

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung (*)</b>	<b>25</b>
1.1	Warum habe ich dieses Lehrbuch geschrieben? (*) . . . . .	25
1.2	Was möchte ich mit diesem Lehrbuch erreichen? (*) . . . . .	26
1.3	Für wen habe ich dieses Lehrbuch geschrieben? (*) . . . . .	28
1.4	Nach welchen Kriterien habe ich die Inhalte ausgewählt? (*) . . . . .	28
1.5	Hinweise zum Umgang mit diesem Lehrbuch (*) . . . . .	30
1.6	Danksagungen (*) . . . . .	35
1.7	Kennzeichnungen v. Größen u. Verknüpfungen (-) . . . . .	37
1.8	Abkürzungen (-) . . . . .	46
<b>2</b>	<b>Die besondere Denkweise des Physikers (*)</b>	<b>51</b>
2.1	Größen und Einheiten (*) . . . . .	51
2.2	Gesetze und Modelle (*) . . . . .	58
2.3	Das Experiment: Zentrum wissenschaftlicher Arbeit (*) . . . . .	63
2.4	Bilanzen und Erhaltungssätze (*) . . . . .	66
2.5	Mathematik - die Muttersprache des Physikers (*) . . . . .	68
2.6	Systeme und deren Umgebungen (*) . . . . .	72
2.6.1	Begriffsdefinitionen (*) . . . . .	72
2.6.2	Rückgekoppelte Systeme (*) . . . . .	74
2.7	Tipps, Tricks und Spezialitäten (*) . . . . .	76
2.7.1	Der Umgang mit dimensionsbehafteten Gleichungen (*) . . . . .	77
2.7.2	Richtiges Publizieren und Patentieren (*) . . . . .	78
2.7.3	Die Arbeitsteilung v. öffentlicher u. industrieller Forschung (-)	83
2.7.4	Fehlerrechnung (*) . . . . .	88
2.8	Aufgaben (-) . . . . .	95
2.9	Zahlenwerte (-) . . . . .	96
2.10	Literatur (-) . . . . .	97
<b>3</b>	<b>Mechanik - aller Anfang ist schwer (-)</b>	<b>99</b>
3.1	Mathematische Grundlagen der Mechanik (-) . . . . .	100
3.1.1	Elementare Geometrie (-) . . . . .	101
3.1.2	Elementare Vektoralgebra (-) . . . . .	116
3.1.3	Die Fundamente der modernen Mathematik (-) . . . . .	135

3.1.4	Der konstruktive Aufbau der reellen Zahlen (*) . . . . .	151
3.1.5	Auf dem $\mathbb{R}^1$ definierte Funktionen (*) . . . . .	157
3.1.6	Flächen und Kurven im $\mathbb{R}^3$ (-/-) . . . . .	158
3.1.7	Die Ableitung einer Funktion (*) . . . . .	159
3.1.8	Die Integration einer Funktion (*) . . . . .	161
3.1.9	Reihenentwicklung von Funktionen (-) . . . . .	166
3.1.10	Analysis von Funktionen mehrerer Veränderlicher (-) . . . . .	175
3.1.11	Differenzialgleichungen (-/-) . . . . .	178
3.1.12	Vektoranalysis (-) . . . . .	178
3.1.13	Die Berechnung von Extremwerten (-) . . . . .	194
3.1.14	Koordinatensysteme (-) . . . . .	198
3.2	Geometrische Mechanik (-) . . . . .	210
3.2.1	Ort und Bewegung von Körpern (-) . . . . .	210
3.2.2	Bewegung starrer Körper (-) . . . . .	212
3.2.3	Periodische Bewegungen (-) . . . . .	213
3.2.4	Die Ursache von Bewegungen (*) . . . . .	220
3.2.5	Die Relativitätsprinzipien des Anschauungsraums (*) . . . . .	227
3.2.6	Physikalische Vektoren (-/-) . . . . .	230
3.2.7	Die Vereinheitlichung von Raum und Zeit (*) . . . . .	230
3.2.8	Die wichtigsten Aussagen der speziellen Relativitätstheorie (-) . . . . .	236
3.2.9	Grundzüge der Differenzial-Geometrie (-/-) . . . . .	279
3.2.10	Grundzüge der allgemeinen Relativitätstheorie (-) . . . . .	279
3.3	Dynamische Mechanik (-) . . . . .	289
3.3.1	Systeme, Variablen, Zustände (*) . . . . .	289
3.3.2	Energie, Energieformen (*) . . . . .	290
3.3.3	Die Energieform Translationsenergie (*) . . . . .	291
3.3.4	Die Energieform Rotationsenergie (-) . . . . .	295
3.3.5	Die Energieform Lageenergie (*) . . . . .	297
3.3.6	Die Energieform Ladungsenergie (-) . . . . .	299
3.3.7	Die Energieform Volumenenergie (-) . . . . .	301
3.3.8	Die innere Energie (-) . . . . .	302
3.3.9	Erhaltungssätze (-) . . . . .	303
3.3.10	Stoßprozesse (-) . . . . .	303
3.3.11	Die Gravitationsenergie (-) . . . . .	305
3.3.12	Energie-Reservoir / Gibbs-Funktionen / Homogenität (*) . . . . .	309
3.3.13	Austauschprozesse / Gleichgewicht (-) . . . . .	312
3.3.14	Die Bewegungsgleichungen physikalischer Systeme (-) . . . . .	314
3.3.15	Hydrostatik (-) . . . . .	317
3.3.16	Strömungsmechanik (-) . . . . .	320
3.3.17	Periodische Strömungen (-/-) . . . . .	328
3.3.18	Relativistische Mechanik (-) . . . . .	329
3.4	Messung mechanischer Größen (-) . . . . .	337

