionen – 1.3.2 Minimierung von Funktionsgleichungen	
1.4 Boole'sche Algebra und Logik	J9
1.4.1 Begriffe – 1.4.2 Logisches Schließen und mathematisches Beweisen in der Aussagenlogik – 1.4.3 Beispiel für einen aussagenlogischen Beweis – 1.4.4 Entscheidbarkeit und Vollständigkeit	
2 Automaten	J11
2.1 Endliche Automaten	J12
2.1.1 Automaten mit Ausgabe – 2.1.2 Funktionsweise	
2.2 Hardwareorientierte Automatenmodelle	J12
2.2.1 Von der Mengen- zur Vektordarstellung – 2.2.2 Darstellungsmittel – 2.2.3 Netzdarstellungen	
2.3 Softwareorientierte Automatenmodelle	J17
2.3.1 Erkennende Automaten und formale Sprachen – 2.3.2 Erkennende endliche Automaten – 2.3.3 Turingmaschinen – 2.3.4 Grenzen der Modellierbarkeit	

Digitale Systeme

H. Liebig

3 Schaltnetze	J21
3.1 Signaldurchschaltung und -verknüpfung	J22
3.1.1 Schalter und Schalterkombinationen – 3.1.2 Durchschaltglieder – 3.1.3 Verknüpfungsglieder	
3.2 Schaltungen für Volladdierer	J26
3.2.1 Volladdierer mit Durchschaltgliedern – 3.2.2 Volladdierer mit Verknüpfungsgliedern	
3.3 Schaltnetze zur Datenverarbeitung und zum Datentransport	J28
3.3.1 Arithmetisch-logische Einheiten – 3.3.2 Multiplexer – 3.3.3 Shifter – 3.3.4 Busse	
3.4 Schaltnetze zur Datencodierung/-decodierung und -speicherung	J32
3.4.1 Codierer, Decodierer – 3.4.2 Festwertspeicher – 3.4.3 Logikfelder – 3.4.4 Beispiel eines PLA-Steuerwerks	
4 Schaltwerke	J35
4.1 Signalverzögerung und -speicherung	J36
4.1.1 Flipflops, Darstellung mit Taktsignalen – 4.1.2 Flipflops, Abstraktion von Taktsignalen	

4.2	Registertransfer und Datenspeicherung	J39
	4.2.1 Flipflops auf der Registertransfer-Ebene – 4.2.2 Register, Speicherzellen –	
	4.2.3 Schreib-/Lesespeicher – 4.2.4 Speicher mit speziellem Zugriff	
4.3	Schaltwerke zur Datenverarbeitung	J42
	4.3.1 Zähler – 4.3.2 Shiftregister – 4.3.3 Logik-/Arithmetikwerke	
4.4	Schaltwerke zur Programmsteuerung und zur programmgesteuerten	
	Datenverarbeitung	J45
	4.4.1 PLA- und ROM-Steuerwerke – 4.4.2 Beispiele für programmgesteuerte	
	Datenverarbeitungswerke (Prozessoren)	
5	Prozessorstrukturen	J48
5.1	Überblick	J48
5.2	Maschinenbefehle	J50
	5.2.1 Befehlsformate – 5.2.2 Befehlssatz – 5.2.3 Adressierungsarten	
5.3	Akkumulator-Architektur	J54
	5.3.1 Einadressrechner – 5.3.2 Beispiel für Mikroprogrammierung – 5.3.3 Beispiel	
	zur Maschinenprogrammierung	
5.4	Register-Architektur	J56
	5.4.1 Dreiadressrechner (RISC) – 5.4.2 Beschleunigung durch Fließbandtechnik –	
	5.4.3 Beispiel zur Maschinenprogrammierung	
5.5	Parallel-Architektur	J59
	5.5.1 Superskalar vs. VLIW – 5.5.2 Fünfbefehlsrechner (VLIW) – 5.5.3 Beispiel	
	zur Maschinenprogrammierung	

