

Physikalisch-Technisches Taschenbuch

Prof. Dr. Dr. Ekbert Hering

Prof. Dr. Rolf Martin

Prof. Dr. Martin Stohrer

Zweite, verbesserte Auflage

VDI VERLAG

Inhalt

A Mathematik	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	4
A.3 Komplexe Zahlen	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 Differentialrechnung	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 Differentialgleichungen	99
A.18.1 Differentialgleichung $y' = f(x, y)$	99
A.18.2 Lineare Differentialgleichung 1. Ordnung	100
A.18.3 Separierbare Differentialgleichungen	101
A.18.4 Exakte Differentialgleichungen	103
A.18.5 Lineare Differentialgleichung 2. Ordnung	104
A.18.6 Differentialgleichungen 2. Ordnung und Energiesatz	105
A.18.7 Spezielle Differentialgleichungen 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 Fehlerrechnung	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

C Physikalische Größen und Konstanten	124
C.1 Physikalische Basisgrößen und Definitionen	124
C.2 Umrechnungen gebräuchlicher Größen	124
C.3 Naturkonstanten	124
D Kinematik	135
D.1 Eindimensionale Kinematik	135
D.1.1 Geschwindigkeit	135
D.1.2 Beschleunigung	135
D.1.3 Kinematische Diagramme	135
D.1.4 Spezialfälle	136
D.2 Dreidimensionale Kinematik	138
D.2.1 Ortsvektor und Bahnkurve	138
D.2.2 Geschwindigkeitsvektor	138
D.2.3 Beschleunigungsvektor	139
D.2.4 Kreisbewegungen	140
D.2.5 Wurfbewegungen	140
E Dynamik	143
E.1 Grundgesetze der klassischen Mechanik	143
E.1.1 Die Newtonschen Axiome	143
E.1.2 Wechselwirkungskräfte der Mechanik	145
E.2 Dynamik in bewegten Bezugssystemen	148
E.2.1 Geradlinig bewegtes Bezugssystem	148
E.2.2 Gleichförmig rotierende Bezugssysteme	149
E.3 Arbeit, Leistung und Energie	150
E.3.1 Arbeit W	150
E.3.2 Leistung P	150
E.3.3 Energie E	152
E.4 Impuls und Stoßprozesse	153
E.4.1 Systeme materieller Punkte	153
E.4.2 Stoßprozesse	155
E.4.3 Raketengleichung	156
E.5 Drehbewegungen	160
E.5.1 Drehmoment	160
E.5.2 Drehimpuls	161
E.5.3 Dynamisches Grundgesetz der Rotation	162
E.5.4 Arbeit, Leistung und Energie bei der Drehbewegung	163
E.6 Erhaltungssätze der Mechanik	164
E.7 Mechanik starrer Körper	164
E.7.1 Freiheitsgrade und Kinematik	164
E.7.2 Statik	165
E.7.3 Dynamik	167

F Gravitation	170
F.1 Newtonsches Gravitationsgesetz	171
F.2 Gravitationsfeldstärke	171
F.3 Gravitations- oder Hubarbeit	172
F.4 Potentielle Energie der Gravitation	172
F.5 Gravitationspotential	172
F.6 Planetenbewegung	173
F.7 Schwereigenschaften der Erde	176
G Festigkeitslehre	177
G.1 Spannung und Spannungszustand	177
G.2 Verformungsarten	178
G.3 Zugversuch nach DIN 50 145	180
G.4 Elementare Belastungsfälle	181
G.4.1 Biegung	183
G.4.2 Knickung	185
G.4.3 Torsion	186
G.5 Bruchmechanik	186
G.6 Schwingende Beanspruchung	187
G.7 Zeitstandsverhalten	187
G.8 Energie	188
G.9 Härte	189
H Hydro- und Aeromechanik	190
H.1 Ruhende Flüssigkeiten	192
H.1.1 Druck, Kompressibilität, Volumenausdehnung	192
H.1.2 Kolbendruck, Schweredruck und Seitendruck	193
H.1.3 Auftrieb	194
H.1.4 Bestimmung der Dichte	195
H.1.5 Grenzflächeneffekte	195
H.2 Ruhende Gase	197
H.2.1 Druck und Volumen	197
H.2.2 Schweredruck	197
H.3 Strömende Flüssigkeiten und Gase	199
H.3.1 Ideale (reibungsfreie) Strömungen	199
H.3.2 Strömungen realer Flüssigkeiten und Gase	206
H.3.2.1 Laminare Strömung	206
H.3.2.2 Turbulente Strömung	208
H.4 Molekularbewegungen	213
H.4.1 Diffusion	213
H.4.2 Lösungen	213
J Schwingungen und Wellen	214
J.1 Schwingungen	214
J.1.1 Freie ungedämpfte Schwingung	215
J.1.1.1 Grundlagen	215
J.1.1.2 Allgemeine Beschreibung durch eine Differentialgleichung	216
J.1.1.3 Schwingungssysteme	216