3.4.1	Die Längenmessung (-)	337
3.4.2	Die Zeitmessung (-)	343
3.4.3	Die Messung von Winkeln und Richtungen (-)	348
3.4.4	Die Messung von Geschwindigkeiten (-)	349
3.4.5	Die Impulsmessung (-/-)	352
3.4.6	Die Energiemessung (-/-)	353
3.4.7	Die Massenbestimmung (-)	353
3.4.8	Die Messung der Massendichte (-/-)	356
3.4.9	Die Messung des statischen Drucks (-/-)	356
3.5	Mechanik des täglichen Lebens (-)	356
3.5.1	Die astronomischen Grundlagen unseres Kalenders (-)	357
3.5.2	Die Gesetzmäßigkeiten des Sonnenstands (-)	360
3.5.3	Die Mondphasen (-)	370
3.5.4	Transit-Konstellationen von Himmelsobjekten (*)	371
3.5.5	Navigation (-)	376
3.5.6	Die Gesetzmäßigkeiten von Ebbe und Flut (-)	385
3.5.7	Mechanische Maschinen (-)	392
3.5.8	Hydraulische Maschinen (-/-)	393
3.5.9	Die Verteilung von Gasen in der Atmosphäre (-)	393
3.5.10	Strömungsantriebe (-/-)	396
3.5.11	Windkraftanlagen (-)	397
3.5.12	Segeln (-)	401
3.5.13	Musik / Musikinstrumente / Sprache (-)	420
3.6	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	451
3.6.1	Umgang mit partiellen Ableitungen (*)	451
3.6.2	Der Vektorbegriff in der Mathematik und in der Physik (-/-)	452
3.6.3	Parameterdarstellung von Funktionen (-/-)	452
3.6.4	Die Kinderschaukel (-/-)	452
3.6.5	Die Pioneer-Anomalie (-)	453
3.6.6	Unser Planetensystem (-)	454
3.6.7	Extensive Größen und deren Ströme in der Ökonomie (-)	463
3.7	Aufgaben (-)	466
3.8	Zahlenwerte (-)	471
3.9	Literatur (-)	473
<b>4</b>	<b>Elektrostatik - Basis von Blitz und Fax (-)</b>	<b>477</b>
4.1	Komplexe Zahlen und Funktionen (-)	478
4.1.1	Algebra der komplexen Zahlen (*)	478
4.1.2	Die Ableitung komplexer Funktionen (*)	484
4.1.3	Die Integration komplexer Funktionen (*)	487
4.1.4	Die Singularitäten komplexer Funktionen (-/-)	491
4.2	Mathematische Grundlagen des System-Response (-)	492

4.2.1	Linear Response, Suszeptibilität (*) . . . . .	492
4.2.2	Nicht-instanter Linear Response (*) . . . . .	494
4.2.3	Frequenzabhängigkeit der linearen Suszeptibilität (*) . . . . .	495
4.2.4	Suszeptibilität einfacher Modellsysteme (-) . . . . .	499
4.2.5	Systemantwort auf eine Sprungfunktion (-) . . . . .	501
4.2.6	Nichtlineare Response-Funktionen (-/-) . . . . .	502
4.2.7	Komplexwertige physikalische Größen (-) . . . . .	502
4.3	Grundfakten der Elektrostatik (-) . . . . .	509
4.3.1	Die Energieform elektrische Energie (*) . . . . .	509
4.3.2	Das elektrische Feld einer Punktladung (-) . . . . .	513
4.3.3	Elektrostatische Felder beliebiger Ladungsverteilungen (-) . . . . .	516
4.3.4	Die elektrische Feldenergie (-) . . . . .	520
4.4	Materie im elektrischen Feld (-) . . . . .	522
4.4.1	Ladungsverteilung in leitenden Materialien (-) . . . . .	522
4.4.2	Das Gesamtsystem aus Materie und elektrischem Feld (-) . . . . .	528
4.4.3	Dielektrische Materialien (-) . . . . .	536
4.4.4	Ferro-elektrische Materialien (-/-) . . . . .	539
4.4.5	Die dielektrische Funktion (-) . . . . .	540
4.4.6	Nichtlineare Polarisation (-/-) . . . . .	540
4.5	Nicht-elektrisch induzierte Polarisation (-) . . . . .	540
4.5.1	Der Piezo-Effekt (-) . . . . .	541
4.5.2	Die Pyro-Elektrizität (-/-) . . . . .	542
4.6	Reibungselektrizität (-) . . . . .	543
4.6.1	Experimentelle Grundphänomene der Reibungselektrizität (-) . . . . .	543
4.6.2	Physikalische Deutung der Reibungselektrizität (-) . . . . .	544
4.7	Messung elektrostatischer Größen (-/-) . . . . .	546
4.7.1	Elektrostatische Spannungsgeneratoren (-/-) . . . . .	546
4.7.2	Elektrostatische Kondensatoren (-/-) . . . . .	547
4.7.3	Das Elektrometer (-/-) . . . . .	547
4.7.4	Die Bestimmung der Elementarladung (-) . . . . .	547
4.8	Elektrostatik des täglichen Lebens (-) . . . . .	548
4.8.1	Elektrostatik der Erdatmosphäre (-) . . . . .	549
4.8.2	Der elektrostatische Kopierer (-) . . . . .	555
4.8.3	Elektrostatische Sprühvorrichtungen (-/-) . . . . .	556
4.8.4	Elektrostatische Probleme in Produktionsbetrieben (-/-) . . . . .	557
4.9	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-) . . . . .	558
4.9.1	Nutzen/Grenzen der Fourier-Darstellung v. $\chi(t)$ (-/-) . . . . .	558
4.9.2	Verhalten im Freien bei Gewitter (-) . . . . .	558
4.10	Aufgaben (-) . . . . .	560
4.11	Zahlenwerte (-/-) . . . . .	561
4.12	Literatur (-) . . . . .	562

<b>5</b>	<b>Magnetostatik - das Kraftpaket (-)</b>	<b>563</b>
5.1	Die Grundfakten der Magnetostatik (-)	563
5.1.1	Die Energieform magnetische Energie (-)	565
5.1.2	Das magnetische Feld (-)	567
5.1.3	Die magnetische Feldenergie (-)	571
5.2	Materie im magnetischen Feld (-)	571
5.2.1	Das Gesamtsystem aus Materie und magnetischem Feld (-)	571
5.2.2	Diamagnetische Materialien (-)	576
5.2.3	Paramagnetische Materialien (-)	577
5.2.4	Ferromagnetische Materialien (-/-)	577
5.3	Messung magnetischer Größen (-/-)	577
5.4	Magnetostatik des täglichen Lebens (-/-)	577
5.5	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	577
5.6	Aufgaben (-/-)	578
5.7	Zahlenwerte (-/-)	578
5.8	Literatur (-)	578
<b>6</b>	<b>Elektrodynamik - Maxwells Lebenswerk (-)</b>	<b>579</b>
6.1	Die Verknüpfung von elektrischen und magnetischen Effekten (*)	579
6.1.1	Die magnetische Erzeugung elektrischer Felder (*)	580
6.1.2	Die elektrische Erzeugung magnetischer Felder (-)	581
6.1.3	Selbstinduktion / Induktivität (-)	586
6.1.4	Die Lorentz-Kraft (-)	588
6.1.5	Feldtheoretische Formulierung d. elektrodynamischen Gesetze (-)	591
6.1.6	Relativistische Elektrodynamik (-/-)	596
6.2	Die periodischen Lösungen der Maxwell-Gleichungen (-)	597
6.2.1	Die Wellengleichung des elektromagnetischen Feldes (*)	598
6.2.2	Die Lösungen der Wellengleichung (-/-)	599
6.2.3	Elektromagnetische Strahlung (-)	599
6.3	Messung elektrodynamischer Größen (-/-)	608
6.4	Elektrodynamik des täglichen Lebens (-)	608
6.4.1	Der Elektromotor (-)	610
6.4.2	Der Generator (-/-)	612
6.4.3	Der Transformator (-)	612
6.4.4	Das Kraftwerk (-)	613
6.4.5	Das Drehstromkonzept (-)	615
6.4.6	Das Stromnetz (-)	617
6.5	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	621
6.6	Aufgaben (-/-)	621
6.7	Zahlenwerte (-/-)	621
6.8	Literatur (-)	622