Rechnerorganisation

Th. Flik

6	Informationsdarstellung	J64
6.1	Zeichen- und Zifferncodes	J64
	6.1.1 ASCII – 6.1.2 EBCDIC – 6.1.3 Binärcodes für Dezimalziffern (BCD-Codes) –	
	6.1.4 Oktalcode und Hexadezimalcode	
6.2	Codesicherung	J66
6.3	Datentypen	J68
	6.3.1 Zustandsgröße – 6.3.2 Bitvektor – 6.3.3 Ganze Zahl – 6.3.4 Gleitpunktzahl –	
	6.3.5 Vektor	
6.4	Maschinen- und Assemblerprogrammierung	J71
	6.4.1 Assemblerschreibweise – 6.4.2 Assembleranweisungen – 6.4.3 Makros –	
	6.4.4 Unterprogramme	
7	Rechnersysteme	J76
7.1	Verbindungsstrukturen	J77
	7.1.1 Ein- und Mehrbussysteme – 7.1.2 Systemaufbau – 7.1.3 Busfunktionen –	
	7.1.4 Busmerkmale – 7.1.5 Zentrale Busse und Punkt-zu-Punkt-Verbindungen –	
	7.1.6 Periphere Busse und Punkt-zu-Punkt-Verbindungen	
7.2	Speicherorganisation	J89
	7.2.1 Hauptspeicher – 7.2.2 Speicherverwaltungseinheiten – 7.2.3 Caches –	
	7.2.4 Hintergrundspeicher	
7.3	Ein-/Ausgabeorganisation	J98
	7.3.1 Prozessorgesteuerte Ein-/Ausgabe – 7.3.2 DMA-Controllergesteuerte	
	Ein-/Ausgabe – 7.3.3 Ein-/Ausgabeprozessor – 7.3.4 Schnittstellen –	
	7.3.5 Ein-/Ausgabegeräte	
7.4	Parallelrechner	J104
	7.4.1 Vektorrechner – 7.4.2 Feldrechner – 7.4.3 Speichergekoppelte	
	Mehrprozessorsysteme – 7.4.4 Nachrichtengekoppelte Mehrprozessorsysteme	
7.5	Rechnernetze	J107
	7.5.1 Serielle Datenübertragung – 7.5.2 Weitverkehrsnetze (WANs) – 7.5.3 Lokale	
	Netze (LANs)	
7.6	Leistungskenngrößen von Rechnersystemen und ihre Einheiten	J112

8	Betriebssysteme	J114
8.1	Betriebssystemarten	J114
	8.1.1 Stapelbetrieb – 8.1.2 Dialogbetrieb – 8.1.3 Einbenutzer- und Netzsysteme – 8.1.4 Mehrbenutzer- und Mehrprogrammsysteme – 8.1.5 Verteilte Systeme – 8.1.6 Echtzeitsysteme	
8.2	Prozessorunterstützung	J116
	8.2.1 Privilegierungsebenen – 8.2.2 Traps und Interrupts – 8.2.3 Ausnahmeverarbeitung (exception processing)	
8.3	Betriebssystemkomponenten	J118
	8.3.1 Prozessverwaltung – 8.3.2 Interprozesskommunikation – 8.3.3 Speicherverwaltung – 8.3.4 Dateiverwaltung – 8.3.5 Ein-/Ausgabeverwaltung	