J.1.1.4	Gesamtenergie	216
J.1.2	Freie gedämpfte Schwingung	220
J.1.3	Erzwungene Schwingung	223
J.1.3.1	Erzwungene mechanische Schwingung	223
J.1.3.2	Erzwungene elektrische Schwingung	226
J.1.4	Überlagerung von Schwingungen	228
J.1.4.1	Überlagerung in gleicher Raumrichtung und mit gleicher Frequenz	229
J.1.4.2	Überlagerung in gleicher Raumrichtung und mit geringen Frequenzunterschieden (Schwebung)	230
J.1.4.3	Überlagerung in gleicher Raumrichtung und mit großen Frequenzunterschieden	231
J.1.4.4	Überlagerung in gleicher Raumrichtung mit ganzzahligen Frequenzverhältnissen (Fourier-Analyse)	231
J.1.4.5	Überlagerung von Schwingungen in ganzzahligen Frequenzverhältnissen, die senkrecht aufeinanderstehen (Lissajous-Figuren)	233
J.1.5	Gekoppelte Schwingungen	235
J.1.6	Orts- und zeitabhängige Schwinger	235
J.2	Wellen	236
J.2.1	Harmonische Wellen	236
J.2.2	Energietransport	236
J.2.3	Phasengeschwindigkeit	240
J.2.4	Gruppengeschwindigkeit	241
J.2.5	Doppler-Effekt	241
J.2.6	Interferenz	242
K	Akustik	244
K.1	Schallausbreitung	244
K.1.1	Schallfrequenz	244
K.1.2	Schallgeschwindigkeit	244
K.1.3	Schallwellenlänge	246
K.1.4	Schallwiderstand (Schallkennimpedanz)	246
K.1.5	Schalldruck	246
K.1.6	Schallschnelle	247
K.1.7	Energiedichte	248
K.1.8	Schallintensität	248
K.1.9	Schalleistung	248
K.1.10	Dämpfungskoeffizient der Schallabsorption	248
K.2	Schallwandler	249
K.2.1	Schallpegel	250
K.2.2	Gesamtschallpegel	250
K.2.3	Schallfrequenzspektrum, Bandfilter	251
K.3	Schallwelle an Grenzflächen	252
K.3.1	Schallreflexionsgrad	252
K.3.2	Schalltransmissionsgrad	252
K.3.3	Schallabsorptionsgrad	252
K.4	Schalldurchgang durch Trennwände	254
K.4.1	Schalltransmissionsgrad	254
K.4.2	Schalldämmmaß einer Trennwand	254
K.4.3	Spuranpassungs-Schallwellenlänge	255
K.4.4	Spuranpassungsfrequenz	255

