

---

# Taschenbuch der Mathematik und Physik

---

Ekbert Hering · Rolf Martin ·  
Martin Stohrer<sup>†</sup>

# Taschenbuch der Mathematik und Physik

6., aktualisierte Auflage

Unter wissenschaftlicher Mitarbeit von:  
Professor Dr. Dirk Flottmann, Hochschule Aalen  
Professor Dr. Rainer Gräf, Hochschule Esslingen  
Professor Dr. Karlheinz Schöffler, Fachhochschule Niederrhein  
Dr. Wolfgang Schulz, Wave GmbH Stuttgart



Springer Vieweg

Prof. Dr. rer. nat. Dr. rer. pol. Dr. h. c. Ekbert Hering  
Hochschule Aalen  
Aalen, Deutschland

Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. Rolf Martin  
Hochschule Esslingen  
Esslingen, Deutschland

Prof. Dr. rer. nat. Martin Stohrer †

ISBN 978-3-662-53418-2  
DOI 10.1007/978-3-662-53419-9

ISBN 978-3-662-53419-9 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 1994, 1995, 2001, 2005, 2009, 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

## Vorwort zur sechsten Auflage

Das Taschenbuch für Mathematik und Physik erscheint nunmehr in seiner sechsten Auflage. Von unseren Lesern werden vor allem zwei Vorzüge genannt. Zum einen werden in diesem Werk sowohl die Grundlagen der Mathematik als auch die wichtigsten Gebiete der Physik behandelt. Deshalb brauchen unsere Leser für diese beiden wichtigen Grundlagen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften statt zweier Bücher nur ein Werk. Zur Abrundung des Taschenbuches wurden auch die wichtigen Grundlagen der Informatik und der Chemie aufgenommen sowie aktuelle Themen der Energie- und Umwelttechnik vorgestellt. Zum anderen werden der Übersichtscharakter und die strukturierte, kompetente und komprimierte Darstellung der Sachgebiete als sehr gelungen, lese- und lernfreundlich empfunden. Vor allem die vielen Beispielrechnungen in der Mathematik bieten unseren Lesern einen schnellen und verständnisvollen Einstieg in die entsprechenden mathematischen Verfahren.

In der sechsten Auflage wurden die genannten Vorzüge beibehalten, aber erforderliche Aktualisierungen wie neue Normen oder die Zahlenwerte der Naturkonstanten vorgenommen. Auch Korrekturen und noch treffendere Formulierungen haben das Profil dieses Werkes im Sinne der strukturierten und komprimierten Darstellung weiter geschärft.

Wie in den vergangenen über 20 Jahren des erfolgreichen Einsatzes dieses Werkes, so wünschen wir, dass dieses Werk weiterhin für Studierende, für Praktiker und für Anwender von großem Nutzen sein wird. Wir freuen uns auch weiterhin auf eine kritische Begleitung durch unsere Leser.

Heubach, Köngen  
März 2017

*Ekbert Hering  
Rolf Martin*

## Vorwort zur fünften Auflage

Die ersten vier Auflagen des Taschenbuchs der Mathematik und Physik wurden von unseren Lesern sehr gut aufgenommen. Diese haben uns auch ermuntert, die Struktur des Werkes beizubehalten und die Inhalte übersichtlich, strukturiert und kompakt darzustellen. So ist ein Werk entstanden, welches nicht nur die Mathematik und die Physik behandelt, sondern auch die Informatik und die Chemie. Ebenso ist je ein Kapitel der Umwelttechnik und der Energietechnik gewidmet, da die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse auch in diesen technischen Disziplinen die Grundlage bilden. In der fünften Auflage wurden die erwähnten Merkmale der Strukturierung, der Klarheit und des Kompakten des Buches noch konsequenter umgesetzt, die Fehler verbessert und die neuesten Normen eingearbeitet. Ein sehr umfangreiches Sachwortverzeichnis hilft beim Auffinden der einzelnen Themen.

Mit großer Erschütterung haben wir erleben müssen, dass unser Koautor Martin Stohrer durch einen tragischen Bergunfall tödlich verunglückt ist. Wir verlieren mit ihm einen exzellenten Fachmann insbesondere auf dem Gebiet der Akustik und der Wärme- und Stoffübertragung, einen

maßgebenden Verfechter der Struktur dieses Werkes und einen liebenswerten Freund. Seine Verbesserungen in den von ihm konzipierten Kapiteln konnten wir noch einarbeiten. Möge dieses Werk in seiner fünften Auflage ihm ein ehrendes Andenken wahren.