Programmierung

P. Rechenberg, H. Mössenböck

9	Algorithmen	J124
9.1	Begriffe	J124
9.2	Darstellungsarten	J124
	9.2.1 Abstraktionsschichten	
9.3	Einteilungen	J126
	9.3.1 Einteilung nach Strukturmerkmalen – 9.3.2 Einteilung nach Datenstrukturen – 9.3.3 Einteilung nach Aufgabengebiet	
9.4	Komplexität	J129
10	Datentypen und Datenstrukturen	J130
10.1	Begriffe	J130
	10.1.1 Datentyp – 10.1.2 Datenstruktur	
10.2	Elementare Datentypen	J131
10.3	Zusammengesetzte Datentypen	J132
	10.3.1 Felder – 10.3.2 Verbunde – 10.3.3 Zeiger	
10.4	Verkettete Listen	J134
10.5	Bäume	J135
10.6	Graphen	J137
10.7	Hashtabellen	J138
10.8	Mengen	J138
10.9	Dateien	J139
10.10	Abstrakte Datentypen	J140
11	Programmiersprachen	J141
11.1	Begriffe und Einteilungen	J141
	11.1.1 Universal- und Spezialsprachen – 11.1.2 Sequenzielle und parallele Sprachen – 11.1.3 Imperative und nichtimperative Sprachen (Denkmodelle)	
11.2	Beschreibungsverfahren	J144
	11.2.1 Syntax – 11.2.2 Semantik	
11.3	Konstruktionen imperativer Sprachen	J145
	11.3.1 Deklarationen – 11.3.2 Ausdrücke – 11.3.3 Anweisungen – 11.3.4 Prozeduren – 11.3.5 Module – 11.3.6 Klassen – 11.3.7 Ausnahmebehandlung – 11.3.8 Parallelität	
11.4	Programmiersprachen für technische Anwendungen	J151
	11.4.1 Sprachfamilien – 11.4.2 Die Fortran-Familie – 11.4.3 Die Pascal-Familie – 11.4.4 Die Ada-Familie – 11.4.5 Die C-Familie	
11.5	Programmbibliotheken für numerisches Rechnen	J155
11.6	Programmiersysteme für numerisches und symbolisches Rechnen ...	J156
12	Softwaretechnik	J156

12.1	Begriffe, Aufgaben und Probleme	J156
12.1.1	Eigenschaften großer Programme – 12.1.2 Begriff der Softwaretechnik – 12.1.3 Software-Qualität – 12.1.4 Vorgehensmodelle	
12.2	Problemanalyse und Anforderungsdefinition	J159
12.3	Entwurf und Implementierung	J160
12.3.1	Grobentwurf – 12.3.2 Feinentwurf – 12.3.3 Mensch-Maschine-Kommunikation	
12.4	Testen	J163
12.4.1	Statische Testmethoden – 12.4.2 Dynamische Testmethoden – 12.4.3 Qualitätssicherung	
12.5	Dokumentation	J165
12.6	Werkzeuge der Softwaretechnik	J167
13	Ausblick: Informatik und Kommunikation	J168
	Formelzeichen zur Programmierung	J168
	Literatur	J168



Entwicklung und Konstruktion

K.-H. Grote, F. Engelmann, W. Beitz[†], M. Syrbe, J. Beyerer

1	Produktentstehung	K1
1.1	Lebensphasen eines Produkts	K1
1.1.1	Technischer Lebenszyklus – 1.1.2 Wirtschaftlicher Lebenszyklus	
1.2	Produktplanung	K2
1.2.1	Bedeutung – 1.2.2 Grundlagen – 1.2.3 Vorgehensschritte	
1.3	Produktentwicklung	K4
1.3.1	Generelles Vorgehen – 1.3.2 Produktspezifisches Vorgehen	
2	Aufbau technischer Produkte	K8
2.1	Funktionszusammenhang	K8
2.1.1	Allgemeines – 2.1.2 Spezielle Funktionen	
2.2	Wirkzusammenhang	K9
2.2.1	Physikalische, chemische und biologische Effekte – 2.2.2 Geometrische und stoffliche Merkmale	
2.3	Bauzusammenhang	K12
2.4	Systemzusammenhang	K12
2.5	Generelle Zielsetzungen für technische Produkte	K12
2.6	Anwendungen	K13
3	Konstruktionsmethoden	K13
3.1	Allgemeine Lösungsmethoden	K13
3.1.1	Allgemeiner Lösungsprozess – 3.1.2 Systemtechnisches Vorgehen – 3.1.3 Problem- und Systemstrukturierung – 3.1.4 Allgemeine Hilfsmittel	
3.2	Methoden des Konzipierens	K16
3.2.1	Intuitiv-betonte Methoden – 3.2.2 Diskursiv-betonte Methoden	
3.3	Methoden der Gestaltung	K17
3.3.1	Grundregeln der Gestaltung – 3.3.2 Gestaltungsprinzipien – 3.3.3 Gestaltungsrichtlinien	
3.4	Baustrukturen	K25
3.4.1	Baureihen – 3.4.2 Baukästen – 3.4.3 Differenzialbauweise – 3.4.4 Integralbauweise – 3.4.5 Verbundbauweise	
3.5	Methoden der Auswahl	K29
3.6	Praxisbeispiel	K32
3.6.1	Präzisierung der Aufgabenstellung – 3.6.2 Konzipieren – 3.6.3 Entwerfen	
4	Konstruktionselemente	K47

