

# 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	Begriffs-Definitionen (*) . . . . .	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	Ebene periodische Bewegungen (-)	215
3.2.5	Zentralbewegungen (-)	217
3.2.6	Die Keplerschen Gesetze (-)	219
3.2.7	Die Ursache von Bewegungen (*)	220
3.2.8	Die Relativitätsprinzipien des Anschauungsraums (*)	227
3.2.9	Physikalische Vektoren (-/-)	230
3.2.10	Die Vereinheitlichung von Raum und Zeit (*)	230
3.2.11	Die wichtigsten Aussagen der speziellen Relativitätstheorie (-)	236
3.2.12	Die Gravitation (-)	254
3.2.13	Beschleunigte Bezugssysteme (-/-)	274
3.2.14	Tensor-Algebra (-)	275
3.2.15	Grundzüge der Differenzial-Geometrie (-/-)	279
3.2.16	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 (-)	356
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 (-)	384
3.5.7	Mechanische Maschinen (-)	391
3.5.8	Hydraulische Maschinen (-/-)	392
3.5.9	Die Verteilung von Gasen in der Atmosphäre (-)	392
3.5.10	Strömungsantriebe (-/-)	395
3.5.11	Windkraftanlagen (-)	396
3.5.12	Segeln (-)	400
3.5.13	Musik / Musikinstrumente / Sprache (-)	419
3.6	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	450
3.6.1	Umgang mit partiellen Ableitungen (*)	450
3.6.2	Der Vektorbegriff in der Mathematik und in der Physik (-/-)	451
3.6.3	Parameterdarstellung von Funktionen (-/-)	451
3.6.4	Die Kinderschaukel (-/-)	451
3.6.5	Die Pioneer-Anomalie (-)	452
3.6.6	Unser Planetensystem (-)	453
3.6.7	Extensive Größen und deren Ströme in der Ökonomie (-)	462
3.7	Aufgaben (-)	465
3.8	Zahlenwerte (-)	470
3.9	Literatur (-)	472

<b>4</b>	<b>Elektrostatik - Basis von Blitz und Fax (-)</b>	<b>475</b>
4.1	Komplexe Zahlen und Funktionen (-) . . . . .	476
4.1.1	Algebra der komplexen Zahlen (*) . . . . .	476
4.1.2	Die Ableitung komplexer Funktionen (*) . . . . .	482
4.1.3	Die Integration komplexer Funktionen (*) . . . . .	485
4.1.4	Die Singularitäten komplexer Funktionen (-/-) . . . . .	489
4.2	Mathematische Grundlagen des System-Response (-) . . . . .	490
4.2.1	Linear Response, Suszeptibilität (*) . . . . .	490
4.2.2	Nicht-instantaner Linear Response (*) . . . . .	492
4.2.3	Frequenzabhängigkeit der linearen Suszeptibilität (*) . . . . .	493
4.2.4	Suszeptibilität einfacher Modellsysteme (-) . . . . .	497
4.2.5	Systemantwort auf eine Sprungfunktion (-) . . . . .	499
4.2.6	Nichtlineare Response-Funktionen (-/-) . . . . .	500
4.2.7	Komplexwertige physikalische Größen (-) . . . . .	500
4.3	Grundfakten der Elektrostatik (-) . . . . .	507
4.3.1	Die Energieform elektrische Energie (*) . . . . .	507
4.3.2	Das elektrische Feld einer Punktladung (-) . . . . .	511
4.3.3	Elektrostatische Felder beliebiger Ladungsverteilungen (-) . . . . .	514
4.3.4	Die elektrische Feldenergie (-) . . . . .	518
4.4	Materie im elektrischen Feld (-) . . . . .	520
4.4.1	Ladungsverteilung in leitenden Materialien (-) . . . . .	520
4.4.2	Das Gesamtsystem aus Materie und elektrischem Feld (-) . . . . .	526
4.4.3	Dielektrische Materialien (-) . . . . .	534
4.4.4	Ferro-elektrische Materialien (-/-) . . . . .	537
4.4.5	Die dielektrische Funktion (-) . . . . .	537
4.4.6	Nichtlineare Polarisierung (-/-) . . . . .	538
4.5	Nicht-elektrisch induzierte Polarisierung (-) . . . . .	538
4.5.1	Der Piezo-Effekt (-) . . . . .	539
4.5.2	Die Pyro-Elektrizität (-/-) . . . . .	540
4.6	Reibungselektrizität (-) . . . . .	540
4.6.1	Experimentelle Grundphänomene der Reibungselektrizität (-) . . . . .	541
4.6.2	Physikalische Deutung der Reibungselektrizität (-) . . . . .	542
4.7	Messung elektrostatischer Größen (-/-) . . . . .	544
4.7.1	Elektrostatische Spannungsgeneratoren (-/-) . . . . .	544
4.7.2	Elektrostatische Kondensatoren (-/-) . . . . .	544
4.7.3	Das Elektrometer (-/-) . . . . .	545
4.7.4	Die Bestimmung der Elementarladung (-) . . . . .	545
4.8	Elektrostatik des täglichen Lebens (-) . . . . .	546
4.8.1	Elektrostatik der Erdatmosphäre (-) . . . . .	547
4.8.2	Der elektrostatische Kopierer (-) . . . . .	552
4.8.3	Elektrostatische Sprühvorrichtungen (-/-) . . . . .	554
4.8.4	Elektrostatische Probleme in Produktionsbetrieben (-/-) . . . . .	554