K.5	Physiologische Akustik	256
K.5.1	Lautstärke	256
K.5.2	Lautheit	257
K.5.3	A-bewerteter Schallpegel	257
K.5.4	Äquivalenter Dauerschallpegel	257
K.6	Raumakustik	258
K.6.1	Äquivalente Absorptionsfläche	258
K.6.2	Schalleistungspegel des diffusen Schallfeldes	258
K.6.3	Nachhallzeit	258
K.6.4	Hallradius	259
K.7	Technische Akustik und Bauakustik	259
K.7.1	Luftschall-Dämmmaß	259
K.7.2	Norm-Trittschallpegel	259
K.7.3	Körperschall-Isolierungswirkungsgrad	260
K.7.4	Strömungsgeräusche	261
K.8	Ultraschall	263
L Optik		264
L.1	Geometrische Optik	264
L.1.1	Lichtstrahlen und Abbildung	265
L.1.2	Reflexion des Lichtes	265
L.1.2.1	Reflexion an ebenen Flächen	265
L.1.2.2	Reflexion an gekrümmten Flächen	266
L.1.3	Brechung des Lichts	267
L.1.3.1	Brechungsgesetz	267
L.1.3.2	Lichtwellenleiter	268
L.1.3.3	Brechung an Prismen	268
L.1.3.4	Berechnung an Kugelflächen	270
L.1.4	Abbildung durch Linsen	270
L.1.4.1	Dünne Linsen	270
L.1.4.2	Dicke Linsen	271
L.1.4.3	Linsensysteme	273
L.1.5	Blenden	273
L.1.6	Abbildungsfehler	273
L.1.7	Optische Instrumente	273
L.1.7.1	Das menschliche Auge	273
L.1.7.2	Vergrößerungsinstrumente	275
L.1.7.3	Fotoapparat	276
L.2	Fotometrie	277
L.2.1	Strahlungsphysikalische Größen	277
L.2.2	Lichttechnische Größen	279
L.3	Wellenoptik	281
L.3.1	Interferenz und Beugung	281
L.3.1.1	Kohärenz	281
L.3.1.2	Interferenzen an dünnen Schichten	282
L.3.1.3	Interferometer	283
L.3.1.4	Beugung am Spalt	283
L.3.1.5	Auflösungsvermögen optischer Instrumente	283
L.3.1.6	Beugung am Gitter	284
L.3.1.7	Spektralapparate	285

L.3.1.8	Röntgenbeugung an Kristallgittern	285
L.3.1.9	Holografie	286
L.3.2	Polarisation des Lichts	287
L.3.2.1	Polarisationsformen	287
L.3.2.2	Erzeugung von polarisiertem Licht	288
L.3.2.3	Technische Anwendungen der Doppelbrechung	288
L.3.2.4	Optische Aktivität	289
L.4	Quantenoptik	290
L.4.1	Lichtquanten	290
L.4.2	Laser	290
L.4.3	Materiewellen	293
M	Elektrizität und Magnetismus	294
M.1	Elektrisches Feld	296
M.1.1	Elektrische Feldstärke	296
M.1.2	Elektrische Kraft	298
M.1.3	Elektrisches Potential	299
M.1.4	Materie im elektrischen Feld	300
M.2	Gleichstromkreis	306
M.2.1	Stromstärke	306
M.2.2	Elektrische Spannung	306
M.2.3	Widerstand und Leitwert	307
M.2.4	Elektrische Arbeit, elektrische Leistung und Wirkungsgrad	310
M.2.5	Ohmsches Gesetz	311
M.2.6	Elektrische Netze – Kirchhoffsche Regeln	311
M.2.7	Messung von Strom und Spannung	315
M.2.8	Ausgewählte Meßverfahren	315
M.3	Ladungstransport in Flüssigkeiten	317
M.4	Ladungstransport im Vakuum und in Gasen	321
M.4.1	Ladungstransport im Vakuum	321
M.4.2	Stromleitung im Vakuum	322
M.4.3	Stromleitung in Gasen	324
M.5	Magnetisches Feld	325
M.5.1	Beschreibung	325
M.5.2	Magnetische Feldstärke (magnetische Erregung)	325
M.5.3	Magnetische Induktion (Flußdichte)	326
M.5.4	Materie im Magnetfeld	331
M.6	Wechselstromkreis	340
M.6.1	Wechselspannung und Wechselstrom	340
M.6.2	Wechselstromkreis	342
M.6.3	Arbeit und Leistung	346
M.6.4	Transformation von Wechselströmen	347
M.7	Ein- und Ausschaltvorgänge	348
M.7.1	Ein- und Ausschalten eines Kondensators	348
M.7.2	Ein- und Ausschalten einer Spule	349
M.8	Elektrische Maschinen	349
M.9	Elektromagnetische Schwingungen	351
M.9.1	Ungedämpfte elektromagnetische Schwingung	351
M.9.2	Gedämpfte elektromagnetische Schwingung	352

