

Inhalt

1	Einleitung (*)	29
1.1	Warum habe ich dieses Lehrbuch geschrieben? (*)	29
1.2	Was möchte ich mit diesem Lehrbuch erreichen? (*)	30
1.3	Für wen habe ich dieses Lehrbuch geschrieben? (*)	32
1.4	Nach welchen Kriterien habe ich die Inhalte ausgewählt? (*)	32
1.5	Hinweise zum Umgang mit diesem Lehrbuch (*)	34
1.6	Danksagungen (*)	39
1.7	Kennzeichnungen (-)	41
1.8	Abkürzungen (-)	47
2	Die besondere Denkweise des Physikers (*)	51
2.1	Größen und Einheiten (*)	51
2.2	Gesetze und Modelle (*)	57
2.3	Das Experiment: Zentrum wissenschaftlicher Arbeit (*)	63
2.4	Bilanzen und Erhaltungssätze (*)	65
2.5	Mathematik - die Muttersprache des Physikers (*)	68
2.6	Systeme und deren Umgebungen (*)	72
2.6.1	Begriffs-Definitionen (*)	72
2.6.2	Rückgekoppelte Systeme (*)	73
2.7	Tipps, Tricks und Spezialitäten (*)	76
2.7.1	Der Umgang mit dimensionsbehafteten Gleichungen (*)	76
2.7.2	Richtiges Publizieren und Patentieren (*)	77
2.7.3	Die Arbeitsteilung von öffentlicher und industrieller Forschung (-)	82
2.7.4	Fehlerrechnung (*)	86
	Zufällige Fehler (*)	87
	Systematische Fehler (*)	90
	Fehlerfortpflanzung (*)	90
	Testverfahren (-/-)	93
2.8	Aufgaben (-)	93
2.9	Zahlenwerte (-)	93
2.10	Literatur (-)	94

3	Mechanik - aller Anfang ist schwer (-)	97
3.1	Mathematische Grundlagen der Mechanik (-)	98
3.1.1	Elementare Geometrie (-)	99
	Elementar-Geometrie von Gerade, Dreieck, Kreis und Ellipse (-)	99
	Trigonometrie der Ebene (*)	105
	Hyperbelfunktionen (*)	109
	Projektion, Richtungen, Richtungskosinus (-)	112
	Orthogonale Abbildungen (-/-)	114
3.1.2	Die Fundamente der modernen Mathematik (-)	114
	Mathematische Logik (-)	115
	Techniken der Beweisführung (-)	116
	Mengentheoretische Grundbegriffe (*)	117
	Abbildung von Mengen (-)	119
	Grundbegriffe der Topologie (-)	120
	Grundbegriffe der Algebra (*)	122
3.1.3	Der konstruktive Aufbau der reellen Zahlen (*)	124
3.1.4	Auf dem \mathfrak{R}^1 definierte Funktionen (*)	130
3.1.5	Die Ableitung einer Funktion (*)	131
3.1.6	Die Integration einer Funktion (*)	133
3.1.7	Reihenentwicklung von Funktionen (-)	137
	Potenzreihen (-)	137
	Unbestimmte Ausdrücke (-)	139
	Fourier-Reihen (-)	141
3.1.8	Analysis von Funktionen mehrerer Veränderlicher (-)	145
	Die Differenziation von Funktionen mehrerer unabhängiger Variablen (-)	145
	Die Integration von Funktionen mehrerer unabhängiger Variablen (-/-)	147
	Differenzialgleichungen (-/-)	147
3.1.9	Vektoralgebra (-)	147
3.1.10	Vektoranalysis (-)	149
	Ströme und Dichten skalarer Größen (-)	149
	Gewöhnliche Differenzial-Operatoren (-)	152
	Operatoren für höhere Ableitungen (-)	157
	Integration vektorieller Größen (-/-)	158
	Mathematische Feldtheorie (-)	158
	Das Feldlinien-Konzept (*)	162
3.1.11	Tensoren (-/-)	163
3.1.12	Die Berechnung von Extremwerten (-)	164
	Extremwerte von Funktionen einer Veränderlichen (-)	165
	Extremwerte von Funktionen mehrerer Variablen (-/-)	166
	Variationsrechnung (-/-)	166

3.1.13	Koordinatensysteme (-)	166
	Das kartesische Koordinatensystem (-)	167
	Das Zylinderkoordinatensystem (-)	168
	Das räumliche Polarkoordinatensystem (-)	169
	Astronomische Koordinatensysteme (-)	170
3.2	Geometrische Mechanik (-)	173
3.2.1	Ort und Bewegung von Körpern (-)	173
3.2.2	Bewegung starrer Körper (-)	175
3.2.3	Periodische Bewegungen (-)	177
3.2.4	Ebene periodische Bewegungen (-)	178
3.2.5	Zentralbewegungen (-)	181
3.2.6	Die Keplerschen Gesetze (-)	182
3.2.7	Die Ursache von Bewegungen (*)	184
3.2.8	Die Relativitätsprinzipien des Anschauungsraums (*)	191
3.2.9	Die Vereinheitlichung von Raum und Zeit (*)	193
	Die Experimente von Michelson und Morley (*)	194
	Die Lorentz-Transformation (*)	195
3.2.10	Die wichtigsten Aussagen der speziellen Relativitätstheorie (-)	199
	Der Abstand von Ereignissen (*)	199
	Die Zeitdilatation (*)	202
	Die Lorentz-Kontraktion (*)	203
	Die Transformation von Geschwindigkeiten (-)	205
	Der Doppler-Effekt (*)	206
	Der Minkowski-Raum (-/-)	213
	Der Abgleich physikalischer Theorien mit der Relativitätstheorie (*)	213
	Anmerkungen zur Historie der Relativitätstheorie (*)	214
3.2.11	Die Gravitation (-)	216
	Das Gravitationsfeld einer Punktmasse (-)	217
	Gravitationsfeld räumlich ausgedehnter Massenverteilungen (*)	219
	Gravitationseffekte auf räumlich ausgedehnte Körper / Gezeiten (-)	227
	Schwere und träge Masse (*)	228
3.2.12	Beschleunigte Bezugssysteme (-/-)	230
	Bewegungen in einem rotierenden Bezugssystem (-/-)	230
3.2.13	Grundzüge der allgemeinen Relativitätstheorie (-/-)	230
3.3	Dynamische Mechanik (-)	231
3.3.1	Systeme, Variablen, Zustände (*)	231
3.3.2	Energie, Energieformen (*)	232
3.3.3	Die Energieform Translationsenergie (*)	233
3.3.4	Die Energieform Rotationsenergie (-)	237
3.3.5	Die Energieform Lageenergie (*)	239

