

Inhaltsverzeichnis

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 (\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	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	125
C.1	Physikalische Basisgrößen und Definitionen	125
C.2	Umrechnungen gebräuchlicher Größen	125
C.3	Naturkonstanten	125
D	Kinematik	137
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
E	Dynamik	145
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
F	Gravitation	175
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
G	Festigkeitslehre	183
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
H	Hydro- und Aeromechanik	197
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
J	Schwingungen und Wellen	223
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
K	Akustik	255
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.7.4	Strömungsgeräusche	274
K.8	Ultraschall	275
L	Optik	277
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
M	Elektrizität und Magnetismus	309
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

N	Nachrichtentechnik	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
O	Thermodynamik	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

P	Wärme- und Stoffübertragung	415
P.1	Wärmeleitung	415
P.2	Konvektion	420
P.3	Wärmestrahlung	425
P.4	Wärmedurchgang	427
P.5	Stoffübertragung	429
Q	Energietechnik	431
Q.1	Energieträger	431
Q.2	Energiewandler	434
Q.3	Energiespeicher	436
Q.4	Energieverbrauch	438
R	Umwelttechnik	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
S	Atomphysik	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
T	Kernphysik	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
U	Relativitätstheorie	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
V	Festkörperphysik	503
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
W	Metalle und Halbleiter	513
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
X	Optoelektronik	531
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
Y	Informatik	539
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
Z	Technische Chemie	567
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_2 , NaOH und H_2	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
Sachverzeichnis		615