Wir wünschen uns, dass dieses vorliegende Nachschlagewerk nach wie vor von großem Nutzen für Studierende, Anwender und Praktiker ist. Wir freuen uns auf eine weitere kritische Begleitung sowie auf die Verbesserungsvorschläge und Wünsche unserer Leser.

Heubach, Köngen  
März 2009

*Ekkert Hering  
Rolf Martin*

## **Vorwort zur vierten Auflage**

Die ersten drei Auflagen des Kompendiums der Mathematik und Physik fanden ein erfreuliches Echo. Dies ermunterte uns, den eingeschlagenen Weg, die Zusammenhänge in der Mathematik und der Physik in einem Werk komprimiert und kompetent darzustellen, konsequent fortzusetzen. So entstand die vierte Auflage des Werkes, in der im wesentlichen Fehler beseitigt, der Übersichtscharakter noch klarer strukturiert wurde, die Informatik komprimiert und die Chemie erweitert wurde. Wir wünschen uns, dass das Werk für alle Anwender, den Studierenden wie den Praktikern von großem Nutzen ist. Über Anregungen zur weiteren Verbesserung des Nachschlagewerkes und eine weitere kritische Begleitung durch unsere Leser würden wir uns freuen.

Heubach, Esslingen, Stuttgart  
August 2004

*Ekkert Hering  
Rolf Martin  
Martin Stohrer*

## **Vorwort zur zweiten Auflage**

Die erste Auflage dieses Werkes fand ein erfreulich großes Echo und machte bereits nach gut einem Jahr eine Neuauflage erforderlich. In dieser nun vorliegenden zweiten Auflage wurden Fehler berichtigt und geringfügige Ergänzungen vorgenommen. Möge das Werk vielen Nutzern bei der Alltagsarbeit helfen! Über Anregungen zur weiteren Verbesserung des Nachschlagewerkes würden wir uns sehr freuen.

Heubach, Esslingen, Stuttgart  
Juli 1995

*Ekkert Hering  
Rolf Martin  
Martin Stohrer*

## Vorwort zur ersten Auflage

Das Physikalisch-Technische Taschenbuch ist ein Kompendium und Nachschlagewerk für Ingenieure und Naturwissenschaftler in Studium und Berufspraxis. Das Werk fasst alle wichtigen Formeln der Mathematik, Physik und Technik in einem Band zusammen. Dabei sind neben klassischen Gebieten auch moderne Bereiche wie Optoelektronik, Nachrichtentechnik, Informatik und Umweltschutz berücksichtigt. Es ersetzt kein Lehrbuch, doch werden kompakt und handlich die wesentlichen Zusammenhänge erläutert. Häufig gebrauchte Stoffwerte, Konstanten und Umrechnungen von Einheiten sowie die Eigenschaften der chemischen Elemente sind in Tabellen zusammengestellt, um den schnellen Zugriff sicherzustellen.

Der Inhalt umfasst im einzelnen: Mathematik – Fehlerrechnung – physikalische Grundlagen – Gravitation – Technische Mechanik – Hydro- und Aeromechanik – Festigkeitslehre – Wärme- und Stoffübertragung – Elektrotechnik und Elektronik – Magnetismus – Metalle und Halbleiter – Optoelektronik – Festkörperphysik – Nachrichtentechnik – Atom- und Kernphysik – Relativitätstheorie – Energietechnik – Eigenschaften der chemischen Elemente – Informatik und Umwelttechnik.

Ein klar gegliedertes Inhaltsverzeichnis und ein ausführliches Sachwortverzeichnis erleichtern dem Leser das Auffinden der gesuchten Information. Autoren und Verlag wünschen ihren Lesern einen erfolgreichen Einsatz dieses Werkes und freuen sich auf konstruktive Kritik und Verbesserungsvorschläge.