3.3.6	Die Energieform Ladungsenergie (-)	241
3.3.7	Die Energieform Volumenenergie (-)	243
3.3.8	Erhaltungssätze (-)	244
3.3.9	Die Gravitationsenergie (-)	245
3.3.10	Energie-Reservoirs / Gibbs-Funktionen / Homogenität (*)	248
3.3.11	Austauschprozesse / Gleichgewicht (-)	252
3.3.12	Die Bewegungsgleichungen physikalischer Systeme (-)	254
3.3.13	Relativistische Mechanik (-)	255
3.3.14	Hydrostatik (-)	259
	Der Auftrieb (-)	260
	Der Druck in einer kugelsymmetrischen Massenverteilung (-/-)	261
3.3.15	Strömungsmechanik (-/-)	262
	Laminare reibungsfreie Strömungen (-/-)	262
	Periodische Strömungen (-/-)	262
3.4	Messung mechanischer Größen (-)	263
3.4.1	Die Längenmessung (-)	263
	Historische Entwicklung in der Längenmessung (-)	266
3.4.2	Die Zeitmessung (-)	268
	Historische Entwicklung in der Zeitmessung (-)	270
3.4.3	Die Messung von Winkeln und Richtungen (-)	271
3.4.4	Die Messung von Geschwindigkeiten (-)	271
	Historische Entwicklung in der Geschwindigkeitsmessung (-/-)	273
3.4.5	Die Massenbestimmung (-)	273
	Historische Entwicklung in der Massenbestimmung (-/-)	274
3.4.6	Messung von Energie und Impuls (-/-)	274
3.5	Mechanik des täglichen Lebens (-)	275
3.5.1	Die astronomischen Grundlagen unseres Kalenders (-)	275
3.5.2	Die Gesetzmäßigkeiten des Sonnenstands (-)	278
	Der Tageshöchststand der Sonne zur Sonnenwende (-)	279
	Jahreszeitliche Variationen des Sonnenhöchststands (-)	282
	Tageszeitliche Variationen des Sonnenstandes (-)	285
3.5.3	Die Mondphasen (-)	286
3.5.4	Transit-Konstellationen von Himmelsobjekten (-)	287
3.5.5	Navigation (-)	292
	Die Sonnen-Navigation (-)	292
	Die Stern-Navigation (-)	294
	Die Satelliten-Navigation (-/-)	297
3.5.6	Die Gesetzmäßigkeiten von Ebbe und Flut (-/-)	297
3.5.7	Mechanische Maschinen (-)	298
3.5.8	Die Verteilung von Gasen in der Atmosphäre (-)	299
3.5.9	Windkraftanlagen (-/-)	300
3.5.10	Segeln (-)	300

	Die verschiedenen Segeltypen (-)	301
	Die Segelkräfte (-)	303
	Die Umströmung des Schiffskörpers (-)	305
	Die Krängung des Schiffskörpers (-/-)	306
	Die Steuerung des Schiffs (-/-)	306
	Die verschiedenen Kurse eines Segelschiffs (-/-)	306
3.5.11	Musik, Musikinstrumente (-)	307
	Das menschliche Ohr (-/-)	307
	Töne, Klänge, Melodien (-)	307
	Tonleitern, Stimmungen (-)	310
	Ton-Kennzeichnung, Notenschreibungen (*)	313
	Das Basiskonzept eines Musik-Instrumentes (-)	316
	Blas-Instrumente (-)	317
	Saiten-Instrumente (-)	319
3.6	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	321
3.6.1	Umgang mit partiellen Ableitungen (*)	321
3.6.2	Der Vektorbegriff in der Mathematik und in der Physik (-/-)	322
3.6.3	Parameterdarstellung von Funktionen (-/-)	322
3.6.4	Unser Planetensystem (-)	323
3.6.5	Extensive Größen und deren Ströme in der Ökonomie (-/-)	325
	Die doppelte Buchführung (-)	326
3.7	Aufgaben (-)	328
3.8	Zahlenwerte (-/-)	330
3.9	Literatur (-)	331
4	Elektrostatik - Basis von Blitz und Fax (-)	333
4.1	Komplexe Zahlen und Funktionen (-)	334
4.1.1	Algebra der komplexen Zahlen (*)	334
4.1.2	Die Ableitung komplexer Funktionen (*)	340
4.1.3	Die Integration komplexer Funktionen (*)	343
4.1.4	Die Singularitäten komplexer Funktionen (-/-)	347
4.2	Mathematische Grundlagen des System-Response (-)	348
4.2.1	Linear Response, Suszeptibilität (*)	348
4.2.2	Nicht-instantaner Linear Response (*)	348
4.2.3	Frequenzabhängigkeit der linearen Suszeptibilität (*)	350
4.2.4	Suszeptibilität einfacher Modellsysteme (-)	354
4.2.5	Systemantwort auf eine Sprungfunktion (-)	355
4.2.6	Nichtlineare Response-Funktionen (-/-)	357
4.2.7	Komplexwertige physikalische Größen (-)	357
	Darstellung von harmonischen Schwingungen (-)	357
	Komplexwertige Frequenzen (-)	361
	Komplexwertige Suszeptibilität (-)	362

	Zusammenfassende Wertung (-)	362
4.3	Grundfakten der Elektrostatik (-)	363
4.3.1	Die Energieform elektrische Energie (*)	364
4.3.2	Das elektrische Feld einer Punktladung (-)	367
4.3.3	Elektrostatische Felder beliebiger Ladungsverteilungen (-)	370
4.3.4	Die elektrische Feldenergie (-)	373
4.3.5	Reibungselektrizität (-)	374
	Experimentelle Grundphänomene der Reibungselektrizität (-)	374
	Physikalische Deutung der Reibungselektrizität (-)	375
4.3.6	Gasentladungen (-/-)	377
4.4	Materie im elektrischen Feld (-)	377
4.4.1	Ladungsverteilung in leitenden Materialien (-)	378
4.4.2	Das Gesamtsystem aus Materie und elektrischem Feld (-)	380
	Das materiegefüllte homogene Feld (-)	382
	Ellipsoide im homogenen Feld (-/-)	387
4.4.3	Dielektrische Materialien (-)	387
4.4.4	Ferro-elektrische Materialien (-/-)	391
4.4.5	Die dielektrische Funktion (-)	391
4.4.6	Nichtlineare Polarisation (-/-)	392
4.5	Nicht-elektrisch induzierte Polarisation (-)	392
4.5.1	Der Piezo-Effekt (-)	392
4.5.2	Die Pyro-Elektrizität (-/-)	393
4.6	Messung elektrostatischer Größen (-/-)	393
4.7	Elektrostatik des täglichen Lebens (-/-)	394
4.7.1	Der elektrostatische Kopierer (-)	394
4.7.2	Elektrostatik der Erdatmosphäre (-/-)	395
4.7.3	Elektrostatische Probleme in Produktionsbetrieben (-/-)	396
	Staubexplosionen (-/-)	397
	Elektrostatische Aufladung schnell laufender Maschinenteile (-/-)	397
4.8	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	397
4.8.1	Nutzen und Grenzen der Fourier-Darstellung von Suszeptibilitätsfunktionen (-/-)	397
4.9	Aufgaben (-)	398
4.10	Zahlenwerte (-/-)	398
4.11	Literatur (-)	398
5	Magnetostatik - das Kraftpaket (-)	401
5.1	Die Grundfakten der Magnetostatik (-)	401
5.1.1	Die Energieform magnetische Energie (-)	402
5.1.2	Das magnetische Feld (-)	403
5.1.3	Die magnetische Feldenergie (-)	405