<b>7</b>	<b>Quantenmechanik - Revolution des physikalischen Weltbildes (-)</b>	<b>623</b>
7.1	Teilchen und Wellen im Bild der klassischen Physik (*) . . . . .	624
7.2	Die entscheidenden experimentellen Fakten (*) . . . . .	626
7.2.1	Quantisierung ruhemasseloser Strahlung (*) . . . . .	626
7.2.2	Interferenz ruhemasse-behafteter Teilchen (*) . . . . .	628
7.2.3	Die Stabilität der Atome (*) . . . . .	629
7.2.4	Die statistische Natur physikalischer Messergebnisse (*) . . . . .	631
7.2.5	Die Unschärferelation (-) . . . . .	631
7.2.6	Der Tunneleffekt (*) . . . . .	633
7.2.7	Die Ununterscheidbarkeit identischer Teilchen (*) . . . . .	634
7.2.8	Das Korrespondenzprinzip (*) . . . . .	635
7.3	Die Grundstruktur der Quantenmechanik (*) . . . . .	636
7.4	Mathematische Strukturen der Quantenmechanik (*) . . . . .	649
7.4.1	Vektorräume (*) . . . . .	650
7.4.2	Lineare Unabhängigkeit / Definition einer Basis (*) . . . . .	651
7.4.3	Die Determinante einer Matrix (-) . . . . .	654
7.4.4	Untervektorräume (-) . . . . .	654
7.4.5	Norm / Skalarprodukt / Vollständigkeit / Orthogonalität (*) . . . . .	655
7.4.6	Funktionen-Räume (-) . . . . .	659
7.4.7	Operatoren / Eigenvektoren / Hermitezität (-) . . . . .	670
7.4.8	Verknüpfung von Operatoren (-) . . . . .	675
7.4.9	Diagonalisierung von Operatoren (-/-) . . . . .	676
7.4.10	Maßtheorie und Wahrscheinlichkeitsrechnung (-) . . . . .	677
7.5	Die konsistente Formulierung der Quantenmechanik (-) . . . . .	694
7.6	Darstellungsarten der Quantenmechanik (-/-) . . . . .	697
7.6.1	Darstellung der Zustände als Funktionen im Ortsraum (Schrödinger-Darstellung) (-/-) . . . . .	697
7.6.2	Darstellung der Zustände über die Eigenzustände einer diskret verteilten Observablen (Heisenberg-Darstellung) (-/-) . . . . .	697
7.6.3	Dichtefunktionale (-/-) . . . . .	697
7.7	Die wichtigsten Operatoren (-) . . . . .	697
7.7.1	Der Orts-Operator (-) . . . . .	697
7.7.2	Der Impuls-Operator (-) . . . . .	698
7.7.3	Der Drehimpuls-Operator (-/-) . . . . .	700
7.7.4	Der Operator des elektromagnetischen Feldes (-/-) . . . . .	701
7.7.5	Der Operator für das magnetische Moment (-/-) . . . . .	701
7.7.6	Der Spin-Operator (-/-) . . . . .	701
7.7.7	Der Teilchenzahl-Operator (-) . . . . .	701
7.7.8	Der Energie-Operator (-) . . . . .	702
7.7.9	Die Operatoren für Ströme extensiver Größen (-/-) . . . . .	702
7.7.10	Äußere und innere Variablen (-/-) . . . . .	702
7.8	Faktorisierende Systeme / 2. Quantisierung (-) . . . . .	702

7.8.1	Wechselwirkungsfreie Untersysteme (-)	702
7.8.2	Systeme aus identischen Teilchen (-)	704
7.8.3	Die 2. Quantisierung (-)	708
7.9	Anwendungsbeispiele (-)	711
7.9.1	Das Teilchen im Kasten-Potenzial (-)	711
7.9.2	Der harmonische Oszillator (-)	719
7.9.3	Das Elektron im Coulombfeld (-)	727
7.9.4	Das elektromagnetische Strahlungsfeld (-/-)	733
7.9.5	2-Zustands-Systeme (-/-)	733
7.10	Der quasi-klassische Grenzfall (-/-)	733
7.11	Verschränkte Zustände (-/-)	733
7.12	Quantenmechanische Störungstheorie (-)	734
7.12.1	Die zeitunabhängige Störung eines nicht entarteten Systems (-)	735
7.12.2	Die Störungstheorie eines entarteten Systems (-)	737
7.12.3	Die Theorie zeitabhängiger Störungen (-/-)	738
7.12.4	Berechnung von Übergangswahrscheinlichkeiten (-/-)	738
7.12.5	Streuprozesse (-)	738
7.13	Anwendungen der Störungstheorie (-/-)	740
7.13.1	Das Elektronensystem der Atome (-/-)	741
7.13.2	Quantenmechanik der chemischen Bindung (-)	741
7.13.3	Strahlungs-Emission und -Absorption (-/-)	745
7.13.4	Der Raman-Effekt (-)	745
7.13.5	Magnetische Resonanz (-/-)	747
7.13.6	Mehrphotonen-Prozesse (-/-)	747
7.14	Quantenfeldtheorie (-/-)	747
7.14.1	Quantenelektrodynamik (-/-)	748
7.15	Makroskopische quantenmechanische Systeme (-)	749
7.15.1	Elementare Anregungen / Quantenkondensation (-)	749
7.15.2	Das Bose-Einstein-Kondensat (-)	751
7.15.3	Die Supraleitung (-/-)	751
7.15.4	Die Suprafluidität (-/-)	752
7.16	Offene Fragen der Quantenmechanik (-/-)	752
7.17	Quantenmechanik des täglichen Lebens (-)	752
7.17.1	Physik der Atomkerne (-)	752
7.17.2	Physik der H-Bombe u. des Fusions-Reaktors (-)	766
7.17.3	Physik der Kernspaltungs-Bombe u. des Spaltungs-Reaktors (-)	776
7.17.4	Die Lagerung radioaktiver Abfälle (-)	789
7.17.5	Nuklearmedizin (-/-)	795
7.17.6	Einheiten für die Messung radioaktiver Strahlung (-)	798
7.17.7	Wechselwirkung zw. Kommunikations-Strahlung u. Materie (-)	800
7.18	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	803
7.18.1	Der Thorium-Reaktor (-/-)	803