4.9	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	556
4.9.1	Nutzen/Grenzen der Fourier-Darstellung v. $\chi(t)$ (-/-)	556
4.9.2	Verhalten im Freien bei Gewitter (-)	556
4.10	Aufgaben (-)	558
4.11	Zahlenwerte (-/-)	559
4.12	Literatur (-)	560
<b>5</b>	<b>Magnetostatik - das Kraftpaket (-)</b>	<b>561</b>
5.1	Die Grundfakten der Magnetostatik (-)	561
5.1.1	Die Energieform magnetische Energie (-)	563
5.1.2	Das magnetische Feld (-)	565
5.1.3	Die magnetische Feldenergie (-)	569
5.2	Materie im magnetischen Feld (-)	569
5.2.1	Das Gesamtsystem aus Materie und magnetischem Feld (-)	569
5.2.2	Diamagnetische Materialien (-)	574
5.2.3	Paramagnetische Materialien (-)	575
5.2.4	Ferromagnetische Materialien (-/-)	575
5.3	Messung magnetischer Größen (-/-)	575
5.4	Magnetostatik des täglichen Lebens (-/-)	575
5.5	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	575
5.6	Aufgaben (-/-)	576
5.7	Zahlenwerte (-/-)	576
5.8	Literatur (-)	576
<b>6</b>	<b>Elektrodynamik - Maxwells Lebenswerk (-)</b>	<b>577</b>
6.1	Die Verknüpfung von elektrischen und magnetischen Effekten (*)	577
6.1.1	Die magnetische Erzeugung elektrischer Felder (*)	578
6.1.2	Die elektrische Erzeugung magnetischer Felder (-)	579
6.1.3	Selbstinduktion / Induktivität (-)	584
6.1.4	Die Lorentz-Kraft (-)	586
6.1.5	Feldtheoretische Formulierung d. elektrodynamischen Gesetze (-)	589
6.1.6	Relativistische Elektrodynamik (-/-)	594
6.2	Die periodischen Lösungen der Maxwell-Gleichungen (-)	595
6.2.1	Die Wellengleichung des elektromagnetischen Feldes (*)	596
6.2.2	Die Lösungen der Wellengleichung (-/-)	597
6.2.3	Elektromagnetische Strahlung (-)	597
6.3	Messung elektrodynamischer Größen (-/-)	605
6.4	Elektrodynamik des täglichen Lebens (-)	605
6.4.1	Der Elektromotor (-)	605
6.4.2	Der Generator (-/-)	608
6.4.3	Der Transformator (-)	608

6.4.4	Das Kraftwerk (-)	609
6.4.5	Das Drehstromkonzept (-)	611
6.4.6	Das Stromnetz (-)	613
6.5	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	617
6.6	Aufgaben (-/-)	617
6.7	Zahlenwerte (-/-)	618
6.8	Literatur (-)	619
<b>7</b>	<b>Quantenmechanik - Revolution des physikalischen Weltbildes (-)</b>	<b>621</b>
7.1	Teilchen und Wellen im Bild der klassischen Physik (*)	622
7.2	Die entscheidenden experimentellen Fakten (*)	624
7.2.1	Quantisierung ruhemasseloser Strahlung (*)	624
7.2.2	Interferenz ruhemasse-behafteter Teilchen (*)	625
7.2.3	Die Stabilität der Atome (*)	627
7.2.4	Die statistische Natur physikalischer Messergebnisse (*)	629
7.2.5	Die Unschärferelation (-)	629
7.2.6	Der Tunneleffekt (*)	631
7.2.7	Die Ununterscheidbarkeit identischer Teilchen (*)	632
7.2.8	Das Korrespondenzprinzip (*)	633
7.3	Die Grundstruktur der Quantenmechanik (*)	634
7.4	Mathematische Strukturen der Quantenmechanik (*)	647
7.4.1	Vektorräume (*)	647
7.4.2	Lineare Unabhängigkeit / Definition einer Basis (*)	649
7.4.3	Die Determinante einer Matrix (-)	652
7.4.4	Untervektorräume (-)	652
7.4.5	Norm / Skalarprodukt / Vollständigkeit / Orthogonalität (*)	653
7.4.6	Funktionen-Räume (-)	657
7.4.7	Operatoren / Eigenvektoren / Hermitezität (-)	668
7.4.8	Verknüpfung von Operatoren (-)	672
7.4.9	Diagonalisierung von Operatoren (-/-)	674
7.4.10	Maßtheorie und Wahrscheinlichkeitsrechnung (-)	674
7.5	Die konsistente Formulierung der Quantenmechanik (-)	692
7.6	Darstellungsarten der Quantenmechanik (-/-)	694
7.6.1	Darstellung der Zustände als Funktionen im Ortsraum (Schrödinger-Darstellung) (-/-)	694
7.6.2	Darstellung der Zustände über die Eigenzustände einer diskret verteilten Observablen (Heisenberg-Darstellung) (-/-)	694
7.6.3	Dichtefunktionale (-/-)	694
7.7	Die wichtigsten Operatoren (-)	695
7.7.1	Der Orts-Operator (-)	695
7.7.2	Der Impuls-Operator (-)	695
7.7.3	Der Drehimpuls-Operator (-/-)	697