4.1	Bauteilverbindungen	K47
	4.1.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.1.2 Formschluss – 4.1.3 Reibschluss – 4.1.4 Stoffschluss – 4.1.5 Allgemeine Anwendungsrichtlinien	
4.2	Federn	K50
	4.2.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.2.2 Zug-druckbeanspruchte Metallfedern – 4.2.3 Biegebeanspruchte Metallfedern – 4.2.4 Drehbeanspruchte Metallfedern – 4.2.5 Gummifedern – 4.2.6 Gasfedern – 4.2.7 Allgemeine Anwendungsrichtlinien	
4.3	Kupplungen und Gelenke	K54
	4.3.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.3.2 Feste Kupplungen – 4.3.3 Drehstarre Ausgleichskupplungen – 4.3.4 Elastische Kupplungen – 4.3.5 Schaltkupplungen – 4.3.6 Allgemeine Anwendungsrichtlinien	
4.4	Lagerungen und Führungen	K58
	4.4.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.4.2 Wälzlagerungen und -führungen – 4.4.3 Hydrodynamische Gleitlagerungen und -führungen – 4.4.4 Hydrostatische Gleitlagerungen und -führungen – 4.4.5 Magnetische Lagerungen und -führungen – 4.4.6 Allgemeine Anwendungsrichtlinien	
4.5	Mechanische Getriebe	K62
	4.5.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.5.2 Zahnradgetriebe – 4.5.3 Kettengeräte – 4.5.4 Riemengetriebe – 4.5.5 Reibradgetriebe – 4.5.6 Kurbel-(Gelenk-) und Kurvengetriebe – 4.5.7 Allgemeine Anwendungsrichtlinien	
4.6	Hydraulische Getriebe	K68
	4.6.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.6.2 Hydrostatische Getriebe (Hydrogetriebe) – 4.6.3 Hydrodynamische Getriebe (Föttinger-Getriebe) – 4.6.4 Allgemeine Anwendungsrichtlinien	
4.7	Elemente zur Führung von Fluiden	K70
	4.7.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.7.2 Rohre – 4.7.3 Absperr- und Regelorgane (Armaturen) – 4.7.4 Allgemeine Anwendungsrichtlinien	
4.8	Dichtungen	K72
	4.8.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.8.2 Berührungsfreie Dichtungen zwischen relativ bewegten Teilen – 4.8.3 Berührungsdichtungen zwischen relativ bewegten Teilen (Dynamische Dichtungen) – 4.8.4 Berührungsdichtungen zwischen ruhenden Teilen (Statische Dichtungen) – 4.8.5 Membrandichtungen zwischen relativ bewegten Bauteilen – 4.8.6 Anwendungsrichtlinien	
5	Konstruktionsmittel	K75
5.1	Zeichnungen	K75
5.2	Rechnerunterstützte Konstruktion	K76
	5.2.1 Grundlagen – 5.2.2 Rechnereinsatz in den Konstruktionsphasen	
5.3	Normen	K77
5.4	Kostenerkennung, Wertanalyse	K77
	5.4.1 Beeinflussbare Kosten – 5.4.2 Methoden der Kostenerkennung – 5.4.3 Wertanalyse	