7.18.2	Der Umgang mit Wahrscheinlichkeitsgrößen (-)	804
7.18.3	Abschätzungen mit Hilfe von Mittelwerten (-)	805
7.18.4	Testverfahren (-)	806
7.18.5	Natürliche Kernspaltungs-Reaktoren (-)	807
7.18.6	Die kalte Fusion (-/-)	809
7.19	Aufgaben (-)	809
7.20	Zahlenwerte (-)	811
7.21	Literatur (-)	814
<b>8</b>	<b>Thermodynamik - Verknüpfung von Mikro- und Makro-Kosmos (*)</b>	<b>817</b>
8.1	phänomenologische Gleichgewichts-Thermodynamik (*)	818
8.1.1	Die Energieform thermische Energie (*)	818
8.1.2	Die Energieform chemische Energie (-)	820
8.1.3	Energie-Umwandlungen (*)	822
8.1.4	2 Hauptsätze der Thermodynamik (*)	825
8.1.5	Energieartige Gibbs-Funktionen (*)	826
8.1.6	Entropieartige Gibbs-Funktionen (*)	828
8.1.7	Isotherme Austauschprozesse (-)	829
8.1.8	Materialparameter (*)	830
8.1.9	Zustandsgleichungen (*)	839
8.1.10	Ideale Gase (*)	842
8.1.11	Reale Gase / van-der-Waals-Gleichung (-)	847
8.1.12	Chemische Reaktionen (-)	850
8.1.13	Phasen, Phasengrenzen, Stabilität (*)	860
8.1.14	Koexistenz von Phasen (*)	865
8.1.15	Phasendiagramme, Phasenübergänge (*)	871
8.1.16	Innere Variablen, Phasenübergänge 2. Art (-)	877
8.1.17	Lösungen (*)	880
8.1.18	Die Energieform Grenzflächenenergie (-)	885
8.2	Thermodynamik der dissipativen Ströme (-)	891
8.2.1	Der Nichtgleichgewichtszustand (-)	891
8.2.2	Verallgemeinerte Ströme und thermodynamische Kräfte (-/-)	892
8.2.3	Transportkoeffizienten (-/-)	892
8.2.4	Teilchen-Diffusion (-/-)	893
8.2.5	Wärmeleitung (-/-)	893
8.2.6	Irreversible Strömungsmechanik (-/-)	893
8.2.7	Stationäre elektrische Ströme (-/-)	894
8.3	Elektrochemie (-)	894
8.3.1	Die Energieform elektrochemische Energie (-)	896
8.3.2	Elektrolyt, Dissoziation (-)	898
8.3.3	Das abgeschirmte Coulomb-Potenzial (-)	899
8.3.4	Einige Elektrolyt-Systeme (-)	901

8.3.5	Elektrochemische Kontakte (-/-) . . . . .	905
8.3.6	Stationäre Ströme in Elektrolyten (-/-) . . . . .	906
8.3.7	Gasentladungen (-/-) . . . . .	906
8.3.8	Plasmen (-/-) . . . . .	906
8.4	Statistische Thermodynamik (*) . . . . .	906
8.4.1	Mikro- und Makrozustände (*) . . . . .	907
8.4.2	Thermischer Kontakt / Gleichgewicht / Entropie (*) . . . . .	910
8.4.3	Der Nullpunkt der Entropie (*) . . . . .	913
8.4.4	Weitere Austauschprozesse (*) . . . . .	914
8.4.5	Entropie-Reservoirs / Boltzmannfaktor / Zustandssumme (*) . . . . .	916
8.4.6	Die großkanonische Zustandssumme (*) . . . . .	919
8.4.7	Vielteilchen-Systeme aus wechselwirkungsfreien Teilchen (*) . . . . .	921
8.4.8	Statistische Thermodynamik der Phasentübergänge (-) . . . . .	926
8.4.9	Theorie der Fluktuationen (-/-) . . . . .	928
8.5	Thermodynamik der elektromagnetischen Strahlung (-) . . . . .	928
8.5.1	Das Photonengas im thermodynamischen Gleichgewicht (*) . . . . .	929
8.5.2	Strahlungsemission und -absorption (*) . . . . .	932
8.5.3	Aktuelle Fragen der Strahlungs-Thermodynamik (-/-) . . . . .	939
8.6	Messung thermodynamischer Größen (-) . . . . .	939
8.6.1	Temperaturmessung (-) . . . . .	939
8.6.2	Messung der Grenzflächen-Energie (-/-) . . . . .	939
8.6.3	Messung von Reaktions-Enthalpien (-/-) . . . . .	939
8.6.4	Messung elektrochemischer Kontaktpotenziale (-/-) . . . . .	940
8.7	Das Klima der Erde (-) . . . . .	940
8.7.1	Strahlungsbilanz der Planeten / Treibhauseffekt (-) . . . . .	941
8.7.2	Ein einfaches Modell des globalen Klimas (-) . . . . .	950
8.7.3	Die Struktur der Erd-Atmosphäre (-) . . . . .	965
8.7.4	Globale thermische Ausgleichsströme / das globale Klima (-) . . . . .	972
8.7.5	Die erdgesichtliche Entwicklung des globalen Klimas (-) . . . . .	990
8.7.6	Das Systemverhalten des Erdklimas (-) . . . . .	1001
8.7.7	Eine Deutungs-Hypothese des globalen Klimas (-) . . . . .	1017
8.8	Thermodynamik des täglichen Lebens (-) . . . . .	1031
8.8.1	Technische Verfahren zur Herstellung chemischer Produkte (-) . . . . .	1032
8.8.2	Wärmetransport durch Leitung, Konvektion und Strahlung (-) . . . . .	1036
8.8.3	Wärmespeicher (-/-) . . . . .	1038
8.8.4	Das Wasser (-) . . . . .	1038
8.8.5	Das Feuer (-) . . . . .	1040
8.8.6	Die Gebäudetemperierung (-) . . . . .	1043
8.8.7	Wirbelstürme (-) . . . . .	1044
8.8.8	Elektrochemie des täglichen Lebens (-/-) . . . . .	1051
8.8.9	Wärme- und Kältemaschinen (-) . . . . .	1052
8.8.10	Kühlmaschinen und Wärmepumpen (-) . . . . .	1065