7.7.4	Der Operator des elektromagnetischen Feldes (-/-)	698
7.7.5	Der Operator für das magnetische Moment (-/-)	698
7.7.6	Der Spin-Operator (-/-)	698
7.7.7	Der Teilchenzahl-Operator (-)	699
7.7.8	Der Energie-Operator (-)	699
7.7.9	Die Operatoren für Ströme extensiver Größen (-/-)	699
7.7.10	Äußere und innere Variablen (-/-)	700
7.8	Faktorisierende Systeme / 2. Quantisierung (-)	700
7.8.1	Wechselwirkungsfreie Untersysteme (-)	700
7.8.2	Systeme aus identischen Teilchen (-)	701
7.8.3	Die 2. Quantisierung (-)	705
7.9	Anwendungsbeispiele (-)	708
7.9.1	Das Teilchen im Kasten-Potenzial (-)	709
7.9.2	Der harmonische Oszillator (-)	716
7.9.3	Das Elektron im Coulombfeld (-)	724
7.9.4	Das elektromagnetische Strahlungsfeld (-/-)	728
7.9.5	2-Zustands-Systeme (-/-)	728
7.10	Der quasi-klassische Grenzfall (-/-)	729
7.11	Verschränkte Zustände (-/-)	729
7.12	Quantenmechanische Störungstheorie (-)	729
7.12.1	Die zeitunabhängige Störung eines nicht entarteten Systems (-)	730
7.12.2	Die Störungstheorie eines entarteten Systems (-)	732
7.12.3	Die Theorie zeitabhängiger Störungen (-/-)	733
7.12.4	Berechnung von Übergangswahrscheinlichkeiten (-/-)	733
7.12.5	Streuprozesse (-)	734
7.13	Anwendungen der Störungstheorie (-/-)	736
7.13.1	Das Elektronensystem der Atome (-/-)	736
7.13.2	Quantenmechanik der chemischen Bindung (-)	736
7.13.3	Strahlungs-Emission und -Absorption (-/-)	739
7.13.4	Der Raman-Effekt (-)	739
7.13.5	Magnetische Resonanz (-/-)	742
7.13.6	Mehrphotonen-Prozesse (-/-)	742
7.14	Quantenfeldtheorie (-/-)	742
7.14.1	Quantenelektrodynamik (-/-)	742
7.15	Makroskopische quantenmechanische Systeme (-)	743
7.15.1	Elementare Anregungen / Quantenkondensation (-)	743
7.15.2	Das Bose-Einstein-Kondensat (-/-)	745
7.15.3	Die Supraleitung (-/-)	745
7.15.4	Die Suprafluidität (-/-)	746
7.16	Offene Fragen der Quantenmechanik (-/-)	746
7.17	Quantenmechanik des täglichen Lebens (-)	746
7.17.1	Physik der Atomkerne (-)	746