Heubach, Esslingen, Stuttgart  
Mai 1994

*Eckbert Hering  
Rolf Martin  
Martin Stohrer*

# Inhaltsverzeichnis

<b>A</b>	<b>Mathematik</b> .....	1
A.1	Mathematische Zeichen und Normzahlen .....	1
A.1.1	Mathematische Symbolik .....	1
A.1.2	Mathematische Logik .....	2
A.1.3	Normzahlen .....	3
A.2	Reelle Zahlen ( $\mathbb{R}$ ) .....	4
A.3	Komplexe Zahlen ( $\mathbb{C}$ ) .....	6
A.4	Logarithmus und Logarithmengesetze .....	9
A.5	Trigonometrische Funktionen .....	10
A.6	Analytische Geometrie der Ebene .....	13
A.7	Geometrische Sätze .....	22
A.8	Flächen und Körper .....	24
A.9	Vektorrechnung .....	26
A.10	Funktionen .....	29
A.11	Algebraische Gleichungen .....	44
A.12	Matrizenrechnung und Determinanten .....	50
A.13	Differenzialrechnung .....	56
A.14	Integralrechnung .....	64
A.15	Summen, Folgen und Reihen .....	88
A.16	Fourier-Reihen .....	93
A.17	Fourier-Transformation .....	96
A.18	Gewöhnliche Differenzialgleichungen .....	99
A.18.1	Differenzialgleichung $y' = f(x, y)$ .....	99
A.18.2	Lineare Differenzialgleichung 1. Ordnung .....	100
A.18.3	Separierbare Differenzialgleichungen .....	101
A.18.4	Exakte Differenzialgleichungen .....	103
A.18.5	Lineare Differenzialgleichung 2. Ordnung .....	104
A.18.6	Differenzialgleichungen 2. Ordnung und Energie-Satz .....	105
A.18.7	Spezielle Differenzialgleichungen höherer Ordnung .....	105
A.19	Elemente der Wahrscheinlichkeitstheorie .....	107
A.19.1	Kombinatorik .....	107
A.19.2	Wahrscheinlichkeiten .....	108
A.19.3	Verteilungsfunktionen .....	109
<b>B</b>	<b>Fehlerrechnung</b> .....	111
B.1	Messgenauigkeit .....	111
B.2	Analyse statistischer Messwertverteilungen .....	111

B.3	Fehlerfortpflanzung .....	114
B.4	Regression – Kurvenanpassung .....	114
B.5	Ausgleichsgeradenkonstruktion .....	122
B.6	Korrelationsanalyse .....	122
<b>C</b>	<b>Physikalische Größen und Konstanten .....</b>	<b>125</b>
C.1	Physikalische Basisgrößen und Definitionen .....	125
C.2	Umrechnungen gebräuchlicher Größen .....	125
C.3	Naturkonstanten .....	125
<b>D</b>	<b>Kinematik .....</b>	<b>137</b>
D.1	Eindimensionale Kinematik .....	137
D.1.1	Geschwindigkeit .....	137
D.1.2	Beschleunigung .....	137
D.1.3	Kinematische Diagramme .....	137
D.1.4	Spezialfälle .....	138
D.2	Dreidimensionale Kinematik .....	140
D.2.1	Ortsvektor und Bahnkurve .....	140
D.2.2	Geschwindigkeitsvektor .....	140
D.2.3	Beschleunigungsvektor .....	140
D.2.4	Kreisbewegungen .....	141
D.2.5	Wurfbewegungen .....	141
<b>E</b>	<b>Dynamik .....</b>	<b>145</b>
E.1	Grundgesetze der klassischen Mechanik .....	145
E.1.1	Die Newton'schen Axiome .....	145
E.1.2	Wechselwirkungskräfte der Mechanik .....	147
E.2	Dynamik in bewegten Bezugssystemen .....	150
E.2.1	Geradlinig bewegtes Bezugssystem .....	150
E.2.2	Gleichförmig rotierende Bezugssysteme .....	151
E.3	Arbeit, Leistung und Energie .....	153
E.3.1	Arbeit $W$ .....	153
E.3.2	Leistung $P$ .....	153
E.3.3	Energie $E$ .....	155
E.4	Impuls und Stoßprozesse .....	156
E.4.1	Systeme materieller Punkte .....	157
E.4.2	Stoßprozesse .....	158
E.4.3	Raketengleichung .....	162