8.8.11	Thermodynamik der Energieversorgung (-)	1070
8.9	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	1093
8.9.1	Alltags-Probleme beim Umgang mit thermischen Begriffen (-)	1093
8.9.2	Die Analogie von Wärmestrom und elektrischem Strom (-/-)	1095
8.9.3	Einige energietechnische Vorurteile (-)	1096
8.9.4	Meerwasser-Entsalzung (-/-)	1100
8.9.5	Das Klima im Grand Canyon und der Treibhaushauseffekt (*)	1100
8.9.6	Das Klima im Wald (-)	1102
8.9.7	Chancen e. positiven anthropogenen Klima-Beeinflussung (-)	1104
8.10	Aufgaben (-)	1107
8.11	Zahlenwerte (-)	1111
8.12	Literatur (-)	1116
<b>9</b>	<b>Kristallphysik - Dominanz der Symmetrie (-)</b>	<b>1119</b>
9.1	Der ideale Kristall (-/-)	1122
9.1.1	Symmetrie-Operationen / Einheitszelle (-)	1122
9.1.2	Die wichtigsten Kristallklassen (-/-)	1123
9.1.3	Langreichweitige und kurzreichweitige Ordnung (-/-)	1124
9.2	Anregungen des Gittersystems (-/-)	1124
9.3	Anregungen des Elektronensystems (-/-)	1125
9.3.1	Das Elektron im periodischen Potenzial (-/-)	1125
9.3.2	Die Dichtefunktionaltheorie (-/-)	1125
9.3.3	Plasmonen (-/-)	1125
9.4	Metalle (-/-)	1125
9.5	Halbleiter (-/-)	1125
9.6	Kristall-Kontakte (-/-)	1125
9.7	Wechselwirkungen zwischen Gitter- und Elektronensystem (-/-)	1125
9.8	Geordnete Systeme von eingeschränkter Dimension (-/-)	1125
9.8.1	2-dimensionale geordnete Systeme (-/-)	1126
9.8.2	1-dimensionale geordnete Systeme (-/-)	1126
9.8.3	0-dimensionale Systeme (-/-)	1126
9.9	Ungeordnete makroskopische Systeme (-/-)	1126
9.10	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	1126
9.11	Aufgaben (-/-)	1126
9.12	Zahlenwerte (-/-)	1126
9.13	Literatur (-/-)	1127
<b>10</b>	<b>Elementarteilchen, Kosmologie:</b>	
	<b>Physik ganz klein / ganz gross (-)</b>	<b>1129</b>
10.1	Physik der Elementarteilchen (-)	1129
10.1.1	Der Elementarteilchen-Zoo (-)	1130
10.1.2	Die Ruhemasse der Elementarteilchen (*)	1134

10.1.3	Die starke und die schwache Wechselwirkung (-/-)	1138
10.1.4	Neutrinos (-)	1138
10.1.5	Die SU(3)-Gruppe (-/-)	1144
10.1.6	Das Quark-Modell (-)	1144
10.1.7	Das Grundkonzept der Quantenchromodynamik (-)	1150
10.1.8	Die Theorie der schwachen Wechselwirkung (-/-)	1154
10.2	Astronomie (-)	1154
10.2.1	Dynamik der Stern-Entstehung (-)	1155
10.2.2	Fusions-Prozesse in Sternen (-)	1165
10.2.3	Stationäre Zustände v. Sternen (-)	1174
10.2.4	Spätzustände von Sternen (-)	1187
10.2.5	Sternumwandlungen (-)	1198
10.2.6	Physik der Sterne / Zusammenfassende Darstellung (-)	1211
10.2.7	Die Entstehung von Planetensystemen (-)	1212
10.2.8	Physik unserer Sonne (-/-)	1222
10.2.9	Physik unserer Erde (-)	1222
10.2.10	Physik unserer Planeten (-)	1253
10.2.11	Asteroide und Kometen (-)	1333
10.2.12	Galaxien (-)	1350
10.2.13	Sternhaufen (-)	1364
10.2.14	Astronomische Objekte / Zusammenfassung	1367
10.2.15	Galaxien-Cluster (-)	1369
10.2.16	Historische Entwicklung der astronomischen Forschung (-/-)	1370
10.3	Kosmologie (-)	1370
10.3.1	Die Unsymmetrie von Materie und Antimaterie (-)	1371
10.3.2	Die kosmologische Rotverschiebung (-/-)	1371
10.3.3	Die $3 \cdot K$ -Hintergrundstrahlung (-)	1372
10.3.4	Die Raum-Zeit-Entwicklung des Kosmos (-)	1376
10.3.5	Die Bildung der Elemente (-)	1382
10.3.6	Dunkle Materie und dunkle Energie (-/-)	1383
10.3.7	Offene Fragen der Kosmologie (-/-)	1384
10.4	Elementarteilchenphysik und Kosmologie des täglichen Lebens	1384
10.4.1	Die kosmische Strahlung und der Sonnenwind (-)	1385
10.5	Messung von Kenndaten der Elementarteilchen (-/-)	1390
10.5.1	Kanalstrahl-Experimente (-/-)	1390
10.5.2	Teilchenbeschleuniger (-/-)	1390
10.5.3	Teilchendetektoren (-/-)	1391
10.6	Messung astronomischer und kosmologischer Größen (-/-)	1391
10.6.1	Terrestische Teleskope (-/-)	1392
10.6.2	Weltraum-Teleskope (-)	1393
10.6.3	Radio-Astronomie (-/-)	1395
10.6.4	Entfernungen (-)	1395

10.6.5	Geschwindigkeiten (-/-)	1400
10.6.6	Massenbestimmungen (-/-)	1400
10.6.7	Geometrische Abmessungen (-)	1400
10.6.8	Altersbestimmungen (-)	1401
10.6.9	Spezielle Verfahren zur Bestimmung weiterer Kenndaten (-)	1405
10.6.10	Der Seismograph (-)	1405
10.6.11	Der Nachweis exosolarer Planeten (-/-)	1405
10.6.12	Die Internationale Raumstation (-)	1408
10.7	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	1411
10.8	Aufgaben (-)	1412
10.9	Zahlenwerte (-)	1413
10.10	Literatur (-)	1417
<b>11</b>	<b>Optik - Schwerpunkt aktueller Forschung (-)</b>	<b>1421</b>
11.1	Grundfakten der Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung (-)	1423
11.1.1	Das Superpositionsprinzip (-)	1424
11.1.2	Beugung und Interferenz (-/-)	1425
11.1.3	Die Polarisation (-)	1425
11.1.4	Die Prinzipien von Huygens und Fermat (-)	1428
11.1.5	Die Kohärenz elektromagnetischer Strahlung (-)	1429
11.1.6	Die Optische Abbildung (-/-)	1431
11.1.7	Die Näherung der geometrischen Optik (-/-)	1431
11.2	Lineares optisches Materialverhalten (-)	1431
11.2.1	Reflexion und Brechung (*)	1432
11.2.2	Absorption, Streuung, Fluoreszenz (*)	1441
11.2.3	Reflexion und Brechung in absorbierenden Medien (-/-)	1446
11.3	Polarisations-spezifisches Materialverhalten (-)	1446
11.3.1	Die Response-Funktion polarisationsverändernder Materialien (-)	1446
11.3.2	Dichroismus (-)	1448
11.3.3	Doppelbrechung (-)	1450
11.3.4	Zirkular-Dichroismus / Optische Drehung (-)	1452
11.4	Feld-induziertes polarisationsabhängiges Verhalten (-/-)	1454
11.4.1	Elektrisch induzierte Doppelbrechung (-/-)	1455
11.4.2	Magnetisch induzierte Doppelbrechung (-/-)	1456
11.5	Nichtlineares optisches Materialverhalten (-/-)	1456
11.5.1	(diverse Abschnitte der nichtlinearen Optik) (-/-)	1457
11.6	Passive optische Elemente (-)	1457
11.6.1	Materialien für optische Elemente (-)	1457
11.6.2	Linsen (*)	1458
11.6.3	Spiegel (-)	1467
11.6.4	Prismen (-/-)	1469