5.2	Materie im magnetischen Feld (-)	406
5.2.1	Das Gesamtsystem aus Materie und magnetischem Feld (-)	406
5.2.2	Diamagnetische Materialien (-)	410
5.2.3	Paramagnetische Materialien (-/-)	411
5.2.4	Ferromagnetische Materialien (-/-)	412
5.3	Messung magnetischer Größen (-/-)	412
5.4	Magnetostatik des täglichen Lebens (-/-)	412
5.5	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	412
5.6	Aufgaben (-/-)	412
5.7	Zahlenwerte (-/-)	412
5.8	Literatur (-/-)	412
6	Elektrodynamik - Maxwells Lebenswerk (-)	415
6.1	Die Verknüpfung von elektrischen und magnetischen Effekten (*)	415
6.1.1	Die magnetische Erzeugung elektrischer Felder (*)	415
6.1.2	Die elektrische Erzeugung magnetischer Felder (-)	417
6.1.3	Selbstinduktion / Induktivität (-)	422
6.1.4	Die Lorentz-Kraft (-)	423
6.1.5	Feldtheoretische Formulierung der elektrodynamischen Gesetze (-)	426
6.1.6	Relativistische Elektrodynamik (-/-)	430
6.2	Die periodischen Lösungen der Maxwell-Gleichungen (-/-)	431
6.2.1	Die Wellengleichung des elektromagnetischen Feldes (-/-)	431
6.2.2	Die Lösungen der Wellengleichung (-/-)	432
6.3	Messung elektrodynamischer Größen (-/-)	432
6.4	Elektrodynamik des täglichen Lebens (-/-)	432
6.5	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	432
6.6	Aufgaben (-/-)	432
6.7	Zahlenwerte (-/-)	432
6.8	Literatur (-/-)	433
7	Quantenmechanik - Revolution des physikalischen Weltbildes (-)	435
7.1	Teilchen und Wellen im Bild der klassischen Physik (*)	436
7.2	Die entscheidenden experimentellen Fakten (*)	438
7.2.1	Quantisierung ruhemasseloser Strahlung (*)	438
7.2.2	Interferenz ruhemasse-behafteter Teilchen (*)	440
7.2.3	Die Stabilität der Atome (*)	441
7.2.4	Die statistische Natur physikalischer Meßergebnisse (*)	443
7.2.5	Die Unschärferelation (-)	444
7.2.6	Der Tunneleffekt (*)	445
7.2.7	Die Ununterscheidbarkeit identischer Teilchen (*)	446
7.2.8	Das Korrespondenzprinzip (*)	448

7.3	Die Grundstruktur der Quantenmechanik (*)	448
7.4	Mathematische Strukturen der Quantenmechanik (*)	461
7.4.1	Vektorräume (*)	462
7.4.2	Lineare Unabhängigkeit / Definition einer Basis (*)	463
7.4.3	Die Determinante einer Matrix (-/-)	466
7.4.4	Untervektorräume (-)	466
7.4.5	Norm / Skalarprodukt / Vollständigkeit / Orthogonalität (*)	467
7.4.6	Funktionen-Räume (-)	471
	Die Hermite-Polynome (-/-)	472
	Die Legendre-Polynome (-/-)	473
	Die Exponential-Funktionen (-/-)	473
7.4.7	Operatoren / Eigenvektoren / Hermitizität (-)	473
7.4.8	Verknüpfung von Operatoren (-)	477
7.4.9	Diagonalisierung von Operatoren (-/-)	479
7.4.10	Wahrscheinlichkeitsrechnung und Maßtheorie (*)	479
	Das Lebegue-Integral (-/-)	479
	Historische Entwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie (*)	480
	Das axiomatische Konzept der Wahrscheinlichkeitstheorie (*)	481
	Zufallsgrößen / Verteilungsfunktion / Wahrscheinlichkeitsdichte (*)	482
	Transformation von Zufallsgrößen (-)	485
	Erwartungswert und höhere Momente (*)	486
	Korrelationsfunktionen (-/-)	487
	Die Dichte extensiver physikalischer Größen (-)	487
	Die Grundbegriffe der Kombinatorik (*)	488
	Einige konkrete Wahrscheinlichkeitsverteilungen (*)	491
7.5	Die konsistente Formulierung der Quantenmechanik (-)	495
7.6	Darstellungsarten der Quantenmechanik (-/-)	497
7.6.1	Darstellung der Zustände als Funktionen im Ortsraum (Schrödinger-Darstellung) (-/-)	497
7.6.2	Darstellung der Zustände über die Eigenzustände einer diskret verteilten Observablen (Heisenberg-Darstellung) (-/-)	497
7.7	Die wichtigsten Operatoren (-/-)	497
7.7.1	Der Orts-Operator (-/-)	497
7.7.2	Der Impuls-Operator (-/-)	498
7.7.3	Der Drehimpuls-Operator (-/-)	498
7.7.4	Der Energie-Operator (-/-)	498
7.7.5	Der Operator für das magnetische Moment (-/-)	498
7.7.6	Der Spin-Operator (-/-)	498
7.7.7	Der Teilchenzahl-Operator (-/-)	498
7.7.8	Die Operatoren für Ströme extensiver Größen (-/-)	499
7.8	Anwendungsbeispiele (-/-)	499

7.8.1	2-Zustands-Systeme (-/-)	499
7.8.2	Der harmonische Oszillator (-/-)	499
7.8.3	Das wechselwirkungsfreie Teilchen (-/-)	499
7.8.4	Das Teilchen im Potenzialtopf (-/-)	500
7.8.5	Das Elektron im Coulombfeld (-/-)	500
7.8.6	Das elektromagnetische Strahlungsfeld (-/-)	500
7.9	Der quasi-klassische Grenzfall (-/-)	500
7.10	Faktorisierende Systeme / 2. Quantisierung (-)	500
7.10.1	Wechselwirkungsfreie Untersysteme (-)	500
7.10.2	Systeme aus identischen Teilchen (-)	501
7.10.3	Die 2. Quantisierung (-)	506
7.11	Quantenmechanische Störungstheorie (-)	508
7.11.1	Die zeitunabhängige Störung eines nicht entarteten Systems (-)	509
7.11.2	Die Störungstheorie eines entarteten Systems (-)	511
7.11.3	Die zeitabhängige Störungstheorie / Berechnung von Übergangswahrscheinlichkeiten (-/-)	512
7.11.4	Streutheorie (-/-)	512
7.12	Anwendungen der Störungstheorie (-/-)	512
7.12.1	Das Elektronensystem der Atome (-/-)	513
7.12.2	Quantenmechanik der chemischen Bindung (-/-)	513
7.12.3	Strahlungs-Emission und -Absorption (-/-)	513
7.12.4	Der Raman-Effekt (-/-)	513
7.13	Quantenfeldtheorie (-/-)	513
7.14	Makroskopische quantenmechanische Systeme (-/-)	513
7.14.1	Das Bose-Einstein-Kondensat (-/-)	513
7.14.2	Die Supraleitung (-/-)	514
7.14.3	Die Suprafluidität (-/-)	514
7.15	Aktuelle Fragen der Quantenmechanik (-/-)	514
7.16	Quantenmechanik des täglichen Lebens (-/-)	514
7.16.1	Physik der Atomkerne (-)	514
	Systematik der Atomkern-Stabilität (-)	514
	Physik des Kernspaltungs-Reaktors und der Kernspaltungs-Bombe (-/-)	516
	Physik des Kernfusions-Reaktors und der H-Bombe (-/-)	517
	Einheiten für die Messung radioaktiver Strahlung (-/-)	517
7.16.2	Wechselwirkung zwischen Kommunikations-Strahlung und Materie (-/-)	517
7.16.3	Die Wasserstoffbrücken-Bindung (-/-)	517
7.17	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	517
7.17.1	Der Umgang mit Wahrscheinlichkeitsgrößen (-)	517
7.17.2	Abschätzungen mit Hilfe von Mittelwerten (-)	518
7.18	Aufgaben (-)	519