Mensch-Maschine-Wechselwirkungen, Anthropotechnik

M. Syrbe, J. Beyerer

6	Anthropotechnisches Basiswissen für Mensch-Maschine-Wechselwirkungen	K80
6.1	Phänomene und Begriffe	K80
6.2	Sinnesorgane, Eigenschaften	K85
6.3	Informationsverarbeitung des Menschen, Modelle	K87
6.4	Gestaltungssystematik für Mensch-Maschine-Systeme	K90
6.5	Qualitative Gestaltungsregeln, Standards (insbesondere Richtlinien, Normen)	K95
	Literatur	K99



Produktion

G. Spur

1	Grundlagen	L1
1.1	Produktionsfaktoren	L1
1.2	Produktionssysteme	L2
1.3	Produktivität	L3
1.4	Produktionstechnik	L3
2	Rohstoffgewinnung und -erzeugung durch Urproduktion	L4
2.1	Biotische und abiotische Rohstoffe	L4
2.2	Energierohstoffe und Güterrohstoffe	L4
2.3	Erschließen und Gewinnen	L6
2.4	Aufbereiten	L7
3	Stoffwandlung durch Verfahrenstechnik	L7
3.1	Verfahrenstechnische Prozesse	L7
3.2	Mechanische Verfahrenstechnik	L8
3.3	Thermische Verfahrenstechnik	L11
3.4	Chemische Reaktionstechnik	L13
4	Formgebung und Fügen durch Fertigungstechnik	L13
4.1	Fertigungsverfahren und Fertigungssysteme: Übersicht	L13
	4.1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren – 4.1.2 Fertigungsgenauigkeit – 4.1.3 Fertigungssysteme und Fertigungsprozesse – 4.1.4 Integrierte flexible Fertigungssysteme	
4.2	Urformen	L18
	4.2.1 Gießen – 4.2.2 Pulvermetallurgie – 4.2.3 Galvanoformen	
4.3	Umformen	L21
	4.3.1 Walzen – 4.3.2 Schmieden – 4.3.3 Strang- und Fließpressen – 4.3.4 Blechumformung	
4.4	Trennen	L24
	4.4.1 Scherschneiden – 4.4.2 Drehen – 4.4.3 Bohren, Senken, Reiben – 4.4.4 Fräsen – 4.4.5 Hobeln, Stoßen, Räumen, Sägen – 4.4.6 Schleifen – 4.4.7 Honen – 4.4.8 Läppen – 4.4.9 Polieren – 4.4.10 Abtragen	
4.5	Fügen	L38
4.6	Beschichten	L41
4.7	Stoffeigenschaft ändern	L43
5	Produktionsorganisation	L46
5.1	Produktplanung	L46
5.2	Produktionspersonalorganisation	L47
5.3	Produktionsplanung	L48
5.4	Produktionssteuerung	L49
5.5	Produktionsbewertung	L51
6	Produktionsinformatik	L51
6.1	Aufgaben	L51
6.2	Informationsfluss	L52
6.3	Rechnerintegrierter Fabrikbetrieb	L53
	Literatur	L54



Betriebswirtschaft

W. Plinke, M. Rese

1	Gegenstand der Betriebswirtschaftslehre	M1
2	Das Grundmodell der Betriebswirtschaftslehre	M2
3	Konstitutive Entscheidungen	M2
3.1	Die Gründung des Betriebes	M2
	3.1.1 Einflussfaktoren der Gründungsentscheidung – 3.1.2 Der betriebliche Standort	
3.2	Das Wachstum des Betriebes	M3
3.3	Die Beendigung des Betriebes	M4
3.4	Die Verfassung des Betriebes	M4
	3.4.1 Die Rechtsform des Betriebes – 3.4.2 Die Mitbestimmung	
3.5	Betriebliche Zusammenschlüsse	M7
4	Funktionsbezogene Entscheidungen	M8
4.1	Das Realgütersystem	M8
	4.1.1 Beschaffung – 4.1.2 Produktion – 4.1.3 Absatz	
4.2	Das Finanzsystem	M10
4.3	Das soziale System	M11
	4.3.1 Die Organisation des Betriebes – 4.3.2 Personalwirtschaft	
4.4	Das Informationssystem	M15
	4.4.1 Informationssysteme des Betriebes – 4.4.2 Das externe Rechnungswesen – 4.4.3 Das interne Rechnungswesen	
	Literatur	M24