11.6.5	Gitter (-)	1469
11.6.6	Optische Fasern (-)	1470
11.6.7	Blenden (*)	1472
11.6.8	Filter (-)	1473
11.6.9	Die Ulbricht-Kugel (-)	1476
11.6.10	Optisch-diffraktive Elemente (-/-)	1476
11.6.11	Polarisationsspezifische Elemente (-)	1477
11.6.12	Mikrostrukturierte Oberflächen (-/-)	1477
11.7	Messgrößen für optische Strahlungsströme (-)	1477
11.7.1	Messgrößen der Strahlungsemission (*)	1479
11.7.2	Messgrößen der Bestrahlung (-)	1484
11.7.3	Messgrößen des Strahlungsfeldes (-)	1485
11.7.4	Spektrale Gewichtung optischer Strahlung (*)	1487
11.7.5	Zusammenfassende Darstellung (-)	1489
11.8	Optische Strahlungsquellen (-)	1490
11.8.1	Strahlungsquellen mit vereinfachtem Abstrahlungsverhalten (*)	1492
11.8.2	Thermische Strahler (*)	1495
11.8.3	Gasentladungslampen (-)	1499
11.8.4	Licht emittierende Dioden (LEDs) (-)	1501
11.8.5	Laser (-)	1502
11.9	Strahlungsdetektoren (-)	1504
11.9.1	Empfindlichkeit, Signaldynamik (*)	1505
11.9.2	Lineare und logarithmische Strahlungsdetektion (*)	1507
11.9.3	Halbleiter-Photodioden (-)	1509
11.9.4	CCD-Chips (-)	1510
11.9.5	Photomultiplier / Multichannel Plates (-)	1512
11.9.6	Avalanche-Photodioden (-/-)	1515
11.10	Grundlagen des optischen Gerätebaus (*)	1515
11.10.1	Das Zusammenspiel von Beleuchtung und Abbildung (*)	1517
11.10.2	Geometrische Abbildung und Fouriertransformation (-/-)	1520
11.10.3	Gesetzmäßigkeiten des Strahlungsstroms (*)	1520
11.10.4	Kontrastmechanismen abbildender optischer Geräte (-)	1521
11.10.5	Die formgebende Bearbeitung optischer Bauelemente (-/-)	1527
11.10.6	Die Signaldynamik optischer Systeme (*)	1527
11.10.7	Zuverlässigkeit von Messgeräten (*)	1528
11.11	Einige geometrisch-optische Baugruppen u. Geräte (-)	1531
11.11.1	Relais-Optik / Diapositiv-Projektor (*)	1531
11.11.2	Die sequentielle Relais-Optik (*)	1531
11.11.3	Das Photometer (*)	1532
11.11.4	Scannende Abbildungsgeräte (-)	1535
11.11.5	Tomographische Verfahren der Bilderzeugung (-)	1547
11.11.6	Bildanalyse (-)	1549

11.11.7 Solar-Konzentratoren (-)	1555
11.12 Wellenoptische Geräte (-/-)	1559
11.12.1 Interferometer (-/-)	1559
11.12.2 Holographische Abbildungssysteme (-/-)	1559
11.12.3 Das optische Kurzzeitkohärenz-Mikroskop (-)	1559
11.13 Optik des täglichen Lebens (-)	1561
11.13.1 Beleuchtungsquellen (-)	1561
11.13.2 Der konventionelle photographische Film (-)	1563
11.13.3 Die Kamera (*)	1566
11.13.4 Das optische System des Auges (*)	1569
11.13.5 Die Retina (-)	1575
11.13.6 Geräte zur Unterstützung des Augensystems (*)	1577
11.13.7 Der Sextant (-)	1586
11.13.8 Die optische Datenspeicherung (-)	1588
11.14 Die Detektion von Farben (*)	1592
11.14.1 Grundkonzept eines farbselektiven Strahlungsmesssystems (*)	1593
11.14.2 Topologische Eigenschaften der Farbortmenge (*)	1598
11.14.3 Aktiv und passiv strahlende Objekte - die Farbe weiß (*)	1600
11.14.4 Dimension und Qualität eines Farbmesssystems (*)	1603
11.14.5 Das menschliche Farbmesssystem - die DIN-Farbkoordinaten (-)	1607
11.14.6 Das UBV-Farbmesssystem der Astronomie (-)	1608
11.14.7 Der Glanz (*)	1609
11.14.8 Der Farbabstand (*)	1611
11.14.9 Die Theorie deckender Anstriche (*)	1614
11.14.10 Wiedergabe von Farbbildern - Farbkorrektur (-)	1623
11.15 Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	1625
11.15.1 Optimierung der Abbildungsqualität (*)	1625
11.15.2 Falschlichtminimierung (*)	1626
11.15.3 Ausleuchtung größerer Flächen (*)	1628
11.15.4 Stabilisierung von Strahlungsquellen (-/-)	1631
11.15.5 Kalibrierung von Strahlungsdetektoren (*)	1631
11.15.6 Das Spektralprodukt optischer Geräte (*)	1633
11.15.7 Retroreflektoren (-/-)	1636
11.15.8 Messung des Streuvermögens (*)	1636
11.15.9 Messung des Absorptionsvermögens streuender Proben (*)	1637
11.15.10 Qualitätstests an Spektralphotometern (-)	1639
11.15.11 Apparative Trennung von Fluoreszenz und Ramanstreuung (*)	1640
11.15.12 Aktive und passive Anzeigen (*)	1644
11.15.13 Warum sind die Pflanzenblätter grün? (*)	1645
11.15.14 Die Farbe der Meere und des Himmels (-)	1647
11.15.15 Optik des Alters-Kataraktes (-/-)	1655
11.16 Aufgaben (-)	1655