7.17.2	Physik der H-Bombe u. des Fusions-Reaktors (-)	761
7.17.3	Physik der Kernspaltungs-Bombe u. des Spaltungs-Reaktors (-)	770
7.17.4	Nuklearmedizin (-/-)	783
7.17.5	Die Lagerung radioaktiver Abfälle (-)	785
7.17.6	Einheiten für die Messung radioaktiver Strahlung (-)	790
7.17.7	Wechselwirkung zw. Kommunikations-Strahlung u. Materie (-)	793
7.18	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	797
7.18.1	Der Umgang mit Wahrscheinlichkeitsgrößen (-)	797
7.18.2	Abschätzungen mit Hilfe von Mittelwerten (-)	797
7.18.3	Testverfahren (-)	798
7.18.4	Natürliche Kernspaltungs-Reaktoren (-)	799
7.18.5	Die kalte Fusion (-/-)	801
7.19	Aufgaben (-)	801
7.20	Zahlenwerte (-)	803
7.21	Literatur (-)	806
<b>8</b>	<b>Thermodynamik - Verknüpfung von Mikro- und Makro-Kosmos (*)</b>	<b>809</b>
8.1	Phänomenologische Gleichgewichts-Thermodynamik (*)	810
8.1.1	Die Energieform thermische Energie (*)	810
8.1.2	Die Energieform chemische Energie (-)	812
8.1.3	Energie-Umwandlungen (*)	814
8.1.4	2 Hauptsätze der Thermodynamik (*)	817
8.1.5	Energieartige Gibbs-Funktionen (*)	818
8.1.6	Entropieartige Gibbs-Funktionen (*)	820
8.1.7	Isotherme Austauschprozesse (-)	821
8.1.8	Materialparameter (*)	822
8.1.9	Zustandsgleichungen (*)	831
8.1.10	Ideale Gase (*)	834
8.1.11	Reale Gase / van-der-Waals-Gleichung (-)	839
8.1.12	Chemische Reaktionen (-)	842
8.1.13	Phasen, Phasengrenzen, Stabilität (*)	852
8.1.14	Koexistenz von Phasen (*)	857
8.1.15	Phasendiagramme, Phasenübergänge (*)	863
8.1.16	Innere Variablen, Phasenübergänge 2. Art (-)	869
8.1.17	Lösungen (*)	872
8.1.18	Die Energieform Grenzflächenenergie (-)	877
8.2	Thermodynamik der dissipativen Ströme (-)	883
8.2.1	Der Nichtgleichgewichtszustand (-)	883
8.2.2	Verallgemeinerte Ströme und thermodynamische Kräfte (-/-)	884
8.2.3	Transportkoeffizienten (-/-)	884
8.2.4	Teilchen-Diffusion (-/-)	885
8.2.5	Wärmeleitung (-/-)	885



8.2.6	Irreversible Strömungsmechanik (-/-)	885
8.2.7	Stationäre elektrische Ströme (-/-)	886
8.3	Elektrochemie (-)	886
8.3.1	Die Energieform elektrochemische Energie (-)	888
8.3.2	Elektrolyt, Dissoziation (-)	890
8.3.3	Das abgeschirmte Coulomb-Potenzial (-)	891
8.3.4	Einige Elektrolyt-Systeme (-)	893
8.3.5	Elektrochemische Kontakte (-/-)	897
8.3.6	Stationäre Ströme in Elektrolyten (-/-)	898
8.3.7	Gasentladungen (-/-)	898
8.3.8	Plasmen (-/-)	898
8.4	Statistische Thermodynamik (*)	898
8.4.1	Mikro- und Makrozustände (*)	899
8.4.2	Thermischer Kontakt / Gleichgewicht / Entropie (*)	902
8.4.3	Der Nullpunkt der Entropie (*)	905
8.4.4	Weitere Austauschprozesse (*)	906
8.4.5	Entropie-Reservoirs / Boltzmannfaktor / Zustandssumme (*)	908
8.4.6	Die großkanonische Zustandssumme (*)	911
8.4.7	Vielteilchen-Systeme aus wechselwirkungsfreien Teilchen (*)	913
8.4.8	Statistische Thermodynamik der Phasenübergänge (-)	918
8.4.9	Theorie der Fluktuationen (-/-)	920
8.5	Thermodynamik der elektromagnetischen Strahlung (-)	920
8.5.1	Das Photonengas im thermodynamischen Gleichgewicht (*)	921
8.5.2	Strahlungsemission und -absorption (*)	924
8.5.3	Aktuelle Fragen der Strahlungs-Thermodynamik (-/-)	931
8.6	Messung thermodynamischer Größen (-)	931
8.6.1	Temperaturmessung (-)	931
8.6.2	Messung der Grenzflächen-Energie (-/-)	932
8.6.3	Messung von Reaktions-Enthalpien (-/-)	932
8.6.4	Messung elektrochemischer Kontaktpotenziale (-/-)	932
8.7	Thermodynamik des täglichen Lebens (-)	932
8.7.1	Technische Verfahren zur Herstellung chemischer Produkte (-)	932
8.7.2	Wärmetransport durch Leitung, Konvektion und Strahlung (-)	936
8.7.3	Wärmespeicher (-/-)	938
8.7.4	Das Wasser (-)	938
8.7.5	Das Feuer (-)	940
8.7.6	Die Gebäudetemperierung (-)	943
8.7.7	Wirbelstürme (-)	945
8.7.8	Elektrochemie des täglichen Lebens (-/-)	950
8.7.9	Wärmeleistungsmaschinen (-)	952
8.7.10	Kühlmaschinen und Wärmepumpen (-)	964
8.7.11	Thermodynamik der Energieversorgung (-)	969