N Nachrichtentechnik	353
N.1 Informationstheorie	353
N.2 Signale und Systeme	353
N.2.1 Zeit- und Frequenzbereich	353
N.2.2 Abtasttheorem	355
N.2.3 Modulation	356
N.2.4 Pegel und Dämpfungsmaß	359
N.2.5 Verzerrungen	360
N.2.6 Rauschen	362
N.3 Nachrichtenübertragung	362
N.3.1 Sender	362
N.3.2 Übertragungsmedium	362
N.3.3 Empfänger	365
O Thermodynamik	366
O.1 Grundlagen	366
O.1.1 Thermodynamische Grundbegriffe	366
O.1.2 Temperatur	367
O.1.3 Thermische Ausdehnung	368
O.1.4 Allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase	369
O.2 Kinetische Gastheorie	370
O.2.1 Gasdruck	370
O.2.2 Thermische Energie und Temperatur	370
O.2.3 Geschwindigkeitsverteilung von Gasmolekülen	371
O.3 Hauptsätze der Thermodynamik	371
O.3.1 Wärme	371
O.3.2 Erster Hauptsatz der Thermodynamik	372
O.3.3 Wärmekapazität idealer Gase	373
O.3.4 Spezielle Zustandsänderungen idealer Gase	375
O.3.5 Kreisprozesse	375
O.3.6 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	378
O.3.7 Thermodynamische Potentiale	383
O.3.8 Dritter Hauptsatz der Thermodynamik	383
O.4 Reale Gase	383
O.4.1 Van-der-Waals'sche Zustandsgleichung	383
O.4.2 Gasverflüssigung (Joule-Thomson-Effekt)	385
O.4.3 Phasenumwandlungen	387
O.4.3.1 Thermodynamisches Gleichgewicht	387
O.4.3.2 Koexistenz dreier Phasen	390
O.4.4 Dämpfe und Luftfeuchtigkeit	390
P Wärme- und Stoffübertragung	392
P.1 Wärmeleitung	392
P.2 Konvektion	397
P.3 Wärmestrahlung	401
P.4 Wärmedurchgang	404
P.5 Stoffübertragung	405

Q Energietechnik	407
Q.1 Energieträger	407
Q.2 Energiewandler	410
Q.3 Energiespeicher	412
Q.4 Energieverbrauch	413
R Umwelttechnik	417
R.1 Abwassertechnik	419
R.1.1 Entstehung von schadstoffbelastetem Abwasser	419
R.1.2 Verminderung der Ausschleppungen	419
R.1.3 Standzeitverlängerung des Wirkbades	419
R.1.4 Spültechnik	420
R.1.5 Kreislaufführung des Spülwassers (Ionenaustauscher)	422
R.1.6 Abwasseraufbereitung (-behandlung)	422
R.2 Reinhaltung der Luft	423
R.2.1 Entstehung von Luftverunreinigungen	424
R.2.2 Auswirkungen von Luftverunreinigungen	424
R.2.3 Primärmaßnahmen der Schadstoffbegrenzung	424
R.2.4 Sekundärmaßnahmen der Schadstoffbegrenzung	424
R.3 Abfallwirtschaft	426
R.3.1 Entstehung von Abfällen	427
R.3.2 Grundsatz der Abfallwirtschaft	427
R.3.3 Primärmaßnahmen der Abfallvermeidung	427
R.3.4 Sekundärmaßnahmen der Abfallvermeidung	427
S Atomphysik	429
S.1 Atombau und Spektren	429
S.2 Systematik des Atombaus	429
S.2.1 Aufbau der Atome	429
S.2.2 Atommasse und Anzahl der Atome	430
S.3 Quantentheorie	430
S.4 Atomhülle	432
S.4.1 Atommodelle	432
S.4.2 Wasserstoff-Atommodell	433
S.4.3 Quantenzahlen	435
S.4.4 Röntgenstrahlung	438
S.5 Molekülspektren	439
S.5.1 Rotations-Schwingungs-Spektren	439
S.5.2 Raman-Effekt	440
S.6 Quanten-Hall-Effekt	441
T Kernphysik	443
T.1 Radioaktiver Zerfall	444
T.1.1 Stabilität des Kerns	444
T.1.2 Zerfall	444