7.19	Zahlenwerte (-/-)	520
7.20	Literatur (-)	520
8	Thermodynamik - Verknüpfung von Mikro- und Makro-Kosmos (*)	523
8.1	Phänomenologische Gleichgewichts-Thermodynamik (*)	524
8.1.1	Die Energieform thermische Energie (*)	525
8.1.2	Die Energieform chemische Energie (-)	526
8.1.3	Energie-Umwandlungen (*)	527
8.1.4	2 Hauptsätze der Thermodynamik (*)	530
8.1.5	Energieartige Gibbs-Funktionen (*)	531
8.1.6	Entropieartige Gibbs-Funktionen (*)	533
8.1.7	Isotherme Austauschprozesse (-)	533
8.1.8	Chemische Reaktionen (-)	535
8.1.9	Materialparameter (*)	536
	Die Wärmekapazität (-)	537
	Die thermische Ausdehnung (-)	539
	Volumenänderungen (-)	539
8.1.10	Zustandsgleichungen (*)	542
8.1.11	Ideale Gase (*)	545
8.1.12	Reale Gase / van-der-Waals-Gleichung (-)	549
8.1.13	Phasen, Phasengrenzen, Stabilität (*)	550
8.1.14	Koexistenz von Phasen (*)	555
8.1.15	Lösungen (*)	559
8.1.16	Phasendiagramme, Phasenübergänge (*)	560
8.1.17	Innere Variablen, Phasenübergänge 2. Art (-)	566
8.1.18	Die Energieform Grenzflächenenergie (-)	569
8.2	Thermodynamik der dissipativen Ströme (-/-)	574
8.2.1	Transportkoeffizienten (-/-)	575
8.2.2	Wärmeleitung (-/-)	575
8.2.3	Diffusion von Materie (-/-)	575
8.2.4	Irreversible Strömungsmechanik (-/-)	575
	Laminare Strömungen (-/-)	575
	Turbulente Strömungen (-/-)	575
8.2.5	Stationäre elektrische Ströme (-/-)	575
8.3	Elektrochemie (-)	575
8.3.1	Die Energieform elektrochemische Energie (-)	576
8.3.2	Der Elektrolyt (-/-)	577
8.3.3	Prozesse an Kontakten und Membranen (-/-)	579
8.4	Statistische Thermodynamik (*)	580
8.4.1	Mikro- und Makrozustände (*)	581
8.4.2	Thermischer Kontakt / Gleichgewicht / Entropie (*)	584
8.4.3	Der Nullpunkt der Entropie (*)	587

8.4.4	Weitere Austauschprozesse (*)	588
8.4.5	Entropie-Reservoir / Boltzmannfaktor / Zustandssumme (*)	590
8.4.6	Die großkanonische Zustandssumme (*)	593
8.4.7	Vielteilchen-Systeme aus wechselwirkungsfreien Teilchen (*) .	595
	Das ideale Fermi-Gas (*)	596
	Das ideale Bose-Gas (*)	598
	Die Näherung des klassischen idealen Gases (-/-)	599
	Das entartete Fermi-Gas (-/-)	599
	Das entartete Bose-Gas (-/-)	599
8.4.8	Statistische Thermodynamik der Phasentübergänge (-/-)	600
8.4.9	Statistische Thermodynamik der Phasentübergänge (-/-)	600
8.4.10	Theorie der Fluktuationen (-/-)	600
8.5	Thermodynamik der elektromagnetischen Strahlung (-)	600
8.5.1	Das Photonengas im thermodynamischen Gleichgewicht (*) . .	601
8.5.2	Strahlungsemission und -absorption (*)	604
8.5.3	Aktuelle Fragen der Strahlungs-Thermodynamik (-/-)	610
8.6	Messung thermodynamischer Größen (-/-)	610
8.7	Thermodynamik des täglichen Lebens (-)	611
8.7.1	Wärmetransport durch Leitung, Konvektion und Strahlung (-)	611
8.7.2	Das Wasser (-)	613
8.7.3	Das Feuer (-)	615
8.7.4	Die Gebäudetemperierung (-)	617
8.7.5	Wärme- und Kältemaschinen (-)	619
8.7.6	Kühlmaschinen und Wärmepumpen (-)	626
8.7.7	Elektrochemie des täglichen Lebens (-/-)	631
8.7.8	Thermodynamik der Energieeinsparung (-)	632
	Technische Vor- und Nachteile der verschiedenen Energieformen	
	(-)	632
	Das Konzept der Exergie (-)	638
	Exergie-orientierte Strukturierung der Energieversorgung (-/-)	640
8.8	Das Klima der Erde (-)	641
8.8.1	Strahlungsbilanz der Planeten / Treibhauseffekt (-)	641
	Die Strahlungsbilanz eines Planeten (-)	643
	Der Treibhauseffekt (-)	648
	Erste Schlussfolgerungen (-)	650
8.8.2	Ein einfaches Modell des globalen Klimas (-)	651
	Das lokale Klimamodell ohne Wärmespeicher (-)	651
	Das lokale Klima-Modell mit Wärmespeicher (-)	655
	Das 1-dimensionale globale Klima-Modell (-)	661
8.8.3	Globale thermische Ausgleichsströme / das globale Klima (-) .	665
	Die Struktur der Erd-Atmosphäre (-)	666
	Wolken (-)	671