8.8	Das Klima der Erde (-)	992
8.8.1	Strahlungsbilanz der Planeten / Treibhauseffekt (-)	993
8.8.2	Ein einfaches Modell des globalen Klimas (-)	1003
8.8.3	Die Struktur der Erd-Atmosphäre (-)	1017
8.8.4	Globale thermische Ausgleichsströme / das globale Klima (-)	1025
8.8.5	Die erdgesichtliche Entwicklung des globalen Klimas (-)	1043
8.8.6	Das Systemverhalten des Erdklimas (-)	1053
8.8.7	Eine Deutungs-Hypothese des globalen Klimas (-)	1070
8.9	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	1084
8.9.1	Alltags-Probleme beim Umgang mit thermischen Begriffen (-)	1084
8.9.2	Die Analogie von Wärmestrom und elektrischem Strom (-/-)	1086
8.9.3	Einige energietechnische Vorurteile (-)	1087
8.9.4	Meerwasser-Entsalzung (-/-)	1091
8.9.5	Das Klima im Grand Canyon und der Treibhauseffekt (*)	1091
8.9.6	Das Klima im Wald (-)	1093
8.9.7	Chancen e. positiven anthropogenen Klima-Beeinflussung (-)	1095
8.10	Aufgaben (-)	1098
8.11	Zahlenwerte (-)	1101
8.12	Literatur (-)	1106
<b>9</b>	<b>Kristallphysik - Dominanz der Symmetrie (-)</b>	<b>1109</b>
9.1	Der 3D-symmetrische Festkörper (-/-)	1111
9.1.1	Symmetrie-Operationen / Einheitszelle (-)	1111
9.1.2	Die wichtigsten Kristallklassen (-/-)	1113
9.1.3	Langreichweitige und kurzreichweitige Ordnung (-/-)	1113
9.2	Anregungen des Gittersystems (-/-)	1114
9.3	Anregungen des Elektronensystems (-/-)	1114
9.3.1	Das Elektron im periodischen Potenzial (-/-)	1114
9.3.2	Die Dichtefunktionaltheorie (-/-)	1114
9.3.3	Plasmonen (-/-)	1114
9.4	Elektrische Ströme in Kristallen (-/-)	1114
9.5	Metalle (-/-)	1114
9.6	Halbleiter (-/-)	1114
9.7	Kristall-Kontakte (-/-)	1115
9.8	Wechselwirkungen zwischen Gitter- und Elektronensystem (-/-)	1115
9.9	Geordnete Systeme von eingeschränkter Dimension (-/-)	1115
9.9.1	2-dimensionale geordnete Systeme (-/-)	1115
9.9.2	1-dimensionale geordnete Systeme (-/-)	1115
9.9.3	0-dimensionale Systeme (-/-)	1115
9.10	Ungeordnete makroskopische Systeme (-/-)	1115
9.11	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	1116
9.12	Aufgaben (-/-)	1116