11.17 Zahlenwerte (-) . . . . .	1656
11.18 Literatur (-) . . . . .	1659

## **12 Materialwissenschaft - Basis technischen Wirkens (-) 1663**

12.1 Drei Grundfragen der Materialwissenschaft (*) . . . . .	1665
12.1.1 Warum sind Festkörper verformbar? (*) . . . . .	1665
12.1.2 Warum sind Festkörper schadenstolerant? (*) . . . . .	1667
12.1.3 Warum sind Konstruktionskonzepte größenabhängig? (-) . . . . .	1668
12.2 Die Energieform Verzerrungsenergie (-) . . . . .	1673
12.2.1 Verformung, Verzerrung (-) . . . . .	1674
12.2.2 Der linear-elastische Festkörper (-) . . . . .	1679
12.2.3 Einfache Spannungszustände (-/-) . . . . .	1683
12.2.4 Elastische Schwingungen (-/-) . . . . .	1683
12.3 Linear-visko-elastische Materialien (-) . . . . .	1683
12.3.1 Das periodische Belastungsexperiment (DMA) (*) . . . . .	1684
12.3.2 Relaxationsprozesse in visko-elastischen Materialien (*) . . . . .	1686
12.3.3 DMA-Spektren einiger typischer Polymere (-) . . . . .	1689
12.3.4 Das dielektrische Relaxationsverhalten visko-elastischer Materialien (-/-) . . . . .	1692
12.4 Nichtlineares Materialverhalten (-) . . . . .	1693
12.4.1 Nichtlineare Materialkennlinie, inhomogene Verformung (*) . . . . .	1693
12.4.2 Irreversible Verformung / Duktilität (*) . . . . .	1697
12.4.3 Nichtlinearität und Geometrieabhängigkeit (-) . . . . .	1699
12.4.4 Zerstörende Belastung / Zähigkeitsdefinitionen (-) . . . . .	1701
12.4.5 Nichtelastische Wechselbelastungen / Ermüdung (-/-) . . . . .	1704
12.4.6 Die Härte von Materialien (*) . . . . .	1704
12.5 Die Aggregatzustände fest/flüssig/gasförmig (*) . . . . .	1705
12.5.1 Thermodynamische Definition der Aggregatzustände . . . . .	1705
12.5.2 Eigentliche Festkörper (-) . . . . .	1707
12.5.3 Viskose Festkörper (-) . . . . .	1707
12.5.4 Eigentliche Flüssigkeiten (-/-) . . . . .	1708
12.5.5 Elastische Flüssigkeiten (-) . . . . .	1708
12.6 Anwendungsorientierte Klasseneinteilung der Werkstoffe (-) . . . . .	1709
12.6.1 Steife Materialien (-) . . . . .	1709
12.6.2 Elastomere Materialien (-) . . . . .	1711
12.6.3 Plastische Materialien (-) . . . . .	1716
12.6.4 Anisotrope Materialien (-) . . . . .	1717
12.7 Das Werkstoffkonzept der Mehrphasigkeit (-) . . . . .	1718
12.7.1 Nichtlineare Verformung durch inhomogene Struktur . . . . .	1719
12.7.2 Zähigkeit durch verformbare Füllstoffe (-) . . . . .	1719
12.7.3 Verstärkung durch steife Füllstoffe (-) . . . . .	1721

12.7.4	Das Füllstoff/Matrix-Interface (-)	1723
12.7.5	Nichtlineare Versteifung verformbarer Werkstoffe (-/-)	1728
12.8	Technische Konstruktions-Werkstoffe vom Typ 1 (-)	1728
12.8.1	Mikro-kristalline Metalle (-)	1728
12.8.2	Mehrphasen-Metall-Legierungen (-)	1730
12.8.3	Amorphe Polymere (-)	1731
12.8.4	Teilkristalline Polymere (-)	1732
12.8.5	Polymer-Blends (-)	1734
12.8.6	Technischer Gummi (-)	1736
12.9	Technische Konstruktions-Werkstoffe vom Typ 2 (Composites) (-)	1738
12.9.1	Materialien für Füllstoffe und Fasern (-)	1739
12.9.2	Makroskopisch isotrope Composites (-)	1741
12.9.3	Anisotrope Composites (-)	1746
12.9.4	Das 3D-Fachwerk: der Werkstoff der Zukunft? (-/-)	1757
12.10	Vergleichende Gegenüberstellung dieser Werkstoffklassen (-/-)	1758
12.11	Formgebung und Materialbearbeitung (-)	1758
12.11.1	Formgebung durch Verwendung eines Modells (-)	1759
12.11.2	Spanabhebende Formgebungs-Verfahren (-)	1760
12.11.3	Spanlose Formgebungs-Verfahren (-/-)	1762
12.11.4	Verbindungstechniken (-/-)	1762
12.11.5	Wärme-Nachbehandlung (-/-)	1762
12.11.6	Oberflächenbearbeitung (-/-)	1762
12.11.7	Verarbeitungsmöglichkeiten einiger Materialklassen (-)	1763
12.12	Haftung / Reibung / Abrieb (*)	1764
12.12.1	phänomenologische Beschreibung von Reibung und Abrieb (*)	1765
12.12.2	Abrasiver Abrieb (*)	1769
12.12.3	Adhäsion / adhäsive Reibung (-)	1770
12.13	Verfahren der materialwissenschaftlichen Charakterisierung (-)	1770
12.13.1	Experimentelle Bestimmung elastischer Konstanten (-/-)	1771
12.13.2	Differential Scanning Calorimetry (DSC) (*)	1771
12.13.3	Thermisch-mechanische Analyse (TMA) (*)	1774
12.13.4	Thermogravimetrie (TGA) (-)	1775
12.13.5	Messung der Vernetzungsstellendichte von Elastomeren (-/-)	1776
12.14	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	1776
12.14.1	Die natürliche Spinnenseide (-/-)	1776
12.14.2	Der Mechanical Bowler (-)	1776
12.14.3	Jahreszeitspezifische Fahrzeugreifen (-/-)	1779
12.15	Aufgaben (-/-)	1779
12.16	Zahlenwerte (-/-)	1780
12.17	Literatur (-)	1781