	Atmosphärische Prozesse des Wärmetransports (-)	672
	Wärmetransport durch Meeresströmungen (-)	682
	Jahres- und Tageszeit-Effekte (-/-)	686
	Lokale Tiefdruck- und Hochdruck-Gebiete (-/-)	686
	Typische globale Wettersituationen (-/-)	686
	Der Wasserhaushalt auf dem Festland (-)	686
8.8.4	Globale Klimaveränderungen (-)	689
	Historischer Abriss des Erdklimas (-)	689
	Der Zusammenhang zwischen Gaskonzentration und Treibhaus- effekt (-/-)	698
	Der globale CO_2 -Kreislauf (-/-)	698
	Die Land/Meerverteilung (-)	699
	Die Milanković-Zyklen (-)	701
	Rückkopplungen im Klima-System der Erde (-)	702
8.8.5	Eine Deutungs-Hypothese des globalen Klimas (-)	708
	Die frühe Erwärmung der Erde im Archaikum (-)	711
	Die Eiszeiten der frühen Erde (-)	712
	Das Eiszeitalter des Pleistozäns (-)	713
	Das Klima im Holozän (-)	714
	Zusammenfassende Schlussfolgerungen (-)	715
	Chancen einer positiven antropogenen Beeinflussung des glob- alen Klimas (-/-)	718
8.9	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	718
8.9.1	Alltags-Probleme beim Umgang mit thermischen Begriffen (-)	719
8.9.2	Die Analogie von Wärmeleitung und elektrischem Strom (-/-)	720
8.9.3	Einige energietechnische Vorurteile (-)	721
	Geographische Grenzen für die Einsetzbarkeit der Photovoltaik (-/-)	721
	Die ROE-Zeit von Windkraftanlagen (-)	722
	Bio-Treibstoff (-)	723
8.9.4	Meerwasser-Entsalzung (-/-)	724
8.10	Aufgaben (-)	724
8.11	Zahlenwerte (-/-)	727
8.12	Literatur (-)	729
9	Kristallphysik - Dominanz der Symmetrie (-/-)	733
9.1	Der 3D-symmetrische Festkörper (-/-)	733
9.1.1	Die wichtigsten Kristallklassen (-/-)	734
9.1.2	Langreichweitige und kurzreichweitige Ordnung (-/-)	734
9.2	Das Konzept der elementaren Anregungen (-)	734
9.3	Anregungen des Gittersystems (-/-)	735
9.4	Anregungen des Elektronensystems (-/-)	735

9.5	Kristall-Kontakte (-/-)	735
9.6	Wechselwirkungen zwischen Gitter- und Elektronensystem (-/-)	736
9.7	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	736
9.8	Aufgaben (-/-)	736
9.9	Zahlenwerte (-/-)	736
9.10	Literatur (-/-)	736
10	Elementarteilchen, Kosmologie - Physik ganz klein und ganz groß	
	(-/-)	737
10.1	Physik der Elementarteilchen (-/-)	737
10.2	Astronomie (-/-)	737
10.2.1	Physik der Stern-Entwicklung (-/-)	737
10.2.2	Die Entwicklung von Planetensystemen (-/-)	737
10.2.3	Physik der Planeten (-/-)	738
10.2.4	Physik unserer Erde (-)	738
	Die Schalenstruktur des Erdinneren (-)	739
	Die Wärmebilanz des Erdinneren (-)	742
	Kontinentalverschiebung / Plattentektonik (-)	745
10.2.5	Exotische Himmelskörper (-/-)	747
10.2.6	Galaxien (-/-)	747
10.3	Kosmologie (-/-)	747
10.3.1	Die Unsymmetrie von Materie und Antimaterie (-/-)	747
10.3.2	Die Raum-Zeit-Entwicklung des Kosmos (-/-)	748
10.3.3	Die 3 · K-Hintergrundstrahlung (-/-)	749
10.3.4	Dunkle Materie und dunkle Energie (-/-)	749
10.3.5	Aktueller Kenntnisstand der Kosmologie (-/-)	750
10.4	Elementarteilchentheorie und Kosmologie des täglichen Lebens	750
10.5	Messung astronomischer und kosmologischer Größen (-/-)	750
10.5.1	Entfernungsmessungen (-/-)	750
10.5.2	Altersbestimmungen (-/-)	751
10.5.3	Spezielle Verfahren zur Bestimmung weiterer Kenndaten (-/-)	751
10.5.4	Der Nachweis extrasolarer Planeten (-/-)	751
10.6	Aufgaben (-/-)	751
10.7	Zahlenwerte (-/-)	751
10.8	Literatur (-/-)	752
11	Optik - Schwerpunkt aktueller Forschung (-)	753
11.1	Grundfakten der Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung (-)	755
11.1.1	Das Superpositionsprinzip (-)	755
11.1.2	Beugung und Interferenz (-/-)	756
11.1.3	Die Polarisierung (-)	756
11.1.4	Die Prinzipien von Huygens und Fermat (-)	758

11.1.5	Die Kohärenz elektromagnetischer Strahlung (-)	760
11.1.6	Die Näherung der geometrischen Optik (-/-)	761
11.2	Lineares optisches Materialverhalten (-)	761
11.2.1	Reflexion und Brechung (*)	762
11.2.2	Absorption, Streuung, Fluoreszenz (*)	770
11.2.3	Reflexion und Brechung in absorbierenden Medien (-/-)	775
11.3	Polarisations-spezifisches Materialverhalten (-)	775
11.3.1	Dichroismus (-)	775
11.3.2	Doppelbrechung (-/-)	776
11.3.3	Die Response-Funktion polarisationsverändernder Materialien (-/-)	777
11.3.4	Optische Drehung (-)	777
11.4	Feld-induziertes polarisationsabhängiges Verhalten (-/-)	779
11.4.1	Kerr-Effekt (-/-)	779
11.4.2	Faraday-Effekt (-/-)t	779
11.4.3	Pockels-Effekt (-/-)	779
11.5	Nichtlineares optisches Materialverhalten (-/-)	779
11.6	Passive optische Elemente (-)	780
11.6.1	Materialien für optische Elemente (-)	780
11.6.2	Linsen (*)	781
11.6.3	Spiegel (-)	789
11.6.4	Prismen (-/-)	791
11.6.5	Gitter (-/-)	791
11.6.6	Optische Fasern (-)	791
11.6.7	Blenden (*)	792
11.6.8	Filter (-)	793
11.6.9	Die Ulbricht-Kugel (-)	794
11.6.10	Optisch-diffraktive Elemente (-/-)	795
11.6.11	Polarisationsspezifische Elemente (-/-)	795
	Polarisationsfilter (-/-)	795
	Akusto-optische Modulatoren (AOM) (-/-)	795
11.6.12	Mikrostrukturierte Oberflächen (-/-)	795
11.7	Physikalische Einheiten der optischen Strahlung (-)	796
11.7.1	Einheiten der Strahlungsemission (*)	797
11.7.2	Einheiten der Bestrahlung (-)	801
11.7.3	Spektrale Gewichtung optischer Strahlung (*)	803
11.7.4	Zusammenfassende Darstellung (-)	804
11.8	Optische Strahlungsquellen (-)	806
11.8.1	Idealisierte Strahlungsquellen (*)	808
11.8.2	Thermische Strahler (*)	809
11.8.3	Gasentladungslampen (-/-)	812
11.8.4	Licht emittierende Dioden (LEDs) (-/-)	812