9.13 Zahlenwerte (-/-) . . . . .	1116
9.14 Literatur (-/-) . . . . .	1117

## 10 Elementarteilchen, Kosmologie: Physik ganz klein / ganz groß (-)1119

10.1 Physik der Elementarteilchen (-) . . . . .	1119
10.1.1 Der Elementarteilchen-Zoo (-) . . . . .	1120
10.1.2 Die Ruhemasse der Elementarteilchen (*) . . . . .	1124
10.1.3 Die starke und die schwache Wechselwirkung (-/-) . . . . .	1128
10.1.4 Neutrinos (-) . . . . .	1128
10.1.5 Die SU(3)-Gruppe (-/-) . . . . .	1134
10.1.6 Das Quark-Modell (-) . . . . .	1134
10.1.7 Das Grundkonzept der Quantenchromodynamik (-) . . . . .	1140
10.1.8 Die Theorie der schwachen Wechselwirkung (-/-) . . . . .	1143
10.2 Astronomie (-) . . . . .	1144
10.2.1 Dynamik der Stern-Entstehung (-) . . . . .	1145
10.2.2 Fusions-Prozesse in Sternen (-) . . . . .	1156
10.2.3 Stationäre Zustände v. Sternen (-) . . . . .	1163
10.2.4 Endstadien von Sternen (-) . . . . .	1176
10.2.5 Sternumwandlungen (-) . . . . .	1186
10.2.6 Physik der Sterne / Zusammenfassende Darstellung (-) . . . . .	1200
10.2.7 Die Entstehung von Planetensystemen (-) . . . . .	1201
10.2.8 Physik unserer Sonne (-/-) . . . . .	1210
10.2.9 Physik unserer Erde (-) . . . . .	1211
10.2.10 Physik unserer Planeten (-) . . . . .	1241
10.2.11 Asteroide und Kometen (-) . . . . .	1321
10.2.12 Galaxien (-) . . . . .	1338
10.2.13 Sternhaufen (-) . . . . .	1352
10.2.14 Astronomische Objekte / Zusammenfassung . . . . .	1355
10.2.15 Galaxien-Cluster (-) . . . . .	1357
10.2.16 Historische Entwicklung der astronomischen Forschung (-/-) . . . . .	1358
10.3 Kosmologie (-) . . . . .	1358
10.3.1 Die Unsymmetrie von Materie und Antimaterie (-) . . . . .	1358
10.3.2 Die kosmologische Rotverschiebung (-/-) . . . . .	1359
10.3.3 Die $3 \cdot K$ -Hintergrundstrahlung (-) . . . . .	1359
10.3.4 Die Raum-Zeit-Entwicklung des Kosmos (-) . . . . .	1363
10.3.5 Die Bildung der Elemente (-) . . . . .	1369
10.3.6 Dunkle Materie und dunkle Energie (-/-) . . . . .	1370
10.3.7 Offene Fragen der Kosmologie (-/-) . . . . .	1372
10.4 Elementarteilchenphysik und Kosmologie des täglichen Lebens . . . . .	1372
10.4.1 Die kosmische Strahlung und der Sonnenwind (-) . . . . .	1372
10.5 Messung von Kenndaten der Elementarteilchen (-/-) . . . . .	1377
10.5.1 Kanalstrahl-Experimente (-/-) . . . . .	1377

10.5.2	Teilchenbeschleuniger (-/-)	1378
10.5.3	Teilchendetektoren (-/-)	1378
10.6	Messung astronomischer und kosmologischer Größen (-/-)	1378
10.6.1	Terrestische Teleskope (-/-)	1379
10.6.2	Weltraum-Teleskope (-)	1380
10.6.3	Radio-Astronomie (-/-)	1383
10.6.4	Entfernungen (-)	1383
10.6.5	Geschwindigkeiten (-/-)	1387
10.6.6	Massenbestimmungen (-/-)	1387
10.6.7	Geometrische Abmessungen (-)	1388
10.6.8	Altersbestimmungen (-)	1389
10.6.9	Spezielle Verfahren zur Bestimmung weiterer Kenndaten (-)	1393
10.6.10	Der Seismograph (-)	1393
10.6.11	Der Nachweis exosolarer Planeten (-/-)	1393
10.6.12	Die Internationale Raumstation (-)	1396
10.7	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	1398
10.8	Aufgaben (-)	1399
10.9	Zahlenwerte (-)	1401
10.10	Literatur (-)	1405
<b>11</b>	<b>Optik - Schwerpunkt aktueller Forschung (-)</b>	<b>1409</b>
11.1	Grundfakten der Ausbreitung elektromagnetischer Strahlung (-)	1411
11.1.1	Das Superpositionsprinzip (-)	1412
11.1.2	Beugung und Interferenz (-/-)	1413
11.1.3	Die Polarisation (-)	1413
11.1.4	Die Prinzipien von Huygens und Fermat (-)	1416
11.1.5	Die Kohärenz elektromagnetischer Strahlung (-)	1417
11.1.6	Die Optische Abbildung (-/-)	1419
11.1.7	Die Näherung der geometrischen Optik (-/-)	1419
11.2	Lineares optisches Materialverhalten (-)	1419
11.2.1	Reflexion und Brechung (*)	1420
11.2.2	Absorption, Streuung, Fluoreszenz (*)	1429
11.2.3	Reflexion und Brechung in absorbierenden Medien (-/-)	1434
11.3	Polarisations-spezifisches Materialverhalten (-)	1434
11.3.1	Die Response-Funktion polarisationsverändernder Materialien (-)	1434
11.3.2	Dichroismus (-)	1436
11.3.3	Doppelbrechung (-)	1438
11.3.4	Zirkular-Dichroismus / Optische Drehung (-)	1440
11.4	Feld-induziertes polarisationsabhängiges Verhalten (-/-)	1442
11.4.1	Elektrisch induzierte Doppelbrechung (-/-)	1443
11.4.2	Magnetisch induzierte Doppelbrechung (-/-)	1444