E.5	Drehbewegungen .....	163
E.5.1	Drehmoment .....	163
E.5.2	Drehimpuls .....	163
E.5.3	Dynamisches Grundgesetz der Rotation .....	166
E.5.4	Arbeit, Leistung und Energie bei der Drehbewegung .....	166
E.6	Erhaltungssätze der Mechanik .....	168
E.7	Mechanik starrer Körper .....	168
E.7.1	Freiheitsgrade und Kinematik .....	168
E.7.2	Statik .....	168
E.7.3	Dynamik .....	171
<b>F</b>	<b>Gravitation</b> .....	<b>175</b>
F.1	Newton'sches Gravitationsgesetz .....	175
F.2	Gravitationsfeldstärke .....	175
F.3	Gravitations- oder Hubarbeit .....	177
F.4	Potenzielle Energie der Gravitation .....	177
F.5	Gravitationspotenzial .....	177
F.6	Planetenbewegung .....	178
F.7	Schwereigenschaften der Erde .....	180
<b>G</b>	<b>Festigkeitslehre</b> .....	<b>183</b>
G.1	Spannung und Spannungszustand .....	183
G.2	Verformungsarten .....	184
G.3	Zugversuch nach DIN EN 10 002 .....	186
G.4	Elementare Belastungsfälle .....	187
G.4.1	Biegung .....	189
G.4.2	Knickung .....	191
G.4.3	Torsion .....	192
G.5	Bruchmechanik .....	192
G.6	Schwingende Beanspruchung .....	193
G.7	Zeitstandverhalten .....	194
G.8	Energie .....	194
G.9	Härte .....	195
<b>H</b>	<b>Hydro- und Aeromechanik</b> .....	<b>197</b>
H.1	Ruhende Flüssigkeiten .....	199
H.1.1	Druck, Kompressibilität, Volumenausdehnung .....	199
H.1.2	Kolbendruck, Schweredruck und Seitendruck .....	200
H.1.3	Auftrieb .....	200

H.1.4	Bestimmung der Dichte .....	202
H.1.5	Grenzflächeneffekte .....	202
H.2	Ruhende Gase .....	204
H.2.1	Druck und Volumen .....	204
H.2.2	Schweredruck .....	204
H.3	Strömende Flüssigkeiten und Gase .....	206
H.3.1	Ideale (reibungsfreie) Strömungen .....	206
H.3.2	Strömungen realer Flüssigkeiten und Gase .....	213
H.3.2.1	Laminare Strömung .....	213
H.3.2.2	Turbulente Strömung .....	215
H.4	Molekularbewegungen .....	220
H.4.1	Diffusion .....	220
H.4.2	Lösungen .....	220
<b>J</b>	<b>Schwingungen und Wellen</b> .....	<b>223</b>
J.1	Schwingungen .....	224
J.1.1	Freie ungedämpfte Schwingung .....	225
J.1.1.1	Grundlagen .....	225
J.1.1.2	Allgemeine Beschreibung durch eine Differenzialgleichung .....	225
J.1.1.3	Schwingungssysteme .....	225
J.1.1.4	Gesamtenergie .....	225
J.1.2	Freie gedämpfte Schwingung .....	228
J.1.3	Erzwungene Schwingung .....	232
J.1.3.1	Erzwungene mechanische Schwingung .....	232
J.1.3.2	Erzwungene elektrische Schwingung .....	235
J.1.4	Überlagerung von Schwingungen .....	237
J.1.4.1	Überlagerung in gleicher Raumrichtung und mit gleicher Frequenz .....	238
J.1.4.2	Überlagerung in gleicher Raumrichtung und mit geringen Frequenzunterschieden (Schwebung) .....	239
J.1.4.3	Überlagerung in gleicher Raumrichtung und mit großen Frequenzunterschieden .....	240
J.1.4.4	Überlagerung in gleicher Raumrichtung mit ganzzahligen Frequenzverhältnissen (Fourier-Analyse) .....	240
J.1.4.5	Überlagerung von Schwingungen mit ganzzahligen Frequenzverhältnissen, die senkrecht aufeinander stehen (Lissajous-Figuren) .....	242
J.1.5	Gekoppelte Schwingungen .....	244
J.1.6	Orts- und zeitabhängige Schwinger .....	244
J.2	Wellen .....	245
J.2.1	Harmonische Wellen .....	245
J.2.2	Energietransport .....	245
J.2.3	Phasengeschwindigkeit .....	249
J.2.4	Gruppengeschwindigkeit .....	250