11.8.5	Laser (-/-)	812
11.9	Strahlungsdetektoren (-)	812
11.9.1	Lineare und logarithmische Strahlungsdetektion (*)	814
11.9.2	Halbleiter-Photodioden (-/-)	815
11.9.3	CCD-Chips (-)	815
11.9.4	Photomultiplier / Multichannel Plates (-)	816
11.9.5	Avalanche-Photodioden (-/-)	819
11.10	Grundlagen des optischen Gerätebaus (*)	819
11.10.1	Das Zusammenspiel von Beleuchtung und Abbildung (*)	821
11.10.2	Geometrische Abbildung und Fouriertransformation (-/-)	824
11.10.3	Gesetzmäßigkeiten des Strahlungsstroms (*)	824
11.10.4	Kontrastmechanismen abbildender optischer Geräte (-)	826
	Absorptionskontrast (-)	826
	Streuungskontrast (-)	827
	Kontrast durch inelastische Streuung (-)	828
	Phasenkontrast (-)	829
	Polarisationskontrast (-)	829
	Interferenzkontrast (-/-)	830
11.10.5	Die Bearbeitung optischer Bauelemente (-/-)	830
11.10.6	Signaldynamik optischer Systeme (*)	830
11.10.7	Zuverlässigkeit von Messgeräten (*)	832
11.11	Einige optische Geräte (-)	835
11.11.1	Relais-Optik / Diapositiv-Projektor (*)	835
11.11.2	Die sequentielle Relais-Optik (*)	835
11.11.3	Das Photometer (*)	836
11.11.4	Scannende Abbildungsgeräte (-)	840
	Das Rasterelektronenmikroskop (-/-)	840
	Das Rastertunnelmikroskop (-/-)	840
	Das konfokale Laserscanning-Mikroskop (*)	841
11.11.5	Tomographische Verfahren der Bilderzeugung (-/-)	844
	Das Prinzip der tomographischen Bilderzeugung (-/-)	845
	Die Elektronenmikroskopische Tomographie (-/-)	845
	Die Optische Kohärenz-Tomographie (OCT) (-/-)	845
	Die Kernspin-Tomographie (-/-)	845
	Die Röntgenstrahlen-Tomographie (CT) (-)	845
	Die Positronen-Emissions-Tomographie (-/-)	846
11.11.6	Bildanalyse (-)	846
	Logische Struktur einer bildanalytischen Auswertung (-)	847
	Graubildverarbeitung (-/-)	849
	Detektion und Binärbild-Verarbeitung (-)	849
	Objekterkennung und Parameterbestimmung (-)	850
11.12	Wellenoptische Geräte (-/-)	851

11.12.1	Interferometer (-/-)	851
11.12.2	Holographische Abbildungssysteme (-/-)	851
11.13	Optik des täglichen Lebens (-)	852
11.13.1	Beleuchtungsquellen (-)	852
11.13.2	Der konventionelle photographische Film (-)	854
11.13.3	Die Kamera (*)	856
11.13.4	Das optische System des Auges (*)	859
11.13.5	Die Retina (-)	865
11.13.6	Geräte zur Unterstützung des Augensystems (*)	866
	Die Lupe (-)	867
	Das Fernrohr (-)	868
	Das Mikroskop (-)	869
11.13.7	Der Sextant (-)	871
11.13.8	Die optische Datenspeicherung (-/-)	873
11.14	Die Detektion von Farben (*)	873
11.14.1	Grundkonzept eines farbselektiven Strahlungsmesssystems (*)	875
11.14.2	Topologische Eigenschaften der Farbortmenge (*)	879
11.14.3	Aktiv und passiv strahlende Objekte - die Farbe weiß (*)	880
11.14.4	Dimension und Qualität eines Farbmesssystems (*)	885
	2-Kanal-Farbmesssysteme (-)	885
	3-Kanal-Farbmesssysteme (-)	887
	Farbmesssysteme mit 4 und mehr Kanälen / Schlussfolgerungen (-)	887
11.14.5	Das menschliche Farbmesssystem - die DIN-Farbkoordinaten (-)	888
11.14.6	Glanz (*)	889
11.14.7	Der Farbabstand (*)	890
11.14.8	Die Theorie deckender Anstriche von Kubelka und Munk (*)	892
11.14.9	Wiedergabe von Farbbildern - Farbkorrektur (-)	899
11.15	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	901
11.15.1	Optimierung der Abbildungsqualität (-)	901
11.15.2	Falschlichtminimierung (-)	902
11.15.3	Ausleuchtung größerer Flächen (*)	904
11.15.4	Stabilisierung von Strahlungsquellen (-/-)	907
11.15.5	Kalibrierung von Strahlungsdetektoren (*)	907
11.15.6	Spektralprodukt von optischen Geräten (*)	909
11.15.7	Retroreflektoren (-/-)	911
11.15.8	Messung des Streuvermögens (*)	911
11.15.9	Messung des Absorptionsvermögens streuender Proben (*)	912
11.15.10	Qualitätstests an Spektralphotometern (-/-)	913
11.15.11	Apparative Trennung von Fluoreszenz und Ramanstreuung (*)	913
11.15.12	Messung des Brechungsindex von Pulvern (-/-)	917
11.15.13	Aktive und passive Anzeigen (*)	917

11.15.14	Warum sind die Pflanzenblätter grün? (-/-)	918
11.16	Aufgaben (-)	918
11.17	Zahlenwerte (-/-)	919
11.18	Literatur (-)	920
12	Materialwissenschaft - Basis technischen Wirkens (-)	923
12.1	Drei Grundfragen der Materialwissenschaft (*)	925
12.1.1	Warum sind Festkörper verformbar? (*)	925
12.1.2	Warum sind Festkörper schadenstolerant? (*)	927
12.1.3	Warum sind Konstruktionskonzepte größenabhängig? (-)	928
12.2	Die Energieform Deformationsenergie (-)	930
12.2.1	Verformung, Deformation (-)	931
12.2.2	Der linear-elastische Festkörper (-)	935
12.2.3	Einfache Spannungszustände (-/-)	937
12.3	Linear-visko-elastische Materialien (-)	937
12.3.1	Das periodische Belastungsexperiment (DMA) (*)	938
12.3.2	Relaxationsprozesse in visko-elastischen Materialien (*)	940
	Der Schmelzprozess (*)	940
	Der Glasübergang (*)	941
	Sekundäre Relaxationsprozesse (*)	942
	Das Temperatur/Zeit-Äquivalenzprinzip (-/-)	943
12.3.3	DMA-Spektren einiger typischer Polymere (-)	943
	Amorphes Polymer ohne signifikante Sekundär-Relaxationsprozesse (Styrol-Acrylnitril SAN) (-)	943
	Teilkristallines Polymer (Polyamid) (-/-)	944
	Amorphes Polymer mit Sekundär-Relaxationsprozess (Polycarbonat) (-/-)	944
	Elastomeres Polymer (Polybutadien) (-)	944
	Polymerblend (Acrylnitrilbutadienstyrol ABS) (-)	944
12.3.4	Das dielektrische Relaxationsverhalten visko-elastischer Materialien (-/-)	945
12.4	Nichtlineares Materialverhalten (-)	946
12.4.1	Nichtlineare Materialkennlinie, inhomogene Verformung (*)	947
12.4.2	Irreversible Verformung, Zähigkeit und Duktilität (*)	950
12.4.3	Nichtlinearität und Geometrieabhängigkeit (-)	952
12.4.4	Zerstörende Belastungsexperimente / Zähigkeitsdefinitionen (-/-)	953
12.4.5	Nichtelastische Wechselbelastungen / Schadenstoleranz / Ermüdung (-/-)	953
12.4.6	Die Härte von Materialien (*)	953
12.5	Die Aggregatzustände fest/flüssig/gasförmig (*)	954
12.5.1	Thermodynamische Definition der Aggregatzustände	954