<b>13</b>	<b>Strukturanalyse - Grundlage der chemischen Forschung (-)</b>	<b>1783</b>
13.1	Verfahren zur Trennung chemisch unterschiedlicher Substanzen (-) . . .	1785
13.1.1	Chromatographische Trenn-Verfahren (-) . . . . .	1785
13.2	Verfahren zur Aufklärung der chemischen Struktur (-) . . . . .	1788
13.2.1	Spektroskopische Verfahren (-) . . . . .	1789
13.2.2	Beugungs- und Streuverfahren (-) . . . . .	1800
13.3	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-) . . . . .	1805
13.4	Aufgaben (-/-) . . . . .	1805
13.5	Zahlenwerte (-/-) . . . . .	1806
13.6	Literatur (-) . . . . .	1807
<b>14</b>	<b>Elektronik - tägliches Werkzeug des Experimentalphysikers (-)</b>	<b>1809</b>
14.1	Elektronische Systeme, Response-Funktionen (*) . . . . .	1810
14.1.1	Die Topologie elektronischer Systeme (-) . . . . .	1810
14.1.2	Elektronische Zweipole (*) . . . . .	1812
14.1.3	Elektronische Vierpole (*) . . . . .	1819
14.2	Technische Bauteile (-) . . . . .	1830
14.2.1	Widerstände (*) . . . . .	1830
14.2.2	Induktivitäten (*) . . . . .	1834
14.2.3	Kondensatoren (*) . . . . .	1837
14.2.4	Schwing-Quarze (-/-) . . . . .	1841
14.2.5	Dioden (*) . . . . .	1841
14.2.6	Transistoren (*) . . . . .	1844
14.2.7	Integrierte Schaltkreise (ICs) (-) . . . . .	1847
14.2.8	Optokoppler (-) . . . . .	1848
14.2.9	Analoge Optokoppler (-/-) . . . . .	1850
14.2.10	Relais (*) . . . . .	1851
14.2.11	Elektronenröhren (*) . . . . .	1853
14.3	Analoge Signalverarbeitung (-) . . . . .	1859
14.3.1	Einfache passive Schaltungen (-/-) . . . . .	1861
14.3.2	Resonante passive Schaltungen (-) . . . . .	1861
14.3.3	Filterschaltungen (-) . . . . .	1865
14.3.4	Der Wellenleiter (-/-) . . . . .	1875
14.3.5	Der Verstärker (-) . . . . .	1875
14.3.6	Die Spannungsversorgung (-) . . . . .	1880
14.3.7	Elektronisches Rauschen (-) . . . . .	1883
14.3.8	Analoge elektronische Ein- und Ausgabegeräte (-) . . . . .	1884
14.4	Analoge Signalübertragung (-) . . . . .	1886
14.4.1	Uncodierte analoge Signalübertragung (-) . . . . .	1886
14.4.2	Das Konzept der Trägerfrequenz (-) . . . . .	1887
14.4.3	Codierungstechniken (-) . . . . .	1887
14.5	Rückgekoppelte elektronische Systeme (*) . . . . .	1894

14.5.1	Der Oszillator (*)	1894
14.5.2	Der Operationsverstärker (*)	1898
14.5.3	Allgemeine Regelungstechnik (*)	1906
14.6	Digitale Signalverarbeitung (-)	1916
14.6.1	Aussagen-Logik (*)	1919
14.6.2	Gatterschaltungen (*)	1921
14.6.3	Inverter (*)	1922
14.6.4	Multivibratoren (*)	1924
14.6.5	Zeichnungssymbole für digitale Schaltungen (-)	1927
14.6.6	Typische Struktur eines elektronischen Steuergerätes (*)	1927
14.6.7	Basisstruktur eines Digitalrechners (*)	1930
14.6.8	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS (-/-)	1933
14.6.9	Das Bus-Konzept der Signalübertragung (-)	1934
14.6.10	Informationsverlust bei der digitalen Signalverarbeitung (-)	1935
14.6.11	Digitale elektronische Ein- und Ausgabegeräte (-/-)	1937
14.6.12	Umwandlung analoger und digitaler Signale (-/-)	1937
14.7	Störsignale (-)	1937
14.7.1	Mechanismen der Störsignaleinstreuung (-)	1938
14.7.2	Maßnahmen zur Störsignalreduzierung (*)	1939
14.8	Elektronik des täglichen Lebens (-)	1942
14.8.1	Der Telegraph / Fernschreiber (-/-)	1942
14.8.2	Der Rundfunk-Empfänger (-)	1942
14.8.3	Der Fernseh-Empfänger (-)	1947
14.8.4	Der Mobilfunk (-/-)	1953
14.8.5	Das Internet (-/-)	1953
14.9	Messverfahren der Elektronik (-)	1953
14.9.1	Das Drehspulinstrument (-)	1953
14.9.2	Das Digital-Multimeter (-)	1954
14.9.3	Frequenz- und Zeitmessung (-/-)	1955
14.9.4	Das Oszilloskop (*)	1955
14.9.5	Der Transienten-Recorder (*)	1958
14.9.6	Das Sampling-Oszilloskop (-)	1960
14.9.7	Der Lock-In-Verstärker (-)	1961
14.10	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	1963
14.10.1	Ratschläge zum Schaltungsentwurf (*)	1963
14.10.2	Detail-Empfehlungen zur Störsignalreduzierung (*)	1965
14.10.3	Frequenzvergleich mit dem Oszilloskop (-)	1967
14.10.4	Optimierung eines Regelkreises (-)	1968
14.10.5	Messzeit-Optimierung bei der Frequenzanalyse (-)	1968
14.10.6	Der ALOA-Multilayer-Folienkondensator (-/-)	1969
14.10.7	Die Kybernetik und der gesunde Menschenverstand (-/-)	1969
14.10.8	Das System Volkswirtschaft (-/-)	1969

14.11 Aufgaben (-/-) . . . . .	1969
14.12 Zahlenwerte (-/-) . . . . .	1969
14.13 Literatur (-) . . . . .	1970
<b>15 Anhang (-)</b>	<b>1971</b>
15.1 (Eigentlicher Anhang) (-/-) . . . . .	1971
15.2 Lösungen der Aufgaben (-) . . . . .	1971
15.2.1 zu Heft 2: Die besondere Denkweise des Physikers (-) . . . . .	1971
15.2.2 zu Heft 3: Mechanik (-) . . . . .	1974
15.2.3 zu Heft 4: Elektrostatik (-) . . . . .	1990
15.2.4 zu Heft 5: Magnetostatik (-/-) . . . . .	1994
15.2.5 zu Heft 6: Elektrodynamik (-/-) . . . . .	1994
15.2.6 zu Heft 7: Quantenmechanik (-) . . . . .	1995
15.2.7 zu Heft 8: Thermodynamik (-) . . . . .	2006
15.2.8 zu Heft 9: Kristallphysik (-/-) . . . . .	2018
15.2.9 zu Heft 10: Elementarteilchen, Kosmologie (-) . . . . .	2018
15.2.10 zu Heft 11: Optik (-) . . . . .	2019
15.2.11 zu Heft 12: Materialwissenschaft (-/-) . . . . .	2022
15.2.12 zu Heft 13: Strukturanalyse (-/-) . . . . .	2022
15.2.13 zu Heft 14: Elektronik (-/-) . . . . .	2022
15.3 Literatur zur Physik insgesamt (-) . . . . .	2023