J.2.5	Doppler-Effekt .....	250
J.2.6	Interferenz .....	251
<b>K</b>	<b>Akustik .....</b>	<b>255</b>
K.1	Schallausbreitung .....	255
K.1.1	Schallfrequenz .....	255
K.1.2	Schallgeschwindigkeit .....	255
K.1.3	Schallwellenlänge .....	257
K.1.4	Schallwiderstand (Schallkennimpedanz) .....	257
K.1.5	Schalldruck .....	257
K.1.6	Schallschnelle .....	259
K.1.7	Energiedichte .....	259
K.1.8	Schallintensität .....	259
K.1.9	Schalleistung .....	260
K.1.10	Dämpfungskoeffizient der Schallabsorption .....	260
K.2	Schallwandler .....	260
K.2.1	Schallpegel .....	260
K.2.2	Gesamtschallpegel .....	262
K.2.3	Schallfrequenzspektrum, Bandfilter .....	262
K.3	Schallwelle an Grenzflächen .....	262
K.3.1	Schallreflexionsgrad .....	263
K.3.2	Schalltransmissionsgrad .....	264
K.3.3	Schallabsorptionsgrad .....	264
K.4	Schalldurchgang durch Trennwände .....	266
K.4.1	Schalltransmissionsgrad .....	266
K.4.2	Schalldämmmaß einer Trennwand .....	266
K.4.3	Spuranpassungs-Schallwellenlänge .....	267
K.4.4	Spuranpassungsfrequenz .....	267
K.5	Physiologische Akustik .....	268
K.5.1	Lautstärke .....	268
K.5.2	Lautheit .....	269
K.5.3	A-bewerteter Schallpegel .....	269
K.5.4	Äquivalenter Dauerschallpegel .....	270
K.6	Raumakustik .....	270
K.6.1	Äquivalente Absorptionsfläche .....	270
K.6.2	Schalleistungspegel des diffusen Schallfeldes .....	270
K.6.3	Nachhallzeit .....	271
K.6.4	Hallradius .....	271
K.7	Technische Akustik und Bauakustik .....	271
K.7.1	Luftschall-Dämmmaß .....	271
K.7.2	Norm-Trittschallpegel .....	272
K.7.3	Körperschall-Isolierungswirkungsgrad .....	272

	K.74	Strömungsgeräusche .....	274
K.8		Ultraschall .....	275
<b>L</b>	<b>Optik</b> .....		<b>277</b>
L.1		Geometrische Optik .....	277
	L.1.1	Lichtstrahlen und Abbildung .....	278
	L.1.2	Reflexion des Lichts .....	278
	L.1.2.1	Reflexion an ebenen Flächen .....	278
	L.1.2.2	Reflexion an gekrümmten Flächen .....	279
	L.1.3	Brechung des Lichts .....	280
	L.1.3.1	Brechungsgesetz .....	280
	L.1.3.2	Lichtwellenleiter .....	280
	L.1.3.3	Brechung an Prismen .....	282
	L.1.3.4	Brechung an Kugelflächen .....	282
	L.1.4	Abbildung durch Linsen .....	284
	L.1.4.1	Dünne Linsen .....	284
	L.1.4.2	Dicke Linsen .....	284
	L.1.4.3	Linsensysteme .....	285
	L.1.5	Blenden .....	285
	L.1.6	Abbildungsfehler .....	287
	L.1.7	Optische Instrumente .....	287
	L.1.7.1	Das menschliche Auge .....	287
	L.1.7.2	Vergößerungsinstrumente .....	288
	L.1.7.3	Fotoapparat .....	289
L.2		Fotometrie .....	289
	L.2.1	Strahlungsphysikalische Größen .....	290
	L.2.2	Lichttechnische Größen .....	292
L.3		Wellenoptik .....	295
	L.3.1	Interferenz und Beugung .....	295
	L.3.1.1	Kohärenz .....	295
	L.3.1.2	Interferenzen an dünnen Schichten .....	295
	L.3.1.3	Interferometer .....	297
	L.3.1.4	Beugung am Spalt .....	297
	L.3.1.5	Auflösungsvermögen optischer Instrumente .....	297
	L.3.1.6	Beugung am Gitter .....	299
	L.3.1.7	Spektralapparate .....	299
	L.3.1.8	Röntgenbeugung an Kristallgittern .....	299
	L.3.1.9	Holografie .....	299
	L.3.2	Polarisation des Lichts .....	301
	L.3.2.1	Polarisationsformen .....	301
	L.3.2.2	Erzeugung von polarisiertem Licht .....	302
	L.3.2.3	Technische Anwendungen der Doppelbrechung .....	303