Management

H. Buck, J. Leyh, P. Ohlhausen, M. Richter, D. Spath, J. Warschat

Qualitätsmanagement

M. Richter, D. Spath

1	Entwicklung des Qualitätsmanagements	N2
1.1	Aufgaben des Qualitätsmanagements	N2
1.2	Total Quality Management	N3
2	Bedeutung des Qualitätsmanagements	N5
3	Wesentliche Methoden des Qualitätsmanagements	N7
3.1	Quality Function Deployment (QFD)	N7
3.2	Fehlermöglichkeits- und -Einfluss-Analyse (FMEA)	N9
3.3	Qualitätsregelkartentechnik im Rahmen der statistischen Prozesslenkung (SPC)	N11
3.4	Six Sigma	N13
3.5	8D-Report	N14
4	Bewertung von Qualitätsmanagementsystemen	N15
4.1	Das Qualitäts-Audit	N15
4.2	EFQM-Modell	N18

Personalmanagement

H. Buck, D. Spath

5	Aufgaben des Personalmanagements	N20
5.1	Der zentrale Fokus des Personalmanagements: Der Mensch	N21

5.2	Herausforderung: Unternehmenskultur und Leitbilder als handlungsleitenden Rahmen gestalten	N22
5.3	Herausforderung: Wissensintensivierung und Kompetenzentwicklung	N23
5.4	Herausforderungen des demographischen Wandels für die betriebliche Personalpolitik	N24
5.5	Ausblick	N28

Projektmanagement

J. Leyh, P. Ohlhausen, D. Spath, J. Warschat

6	Projektmanagement	N29
6.1	Grundlagen des Projektmanagement	N29
7	Wesentliche Definitionen des Projektmanagements	N29
7.1	Das „Projekt“	N29
7.2	Das „Projektmanagement“	N30
8	Rollen im Projekt	N30
8.1	Projektleiter	N30
8.2	Projektteam	N31
9	Aufbauorganisation	N32
10	Projektplanung, -steuerung und -abschluss	N34
10.1	Projektziele	N34
10.2	Projektstrukturplan	N35
10.3	Projektsteuerung	N36
10.4	Projektabschluss	N37
11	Zertifizierung des Projektmanagers	N38
	Literatur	N38



Normung

T. Bahke

1	Normung in Deutschland	O1
1.1	Normung: eine technischwissenschaftliche und wirtschaftliche Optimierung	O1
1.2	DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Grundsätze der Normungsarbeit	O1
1.3	DIN-Normen: Verfahren zu ihrer Erarbeitung	O2
1.4	DIN-Normen: Rechtliche Bedeutung	O3
1.5	Neuartige Erfordernisse zur Erstellung technischer Regeln	O4
1.6	Entwicklungsbegleitende Normung (EBN)	O5
1.7	Öffentlich verfügbare Spezifikation (PAS)	O5
2	Internationale und Europäische Normung	O6
2.1	Internationale Normung	O6
2.2	Europäische Normung	O6
2.3	Übernahme Internationaler Normen in das Deutsche Normenwerk	O8
3	Ergebnisse der Normung	O9
3.1	Terminologie	O9
3.2	Sicherheit	O9
3.3	Ergonomie	O10
3.4	Qualitätsmanagement	O11