11.5	Nichtlineares optisches Materialverhalten (-/-)	1444
11.5.1	(diverse Abschnitte der nichtlinearen Optik) (-/-)	1445
11.6	Passive optische Elemente (-)	1445
11.6.1	Materialien für optische Elemente (-)	1445
11.6.2	Linsen (*)	1446
11.6.3	Spiegel (-)	1455
11.6.4	Prismen (-/-)	1457
11.6.5	Gitter (-)	1457
11.6.6	Optische Fasern (-)	1458
11.6.7	Blenden (*)	1460
11.6.8	Filter (-)	1461
11.6.9	Die Ulbricht-Kugel (-)	1464
11.6.10	Optisch-diffraktive Elemente (-/-)	1464
11.6.11	Polarisationsspezifische Elemente (-)	1465
11.6.12	Mikrostrukturierte Oberflächen (-/-)	1465
11.7	Messgrößen für optische Strahlungsströme (-)	1465
11.7.1	Messgrößen der Strahlungsemission (*)	1467
11.7.2	Messgrößen der Bestrahlung (-)	1472
11.7.3	Messgrößen des Strahlungsfeldes (-)	1473
11.7.4	Spektrale Gewichtung optischer Strahlung (*)	1475
11.7.5	Zusammenfassende Darstellung (-)	1477
11.8	Optische Strahlungsquellen (-)	1478
11.8.1	Strahlungsquellen mit vereinfachtem Abstrahlungsverhalten (*)	1480
11.8.2	Thermische Strahler (*)	1483
11.8.3	Gasentladungslampen (-)	1487
11.8.4	Licht emittierende Dioden (LEDs) (-)	1489
11.8.5	Laser (-)	1490
11.9	Strahlungsdetektoren (-)	1492
11.9.1	Empfindlichkeit, Signaldynamik (*)	1493
11.9.2	Lineare und logarithmische Strahlungsdetektion (*)	1495
11.9.3	Halbleiter-Photodioden (-)	1497
11.9.4	CCD-Chips (-)	1498
11.9.5	Photomultiplier / Multichannel Plates (-)	1500
11.9.6	Avalanche-Photodioden (-/-)	1503
11.10	Grundlagen des optischen Gerätebaus (*)	1503
11.10.1	Das Zusammenspiel von Beleuchtung und Abbildung (*)	1505
11.10.2	Geometrische Abbildung und Fouriertransformation (-/-)	1508
11.10.3	Gesetzmäßigkeiten des Strahlungsstroms (*)	1508
11.10.4	Kontrastmechanismen abbildender optischer Geräte (-)	1509
11.10.5	Die formgebende Bearbeitung optischer Bauelemente (-/-)	1515
11.10.6	Die Signaldynamik optischer Systeme (*)	1515
11.10.7	Zuverlässigkeit von Messgeräten (*)	1516

11.11	Einige geometrisch-optische Baugruppen u. Geräte (-)	1519
11.11.1	Relais-Optik / Diapositiv-Projektor (*)	1519
11.11.2	Die sequentielle Relais-Optik (*)	1519
11.11.3	Das Photometer (*)	1520
11.11.4	Scannende Abbildungsgeräte (-)	1523
11.11.5	Tomographische Verfahren der Bilderzeugung (-)	1535
11.11.6	Bildanalyse (-)	1537
11.11.7	Solar-Konzentratoren (-)	1543
11.12	Wellenoptische Geräte (-/-)	1547
11.12.1	Interferometer (-/-)	1547
11.12.2	Holographische Abbildungssysteme (-/-)	1547
11.12.3	Das optische Kurzzeitkohärenz-Mikroskop (-)	1547
11.13	Optik des täglichen Lebens (-)	1549
11.13.1	Beleuchtungsquellen (-)	1549
11.13.2	Der konventionelle photographische Film (-)	1551
11.13.3	Die Kamera (*)	1554
11.13.4	Das optische System des Auges (*)	1557
11.13.5	Die Retina (-)	1563
11.13.6	Geräte zur Unterstützung des Augensystems (*)	1565
11.13.7	Der Sextant (-)	1574
11.13.8	Die optische Datenspeicherung (-)	1576
11.14	Die Detektion von Farben (*)	1580
11.14.1	Grundkonzept eines farbselektiven Strahlungsmesssystems (*)	1581
11.14.2	Topologische Eigenschaften der Farbortmenge (*)	1586
11.14.3	Aktiv und passiv strahlende Objekte - die Farbe weiß (*)	1588
11.14.4	Dimension und Qualität eines Farbmesssystems (*)	1591
11.14.5	Das menschliche Farbmesssystem - die DIN-Farbkoordinaten (-)	1595
11.14.6	Das UVB-Farbmesssystem der Astronomie (-)	1596
11.14.7	Der Glanz (*)	1597
11.14.8	Der Farbabstand (*)	1599
11.14.9	Die Theorie deckender Anstriche (*)	1602
11.14.10	Wiedergabe von Farbbildern - Farbkorrektur (-)	1611
11.15	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	1613
11.15.1	Optimierung der Abbildungsqualität (*)	1613
11.15.2	Falschlichtminimierung (*)	1614
11.15.3	Ausleuchtung größerer Flächen (*)	1616
11.15.4	Stabilisierung von Strahlungsquellen (-/-)	1619
11.15.5	Kalibrierung von Strahlungsdetektoren (*)	1619
11.15.6	Das Spektralprodukt optischer Geräte (*)	1621
11.15.7	Retroreflektoren (-/-)	1624
11.15.8	Messung des Streuvermögens (*)	1624
11.15.9	Messung des Absorptionsvermögens streuender Proben (*)	1625