L.3.2.4	Optische Aktivität .....	303
L.4	Quantenoptik .....	305
L.4.1	Lichtquanten .....	305
L.4.2	Laser .....	305
L.4.3	Materiewellen .....	306
<b>M</b>	<b>Elektrizität und Magnetismus .....</b>	<b>309</b>
M.1	Elektrisches Feld .....	311
M.1.1	Elektrische Feldstärke .....	312
M.1.2	Elektrische Kraft .....	314
M.1.3	Elektrisches Potenzial .....	315
M.1.4	Materie im elektrischen Feld .....	315
M.2	Gleichstromkreis .....	322
M.2.1	Stromstärke .....	322
M.2.2	Elektrische Spannung .....	322
M.2.3	Widerstand und Leitwert .....	323
M.2.4	Elektrische Arbeit, elektrische Leistung und Wirkungsgrad .....	326
M.2.5	Ohm'sches Gesetz .....	326
M.2.6	Elektrische Netze – Kirchhoff'sche Regeln .....	327
M.2.7	Messung von Strom und Spannung .....	332
M.2.8	Ausgewählte Messverfahren .....	332
M.3	Ladungstransport in Flüssigkeiten .....	334
M.4	Ladungstransport im Vakuum und in Gasen .....	337
M.4.1	Ladungstransport im Vakuum .....	337
M.4.2	Stromleitung im Vakuum .....	340
M.4.3	Stromleitung in Gasen .....	341
M.5	Magnetisches Feld .....	342
M.5.1	Beschreibung .....	342
M.5.2	Magnetische Feldstärke (magnetische Erregung) .....	343
M.5.3	Magnetische Flussdichte (Induktion) .....	344
M.5.4	Materie im Magnetfeld .....	349
M.6	Wechselstromkreis .....	360
M.6.1	Wechselspannung und Wechselstrom .....	360
M.6.2	Wechselstromkreis .....	360
M.6.3	Arbeit und Leistung .....	366
M.6.4	Transformation von Wechselströmen .....	366
M.6.5	Ein- und Ausschalten einer Spule .....	369
M.7	Elektrische Maschinen .....	369
M.8	Elektromagnetische Schwingungen .....	371
M.8.1	Ungedämpfte elektromagnetische Schwingung .....	371
M.8.2	Gedämpfte elektromagnetische Schwingung .....	371

<b>N</b>	<b>Nachrichtentechnik</b> .....	373
N.1	Informationstheorie .....	373
N.2	Signale und Systeme .....	373
N.2.1	Zeit- und Frequenzbereich .....	373
N.2.2	Abtasttheorem .....	375
N.2.3	Modulation .....	376
N.2.4	Pegel und Dämpfungsmaß .....	379
N.2.5	Verzerrungen .....	380
N.2.6	Rauschen .....	382
N.3	Nachrichtenübertragung .....	382
N.3.1	Sender .....	382
N.3.2	Übertragungsmedium .....	383
N.3.3	Empfänger .....	385
<b>O</b>	<b>Thermodynamik</b> .....	387
O.1	Grundlagen .....	387
O.1.1	Thermodynamische Grundbegriffe .....	387
O.1.2	Temperatur .....	389
O.1.3	Thermische Ausdehnung .....	389
O.1.4	Allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase .....	390
O.2	Kinetische Gastheorie .....	391
O.2.1	Gasdruck .....	391
O.2.2	Thermische Energie und Temperatur .....	392
O.2.3	Geschwindigkeitsverteilung von Gasmolekülen .....	392
O.3	Hauptsätze der Thermodynamik .....	393
O.3.1	Wärme .....	393
O.3.2	Erster Hauptsatz der Thermodynamik .....	394
O.3.3	Wärmekapazität idealer Gase .....	395
O.3.4	Spezielle Zustandsänderungen idealer Gase .....	396
O.3.5	Kreisprozesse .....	398
O.3.6	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik .....	402
O.3.7	Thermodynamische Potenziale .....	405
O.3.8	Dritter Hauptsatz der Thermodynamik .....	405
O.4	Reale Gase .....	406
O.4.1	Van-der-Waals'sche Zustandsgleichung .....	406
O.4.2	Gasverflüssigung (Joule-Thomson-Effekt) .....	406
O.4.3	Phasenumwandlungen .....	409
O.4.3.1	Thermodynamisches Gleichgewicht .....	410
O.4.3.2	Koexistenz dreier Phasen .....	412
O.4.4	Dämpfe und Luftfeuchtigkeit .....	412