3.5	Normung und Verbraucherschutz	O12
3.6	Konformitätsbewertung	O13
	3.6.1 Zeichen – 3.6.2 CE-Kennzeichnung	
3.7	Umweltschutz	O13
	3.7.1 Einleitung – 3.7.2 Prüfnormen – 3.7.3 Umweltmanagementsystem-Normen – 3.7.4 Produktnormen mit Umweltbezug	
3.8	Informationstechnik	O16
	3.8.1 Standardisierung und Normung von Architekturen, Plattformen, Netzen und Schnittstellen der IT – 3.8.2 Standards und Normen für Anwendungen der IT – 3.8.3 Standards und Normen für den Lebenszyklus von IT Systemen – 3.8.4 Standards und Normen für die Sicherheit von IT Systemen – 3.8.5 Standards und Normen für Internet und Semantic Web – 3.8.6 Ausblick	
3.9	Dienstleistungs-Normung	O20
	Literatur	O21



Recht

W. Frenz

1	Recht	P1
2	Europarecht	P1
2.1	Europäische Union, Europäische Gemeinschaften und Mitgliedstaaten	P1
2.2	Gemeinschaftsorgane	P2
	2.2.1 Der Rat – 2.2.2 Kommission – 2.2.3 Europäisches Parlament – 2.2.4 Europäischer Gerichtshof – 2.2.5 Ausschüsse – 2.2.6 Europäische Investitionsbank	
2.3	Rechtsetzung	P3
	2.3.1 Verordnungen (Art. 249 Abs. 2 EGV) – 2.3.2 Richtlinien (Art. 249 Abs. 3 EGV) – 2.3.3 Entscheidungen (Art. 249 Abs. 4 EGV) – 2.3.4 Empfehlungen und Stellungnahmen (Art. 249 Abs. 5 EGV) – 2.3.5 Sonstige Rechtsakte	
2.4	Grundfreiheiten	P5
	2.4.1 Grundschemata der Grundfreiheiten – 2.4.2 Die Warenverkehrsfreiheit – 2.4.3 Arbeitnehmerfreizügigkeit – 2.4.4 Niederlassungsfreiheit – 2.4.5 Freier Dienstleistungsverkehr – 2.4.6 Kapitalfreiheit – 2.4.7 Wettbewerbsfreiheit	
2.5	Diskriminierungsverbot	P9
2.6	Grundrechte	P9
3	Staatsrecht	P9
3.1	Rangordnung der Rechtsquellen	P9
3.2	Die Grundrechte	P10
	3.2.1 Allgemeines – 3.2.2 Prüfung der Verletzung eines Freiheitsrechts – 3.2.3 Die Grundrechtsprüfung am Beispiel der Berufsfreiheit – 3.2.4 Die Eigentumsgarantie gemäß Art. 14 GG – 3.2.5 Grundrechtliche Schutzpflichten: Art. 2 Abs. 2 S. 1 GG	
3.3	Staatsstrukturprinzipien des Grundgesetzes	P12
3.4	Die Gesetzgebung des Bundes	P12
3.5	Der Verwaltungsaufbau	P13
4	Verwaltungsrecht	P13
4.1	Das Verwaltungsrecht	P13
4.2	Die Handlungsformen der Verwaltung	P13
4.3	Abgrenzung des öffentlich-rechtlichen vom privatrechtlichen Handeln der Verwaltung	P13
4.4	Der Verwaltungsakt	P13
	4.4.1 Definition – 4.4.2 Begriffsmerkmale des Verwaltungsaktes (VA) – 4.4.3 Die Nebenbestimmung – 4.4.4 Die formelle Rechtmäßigkeit des Verwaltungsaktes – 4.4.5 Die materielle Rechtmäßigkeit des Verwaltungsaktes – 4.4.6 Aufhebung von Verwaltungsakten nach Unanfechtbarkeit	