T.2	Dosisgrößen	450
T.3	Strahlenschutz	451
	T.3.1 Wechselwirkung mit Materie (Schwächung)	451
	T.3.2 Dosismeßverfahren	452
	T.3.3 Biologische Wirkung der Strahlung	452
	T.3.4 Schutz vor Strahlenbelastung	452
T.4	Kernreaktionen	463
	T.4.1 Energetik	463
	T.4.2 Wirkungsquerschnitt	464
T.5	Kernfusion	466
T.6	Elementarteilchen	466
	T.6.1 Fundamentale Wechselwirkung	466
	T.6.2 Erhaltungssätze	466
	T.6.3 Einteilung	467
 U Relativitätstheorie		 470
U.1	Relativität des Bezugssystems	470
U.2	Lorentz-Transformation	470
U.3	Relativistische Effekte	471
U.4	Relativistische Dynamik	471
U.5	Relativistische Elektrodynamik	472
U.6	Doppler-Effekt des Lichtes	474
 V Festkörperphysik		 475
V.1	Arten der Kristallbildung	475
V.2	Kristalline Strukturen	476
	V.2.1 Kristallsysteme und dichteste Kugelpackungen	476
	V.2.2 Richtungen und Ebenen im Kristallgitter	476
	V.2.3 Gitterfehler	478
V.3	Makromolekulare Festkörper	479
V.4	Thermodynamik fester Körper	481
	V.4.1 Schwingendes Gitter (Phononen)	481
	V.4.2 Molare und spezifische Wärmekapazität	482
	V.4.3 Wärmeleitfähigkeit	484
 W Metalle und Halbleiter		 485
W.1	Energiebänder	485
W.2	Metalle	485
	W.2.1 Energiezustände und Besetzung	486
	W.2.2 Elektrische Leitung	486
W.3	Halbleiter	487
	W.3.1 Eigenleitung	487
	W.3.2 Störstellenleitung	487
	W.3.3 pn-Übergang	489

W.3.4	Transistor	489
W.3.4.1	Bipolarer Transistor	489
W.3.4.2	Feldeffekt-Transistor (FET)	494
W.4	Supraleitung	499
X	Optoelektronik	503
X.1	Halbleiter-Sender	503
X.1.1	Strahlungsemission aus Halbleitern	504
X.1.2	Lumineszenzdiode	504
X.1.3	Laserdiode	504
X.2	Halbleiter-Detektoren	506
X.2.1	Strahlungsabsorption in Halbleitern	506
X.2.2	Fotowiderstand	506
X.2.3	Fotodiode	507
X.2.4	Solarzelle	507
X.2.5	Fototransistor	508
X.3	Optokoppler	509
Y	Informatik	510
Y.1	Digitaltechnik	510
Y.1.1	Zahlensysteme	510
Y.1.2	Kodes	511
Y.1.3	Logische Verknüpfungen	514
Y.1.4	Digitale Bauelemente	515
Y.1.5	Schaltzeichen	516
Y.1.6	Speicherbauelemente	517
Y.1.7	Mikroprozessoren	518
Y.1.8	Leitungen digitaler Signale	521
Y.1.9	ASIC	522
Y.2	Schnittstellen, Bussysteme und Netzwerke	522
Y.2.1	Schnittstellen	524
Y.2.2	Bussysteme	527
Y.2.3	Netze	528
Y.3	Programmstrukturen	533
Y.4	Datenstrukturen	537
Y.5	Sprachen	540
Y.6	Software-Engineering	541
Z	Chemische Elemente und ihre Eigenschaften	543
	Sachwortverzeichnis	563