<b>P</b>	<b>Wärme- und Stoffübertragung</b> .....	415
P.1	Wärmeleitung .....	415
P.2	Konvektion .....	420
P.3	Wärmestrahlung .....	425
P.4	Wärmedurchgang .....	427
P.5	Stoffübertragung .....	429
<b>Q</b>	<b>Energietechnik</b> .....	431
Q.1	Energieträger .....	431
Q.2	Energiewandler .....	434
Q.3	Energiespeicher .....	436
Q.4	Energieverbrauch .....	438
<b>R</b>	<b>Umwelttechnik</b> .....	441
R.1	Abwassertechnik .....	443
R.1.1	Entstehung von schadstoffbelastetem Abwasser .....	443
R.1.2	Verminderung der Ausschleppungen .....	443
R.1.3	Standzeitverlängerung des Wirkbades .....	443
R.1.4	Spültechnik .....	443
R.1.5	Kreislaufführung des Spülwassers (Ionenaustauscher) .....	445
R.1.6	Abwasseraufbereitung (-behandlung) .....	446
R.2	Reinhaltung der Luft .....	447
R.2.1	Entstehung von Luftverunreinigungen .....	447
R.2.2	Auswirkungen von Luftverunreinigungen .....	448
R.2.3	Primärmaßnahmen der Schadstoffbegrenzung .....	448
R.2.4	Sekundärmaßnahmen der Schadstoffbegrenzung .....	448
R.3	Abfallwirtschaft .....	451
R.3.1	Entstehung von Abfällen .....	451
R.3.2	Grundsatz der Abfallwirtschaft .....	451
R.3.3	Primärmaßnahmen der Abfallvermeidung .....	451
R.3.4	Sekundärmaßnahmen der Abfallvermeidung .....	452

<b>S</b>	<b>Atomphysik</b> .....	455
S.1	Atombau und Spektren .....	455
S.2	Systematik des Atombaus .....	455
S.2.1	Aufbau der Atome .....	455
S.2.2	Atommasse und Anzahl der Atome .....	456
S.3	Quantentheorie .....	458
S.4	Atomhülle .....	458
S.4.1	Atommodelle .....	458
S.4.2	Wasserstoff-Atommodell .....	460
S.4.3	Quantenzahlen .....	460
S.4.4	Röntgenstrahlung .....	464
S.5	Molekülspektren .....	465
S.5.1	Rotations-Schwingungs-Spektren .....	465
S.5.2	Raman-Effekt .....	466
S.6	Quanten-Hall-Effekt .....	467
<b>T</b>	<b>Kernphysik</b> .....	469
T.1	Radioaktiver Zerfall .....	470
T.1.1	Stabilität des Kerns .....	470
T.1.2	Zerfall .....	472
T.2	Dosisgrößen .....	478
T.3	Strahlenschutz .....	478
T.3.1	Wechselwirkung von Strahlung mit Materie (Schwächung) .....	478
T.3.2	Dosismessverfahren .....	478
T.3.3	Biologische Wirkung der Strahlung .....	478
T.3.4	Schutz vor Strahlenbelastung .....	478
T.4	Kernreaktionen .....	488
T.4.1	Energetik .....	488
T.4.2	Wirkungsquerschnitt .....	490
T.5	Kernfusion .....	491
T.6	Elementarteilchen .....	491
T.6.1	Fundamentale Wechselwirkungen .....	491
T.6.2	Erhaltungssätze .....	492
T.6.3	Einteilung .....	492
<b>U</b>	<b>Relativitätstheorie</b> .....	497
U.1	Relativität des Bezugssystems .....	497
U.2	Lorentz-Transformation .....	497
U.3	Relativistische Effekte .....	498
U.4	Relativistische Dynamik .....	498



U.5	Relativistische Elektrodynamik .....	499
U.6	Doppler-Effekt des Lichtes .....	501
<b>V</b>	<b>Festkörperphysik</b> .....	<b>503</b>
V.1	Arten der Kristallbindung .....	503
V.2	Kristalline Strukturen .....	504
V.2.1	Kristallsysteme und dichteste Kugelpackungen .....	504
V.2.2	Richtungen und Ebenen im Kristallgitter .....	506
V.2.3	Gitterfehler .....	506
V.3	Makromolekulare Festkörper .....	507
V.4	Thermodynamik fester Körper .....	509
V.4.1	Schwingendes Gitter (Phononen) .....	509
V.4.2	Molare und spezifische Wärmekapazität .....	510
V.4.3	Wärmeleitfähigkeit .....	512
<b>W</b>	<b>Metalle und Halbleiter</b> .....	<b>513</b>
W.1	Energiebänder .....	513
W.2	Metalle .....	514
W.2.1	Energiezustände und Besetzung .....	514
W.2.2	Elektrische Leitung .....	515
W.3	Halbleiter .....	515
W.3.1	Eigenleitung .....	515
W.3.2	Störstellenleitung .....	517
W.3.3	pn-Übergang .....	517
W.3.4	Transistor .....	517
W.3.4.1	Bipolarer Transistor .....	522
W.3.4.2	Feldeffekt-Transistor (FET) .....	522
W.4	Supraleitung .....	527
<b>X</b>	<b>Optoelektronik</b> .....	<b>531</b>
X.1	Halbleiter-Sender .....	531
X.1.1	Strahlungsemission aus Halbleitern .....	532
X.1.2	Lumineszenzdiode .....	532
X.1.3	Laserdiode .....	532
X.2	Halbleiter-Detektoren .....	534
X.2.1	Strahlungsabsorption in Halbleitern .....	534
X.2.2	Fotowiderstand .....	534
X.2.3	Fotodiode .....	535
X.2.4	Solarzelle .....	535