4.5	Weitere Grundbegriffe des Verwaltungsrechts	P15
4.5.1	Ermessen – 4.5.2 Unbestimmter Rechtsbegriff –	
4.5.3	Subjektiv-öffentliches Recht	
4.6	Der öffentlich-rechtliche Vertrag	P16
5	Anlagenzulassungsrecht	P16
5.1	System	P16
5.2	Begriffe	P17
5.2.1	Anlage – 5.2.2 Emissionen/Immissionen – 5.2.3 Luftverunreinigungen –	
5.2.4	Schädliche Umwelteinwirkungen – 5.2.5 Stand der Technik	
5.3	Verfahren	P18
5.3.1	Verlauf des Verfahrens – 5.3.2 Präklusion	
6	Abfallrecht	P19
6.1	Abfallbegriff	P19
6.2	Objektiver Abfallbegriff	P20
6.3	Verwertung und Beseitigung	P20
6.4	Grundsätzlicher Vorrang der Vermeidung und Produktverantwortung	P20
6.5	Betriebsorganisation und Beauftragter für Abfall	P20
7	Strafrecht	P21
7.1	Haftung für Handlungen von untergeordneten Mitarbeitern	P21
7.1.1	Vorsätzliches Verhalten der Unternehmensleitung – 7.1.2 Fahrlässiges Handeln der Unternehmensleitung	
7.2	Organ- und Vertreterhaftung bei Sonderdelikten	P22
8	Zivilrecht	P22
8.1	Wesen und Vorgehen	P22
8.2	Die Vertragsentstehung	P23
8.3	Der Kaufvertrag	P23
8.4	Werkvertrag	P23
9	Arbeitsrecht	P24
10	Handels-, Gesellschafts- und öffentliches Wirtschaftsrecht	P25
	Literatur	P26



Patente

J. Schade, V. Winterfeldt

1	Gewerbliche Schutzrechte	Q1
1.1	Technische Schutzrechte	Q1
1.2	Patente und Wirtschaft	Q1
1.2.1	Informationsgehalt von Patenten – 1.2.2 Anmeldestatistik und -analyse	
1.3	Patentämter	Q3
1.3.1	Deutsches Patent- und Markenamt (DPMA) – 1.3.2 Europäisches Patentamt (EPA) – 1.3.3 Das Internationale Büro der WIPO	
2	Patente	Q4
2.1	Grundvoraussetzungen der Patentfähigkeit	Q4
2.1.1	Technischer Charakter der Erfindung – 2.1.2 Neuheit – 2.1.3 Erfindnerische Tätigkeit – 2.1.4 Gewerbliche Anwendbarkeit – 2.1.5 Schutz von biotechnologischen Erfindungen	
2.2	Die Patentanmeldung	Q6
2.3	Recherche	Q6
2.4	Prüfungsverfahren vor dem Patentamt	Q7
2.4.1	Klassifizierung, Offensichtlichkeitsprüfung und Offenlegung – 2.4.2 Materielle Prüfung auf Patentfähigkeit – 2.4.3 Beschwerde gegen Entscheidungen der Prüfungsstellen des DPMA	

2.5	Einspruchsverfahren	Q9
2.6	Gültigkeitszeitraum	Q10
	2.6.1 Schutzdauer – 2.6.2 Ergänzende Schutzzertifikate – 2.6.3 Erlöschen	
2.7	Jahresgebühren und Zahlungserleichterungen	Q10
2.8	Verfügungen über das Patent und Lizenzvereinbarungen	Q11
2.9	Wirkungen des Patents und Patentverletzung	Q11
2.10	Nichtigkeitsverfahren	Q12
3	Europäisches Patentrecht	Q12
3.1	Die europäische Patentanmeldung	Q13
3.2	Das europäische Verfahren	Q14
3.3	Das erteilte Europäische Patent	Q15
4	Entwurf eines Gemeinschaftspatents	Q15
5	Internationaler Patentrechtsvertrag (PCT)	Q15
5.1	Die PCT-Anmeldung	Q15
5.2	Das PCT-Verfahren	Q16
6	Gebrauchsmuster	Q16
6.1	Grundvoraussetzungen der Schutzfähigkeit	Q17
6.2	Anmeldung und Eintragung	Q17
6.3	Wirkungen und Laufzeit	Q18
7	Arbeitnehmererfindungsrecht	Q18
7.1	Freie und gebundene Erfindungen	Q18
7.2	Meldung und Inanspruchnahme	Q18
7.3	Pflichten des Arbeitgebers	Q19
7.4	Vergütungsanspruch	Q19
7.5	Streitigkeiten	Q20
	Literatur	Q20