12.5.2	Eigentliche Festkörper (-)	956
12.5.3	Viskose Festkörper (-)	956
12.5.4	Eigentliche Flüssigkeiten (-/-)	957
12.5.5	Elastische Flüssigkeiten (-/-)	957
12.6	Anwendungsorientierte Klasseneinteilung der Werkstoffe (-)	958
12.6.1	Steife Materialien (-)	958
12.6.2	Anisotrope Materialien (-)	960
12.6.3	Elastomere Materialien (-)	961
12.6.4	Plastische Materialien (-)	964
12.7	Das Werkstoffkonzept der Mehrphasigkeit (-)	965
12.7.1	Nichtlineare Verformung durch inhomogene Struktur	965
12.7.2	Zähigkeit durch verformbare Füllstoffe (-)	966
12.7.3	Verstärkung durch steife Füllstoffe (-)	968
12.7.4	Das Füllstoff/Matrix-Interface (-)	969
	Die Dehnungsverteilung im Interface (-)	970
	Schädigungsprozesse in/an Elastomer-Partikeln (- /-)	971
	Schädigungsprozesse in/an Verstärkungs-Partikeln (-)	972
	Schädigungsprozesse in der Matrix (-/-)	973
	Der Effekt der thermischen Ausdehnung (-)	973
12.7.5	Nichtlineare Versteifung verformbarer Werkstoffe (-/-)	974
12.8	Technische Konstruktions-Werkstoffe vom Typ 1 (-)	975
12.8.1	Mikro-kristalline Metalle (-)	975
12.8.2	Mehrphasen-Metall-Legierungen (-)	976
12.8.3	Amorphe Polymere (-)	977
12.8.4	Teilkristalline Polymere (-)	978
12.8.5	Polymer-Blends (-/-)	979
12.8.6	Technischer Gummi (-)	980
12.8.7	Keramische Werkstoffe (-/-)	981
12.8.8	Vergleichende Gegenüberstellung dieser Werkstoffklassen (-/-)	981
12.9	Technische Konstruktions-Werkstoffe vom Typ 2 (Composites) (-)	981
12.9.1	Materialien für Füllstoffe und Fasern (-)	981
12.9.2	Makroskopisch isotrope Composites (-)	983
	Ton (-)	983
	Beton (-)	983
	Faser- und Füllstoff-verstärkte Polymere (-/-)	985
	Holz (-/-)	986
12.9.3	Anisotrope Composites (-)	986
	Unidirektionale Composites (-)	986
	Basiskonzept intelligenter Composites (-)	989
	Fachwerkhäuser (-)	990
	Stahlkonstruktionen (-)	991
	Stahlbetonkonstruktionen / Spannbetonbauten (-)	992

Konstruktionen auf Basis faserverstärkter Polymerplatten (-/-)	993
Fahrzeugreifen (-/-)	993
Straßenbelege (-/-)	993
Biologische Composites (-/-)	993
12.9.4 Das 3D-Fachwerk: der Werkstoff der Zukunft? (-/-)	994
12.10 Formgebung und Materialbearbeitung (-)	994
12.10.1 Formgebung durch Verwendung eines Modells (-)	994
12.10.2 Spanabhebende Formgebungs-Verfahren (-)	996
12.10.3 Spanlose Formgebungs-Verfahren (-/-)	998
12.10.4 Zusammenfügen von Einzelteilen (-/-)	998
12.10.5 Wärme-Nachbehandlung (-/-)	998
12.10.6 Oberflächenbearbeitung (-/-)	998
12.10.7 Verarbeitungsmöglichkeiten einiger Materialklassen (-)	998
12.11 Haftung / Reibung / Abrieb (*)	999
12.11.1 Phänomenologische Beschreibung von Reibung und Abrieb (*)	1000
12.11.2 Abrasiver Abrieb (*)	1003
12.11.3 Adhäsion / adhäsive Reibung (-)	1004
12.12 Verfahren der materialwissenschaftlichen Charakterisierung (-)	1004
12.12.1 Experimentelle Bestimmung der elastischen Konstanten (-/-)	1004
12.12.2 Differential Scanning Calorimetry (DSC) (*)	1004
Differential Scanning Calorimetry (DSC) einiger typischer Polymere (-)	1007
12.12.3 Thermisch-mechanische Analyse (TMA) (*)	1007
12.12.4 Thermogravimetrie (TGA) (*)	1008
12.12.5 Messung der Netzstellendichte von Elastomeren nach Mooney-Rivlin (-/-)	1009
12.13 Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	1009
12.13.1 Der Mechanical Bowler (-)	1009
12.14 Aufgaben (-/-)	1011
12.15 Zahlenwerte (-/-)	1011
12.16 Literatur (-)	1011
13 Strukturanalyse - Grundlage der chemischen Forschung (-)	1013
13.1 Verfahren zur Trennung chemisch unterschiedlicher Substanzen (-)	1014
13.1.1 Chromatographische Trenn-Verfahren (-)	1015
Gaschromatographie (-)	1016
Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatographie (-/-)	1016
Pyrolyse (-/-)	1016
13.2 Verfahren zur Aufklärung der chemischen Struktur (-)	1017
13.2.1 Spektroskopische Verfahren (-/-)	1017
Atomabsorptions-Spektroskopie (-/-)	1017
IR-Spektroskopie (-/-)	1017