X.2.5	Fototransistor .....	536
X.3	Optokoppler .....	537
<b>Y</b>	<b>Informatik</b> .....	<b>539</b>
Y.1	Digitaltechnik .....	539
Y.1.1	Zahlensysteme .....	539
Y.1.2	Kodes .....	540
Y.1.3	Logische Verknüpfungen .....	542
Y.1.4	Digitale Bauelemente .....	543
Y.1.5	Schaltzeichen .....	544
Y.1.6	Speicherbauelemente .....	545
Y.1.7	Mikroprozessoren .....	546
Y.1.8	Leitungen digitaler Signale .....	548
Y.1.9	ASIC .....	549
Y.2	Schnittstellen, Bussysteme und Netzwerke .....	549
Y.2.1	Schnittstellen .....	551
Y.2.2	Bussysteme .....	553
Y.2.3	Netze .....	554
Y.3	Programmstrukturen .....	558
Y.4	Datenstrukturen .....	562
Y.5	Sprachen .....	565
<b>Z</b>	<b>Technische Chemie</b> .....	<b>567</b>
Z.1	Atom und chemische Bindung .....	567
Z.1.1	Periodensystem der Elemente .....	567
Z.1.2	Basisgröße „Stoffmenge“ .....	567
Z.1.3	Edelgaskonfiguration und Atombindung .....	568
Z.1.3.1	Hybridisierung .....	568
Z.1.3.2	Polare Atombindungen und Elektronegativität .....	569
Z.1.3.3	Mehrfachbindungen .....	570
Z.1.3.4	Komplexbindungen .....	570
Z.1.4	Die Ionenbindung .....	571
Z.1.5	Metallische Bindung und Metallstrukturen .....	571
Z.2	Wässrige Lösungen .....	572
Z.2.1	Lösevorgänge und Konzentrationsangaben .....	572
Z.2.2	Ionenprodukt des Wassers .....	573
Z.2.3	Säuren und Basen .....	574
Z.2.4	pH-Wert .....	575
Z.2.5	Redoxreaktionen in wässriger Lösung .....	576
Z.3	Verbindungsklassen der organischen Chemie .....	577

Z.3.1	Alkane (gesättigte Kohlenwasserstoffe, Paraffine) .....	577
Z.3.2	Erdöl .....	577
Z.3.3	Ungesättigte Kohlenwasserstoffe .....	578
Z.3.4	Benzol und Aromaten .....	578
Z.3.5	Weitere Verbindungsklassen der organischen Chemie .....	580
Z.4	Elektrochemie .....	581
Z.4.1	Elektrolyse .....	581
Z.4.2	Galvanische Zellen .....	581
Z.4.2.1	Die Spannungsreihe .....	583
Z.4.2.2	Die Nernst'sche Gleichung .....	583
Z.4.3	Elektrochemische pH-Messung .....	583
Z.4.4	Elektrochemische Stromerzeugung (Batterien) .....	584
Z.4.4.1	Der Bleiakкумулятор .....	584
Z.5	Industrielle anorganische Chemie .....	586
Z.5.1	Schwefelsäure .....	586
Z.5.2	Ammoniak .....	586
Z.5.2.1	Ammoniak-Synthese .....	586
Z.5.2.2	Verwendung von Ammoniak .....	587
Z.5.3	Alkalichlorid-Elektrolyse – Erzeugung von Cl <sub>2</sub> , NaOH und H <sub>2</sub> .....	587
Z.5.4	Gewinnung von Eisen und Stahl .....	588
Z.6	Industrielle organische Chemie .....	590
Z.6.1	Erdöl .....	590
Z.6.2	Erdgas .....	590
Z.6.3	Kohle .....	590
Z.6.4	Biomasse .....	590
Z.6.5	Olefine .....	591
Z.6.6	Schmier- und Mineralöle .....	592
Z.6.7	Tenside .....	592
Z.6.8	Polymere .....	593
Z.6.8.1	Allgemeines .....	593
Z.6.8.2	Lineare Polyester .....	594
Z.7	Chemische Elemente und ihre Eigenschaften .....	595
<b>Sachverzeichnis .....</b>		<b>615</b>