	Massenspektroskopie (-/-)	1017
	Kernspin-Resonanz-Spektroskopie (-/-)	1017
	Elektronspin-Resonanz-Spektroskopie (-/-)	1017
13.2.2	Beugungs- und Streuverfahren (-/-)	1017
	Röntgen-Feinstrukturanalyse (-/-)	1018
	Röntgen-Kleinwinkelstreuung (-/-)	1018
	Statische Lichtstreuung (-/-)	1018
	Dynamische Lichtstreuung (-/-)	1018
13.3	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	1018
13.4	Aufgaben (-/-)	1018
13.5	Zahlenwerte (-/-)	1018
13.6	Literatur (-/-)	1018
14	Elektronik - tägliches Werkzeug des Experimentalphysikers (-)	1019
14.1	Elektronische Systeme, Response-Funktionen (*)	1020
14.1.1	Die Topologie elektronischer Systeme (-)	1020
14.1.2	Elektronische Zweipole (*)	1022
	Lineare Zweipole (-)	1022
	Nichtlineare elektronische Zweipole (*)	1024
	Aktive elektronische Zweipole (-)	1026
14.1.3	Elektronische Vierpole (*)	1027
	Lineare Vierpole / Matrix-Kalkül (-)	1029
	Längssymmetrische Vierpole (-)	1033
	Aktive elektronische Vierpole (-/-)	1035
	Dreipole (-/-)	1035
14.2	Technische Bauteile (-)	1036
14.2.1	Widerstände (*)	1036
14.2.2	Induktivitäten (*)	1037
14.2.3	Kondensatoren (*)	1039
14.2.4	Schwing-Quarze (-/-)	1042
14.2.5	Dioden (*)	1042
14.2.6	Transistoren (*)	1044
14.2.7	Integrierte Schaltkreise (ICs) (-/-)	1047
14.2.8	Optokoppler (-)	1048
14.2.9	Analog-Schalter (-/-)	1048
14.2.10	Relais (*)	1049
14.2.11	Elektronenröhren (*)	1050
14.3	Analoge Signalverarbeitung (-)	1056
14.3.1	Resonante passive Schaltungen (-)	1058
14.3.2	Filterschaltungen (-)	1062
	Das Tiefpass-Filter (-)	1062
	Das Hochpass-Filter (-)	1064

	Bandpass-Filter (-/-)	1066
14.3.3	Der Wellenleiter (-/-)	1066
14.3.4	Der Verstärker (-/-)	1066
14.3.5	Die Spannungsversorgung (-)	1067
14.3.6	Elektronisches Rauschen (-)	1068
14.3.7	Analoge elektronische Ein- und Ausgabegeräte (-/-)	1070
	Akustische Ein- und Ausgabegeräte (-/-)	1070
	Mechanische Bedienelemente (-/-)	1070
	Eingabe und Ausgabe von Bildinformationen (-/-)	1070
	Sensoren (-/-)	1070
14.4	Analoge Signalübertragung (-/-)	1070
14.5	Rückgekoppelte elektronische Systeme (*)	1071
14.5.1	Der Oszillator (*)	1071
14.5.2	Der Operationsverstärker (*)	1075
	Funktionsprinzip (*)	1075
	Anwendungsbeispiele (*)	1077
14.5.3	Allgemeine Regelungstechnik (*)	1082
	Grundbegriffe der Regelungstechnik (*)	1082
	Die Elemente eines Regelungssystems (*)	1086
	Das Proportional-Element (*)	1086
	Das Integral-Element (*)	1087
	Das Differenzial-Element (*)	1087
	Elemente mit kombiniertem Übertragungsverhalten (-/-)	1088
	Das Totzeit-Element (-/-)	1088
	Die Stabilität eines Regelungssystems (-)	1088
	Kaskadierte Regelungssysteme (*)	1089
	Der Spannungsregler (-)	1090
	Der Phase-Locked Loop (PLL) (-/-)	1091
14.6	Digitale Signalverarbeitung (-)	1092
14.6.1	Aussagen-Logik (*)	1094
	Die Grundelemente der Aussagenlogik (*)	1094
	Die wichtigsten Junktoren (*)	1094
	Analogie zu elektronischen Logikelementen (*)	1096
14.6.2	Gatterschaltungen (*)	1096
14.6.3	Inverter (*)	1097
14.6.4	Multivibratoren (*)	1099
14.6.5	Zeichnungssymbole für digitale Schaltungen (-/-)	1102
14.6.6	Typische Struktur eines elektronischen Steuergerätes (*)	1102
14.6.7	Basisstruktur eines Digitalrechners (*)	1105
14.6.8	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS (-/-)	1108
14.6.9	Das Bus-Konzept der Signalübertragung (-)	1108
14.6.10	Informationsverlust bei der digitalen Signalverarbeitung (-/-)	1110

14.6.11	Umwandlung von analogen und digitalen Signalen (-/-)	1110
14.6.12	Digitale elektronische Ein- und Ausgabegeräte (-/-)	1110
14.7	Reduzierung von Störsignalen (-)	1110
14.7.1	Mechanismen der Störsignaleinstreuung (-)	1111
14.7.2	Maßnahmen zur Störsignalreduzierung (*)	1112
14.8	Elektronik des täglichen Lebens (-)	1115
14.8.1	Der Rundfunk-Empfänger (-)	1115
14.8.2	Der Fernseh-Empfänger (-)	1120
	Der Schwarzweiß-Fernseh-Empfänger (-)	1121
	Der Farbfernseh-Empfänger (-/-)	1123
14.9	Messverfahren der Elektronik (-)	1124
14.9.1	Das Drehspulinstrument (-)	1124
14.9.2	Das Digital-Multimeter (-)	1125
14.9.3	Frequenz- und Zeitmessung (-/-)	1125
14.9.4	Das Oszilloskop (*)	1125
14.9.5	Der Transienten-Recorder (*)	1128
14.9.6	Der Lock-in-Verstärker (-/-)	1130
14.10	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	1131
14.10.1	Ratschläge zum Schaltungsentwurf (*)	1131
14.10.2	Frequenzvergleich mit dem Oszilloskop (-/-)	1133
14.10.3	Detail-Empfehlungen zur Störsignalreduzierung (*)	1133
14.10.4	Optimierung eines Regelkreises (-/-)	1135
14.10.5	Ursache-Wirkungsbeziehungen in rückgekoppelten Systemen	1136
14.10.6	Die Kybernetik und der gesunde Menschenverstand	1136
14.10.7	Das System Volkswirtschaft (-/-)	1136
14.10.8	Messzeit-Optimierung bei der Frequenzanalyse (-)	1136
14.10.9	Das ALOA-Konzept eines Multilayer-Folienkondensators (-)	1136
14.11	Aufgaben (-/-)	1137
14.12	Zahlenwerte (-/-)	1137
14.13	Literatur (-)	1137
15	Anhang (-/-)	1139
15.1	Lösungen der Aufgaben (-)	1139
15.1.1	zu Heft 2: Die besondere Denkweise des Physikers (-)	1139
15.1.2	zu Heft 3: Mechanik (-)	1140
15.1.3	zu Heft 4: Elektrostatik (-/-)	1151
15.1.4	zu Heft 5: Magnetostatik (-/-)	1153
15.1.5	zu Heft 6: Elektrodynamik (-/-)	1153
15.1.6	zu Heft 7: Quantenmechanik (-)	1153
15.1.7	zu Heft 8: Thermodynamik (-)	1155
15.1.8	zu Heft 9: Kristallphysik (-/-)	1163
15.1.9	zu Heft 10: Elementarteilchen, Kosmologie (-/-)	1163

15.1.10 zu Heft 11: Optik (-)	1163
15.1.11 zu Heft 12: Materialwissenschaft (-/-)	1164
15.1.12 zu Heft 13: Strukturanalyse (-/-)	1165
15.1.13 zu Heft 14: Elektronik (-/-)	1165
15.2 Literatur zur Physik insgesamt (-/-)	1166