11.15.10	Qualitätstests an Spektralphotometern (-)	1627
11.15.11	Apparative Trennung von Fluoreszenz und Ramanstreuung (*)	1628
11.15.12	Aktive und passive Anzeigen (*)	1632
11.15.13	Warum sind die Pflanzenblätter grün? (*)	1633
11.15.14	Die Farbe der Meere und des Himmels (-)	1635
11.15.15	Optik des Alters-Kataraktes (-/-)	1643
11.16	Aufgaben (-)	1643
11.17	Zahlenwerte (-)	1644
11.18	Literatur (-)	1647
<b>12</b>	<b>Materialwissenschaft - Basis technischen Wirkens (-)</b>	<b>1651</b>
12.1	Drei Grundfragen der Materialwissenschaft (*)	1653
12.1.1	Warum sind Festkörper verformbar? (*)	1653
12.1.2	Warum sind Festkörper schadenstolerant? (*)	1655
12.1.3	Warum sind Konstruktionskonzepte größenabhängig? (-)	1656
12.2	Die Energieform Verzerrungsenergie (-)	1661
12.2.1	Verformung, Verzerrung (-)	1662
12.2.2	Der linear-elastische Festkörper (-)	1667
12.2.3	Einfache Spannungszustände (-/-)	1671
12.2.4	Elastische Schwingungen (-/-)	1671
12.3	Linear-visko-elastische Materialien (-)	1671
12.3.1	Das periodische Belastungsexperiment (DMA) (*)	1672
12.3.2	Relaxationsprozesse in visko-elastischen Materialien (*)	1674
12.3.3	DMA-Spektren einiger typischer Polymere (-)	1677
12.3.4	Das dielektrische Relaxationsverhalten visko-elastischer Materialien (-/-)	1680
12.4	Nichtlineares Materialverhalten (-)	1681
12.4.1	Nichtlineare Materialkennlinie, inhomogene Verformung (*)	1681
12.4.2	Irreversible Verformung / Duktilität (*)	1685
12.4.3	Nichtlinearität und Geometrieabhängigkeit (-)	1687
12.4.4	Zerstörende Belastung / Zähigkeitsdefinitionen (-)	1689
12.4.5	Nichtelastische Wechselbelastungen / Ermüdung (-/-)	1692
12.4.6	Die Härte von Materialien (*)	1692
12.5	Die Aggregatzustände fest/flüssig/gasförmig (*)	1693
12.5.1	Thermodynamische Definition der Aggregatzustände	1693
12.5.2	Eigentliche Festkörper (-)	1695
12.5.3	Viskose Festkörper (-)	1695
12.5.4	Eigentliche Flüssigkeiten (-/-)	1696
12.5.5	Elastische Flüssigkeiten (-)	1696
12.6	Anwendungsorientierte Klasseneinteilung der Werkstoffe (-)	1697
12.6.1	Steife Materialien (-)	1697

12.6.2	Elastomere Materialien (-)	1699
12.6.3	Plastische Materialien (-)	1704
12.6.4	Anisotrope Materialien (-)	1705
12.7	Das Werkstoffkonzept der Mehrphasigkeit (-)	1706
12.7.1	Nichtlineare Verformung durch inhomogene Struktur	1707
12.7.2	Zähigkeit durch verformbare Füllstoffe (-)	1707
12.7.3	Verstärkung durch steife Füllstoffe (-)	1709
12.7.4	Das Füllstoff/Matrix-Interface (-)	1711
12.7.5	Nichtlineare Versteifung verformbarer Werkstoffe (-/-)	1716
12.8	Technische Konstruktions-Werkstoffe vom Typ 1 (-)	1716
12.8.1	Mikro-kristalline Metalle (-)	1716
12.8.2	Mehrphasen-Metall-Legierungen (-)	1718
12.8.3	Amorphe Polymere (-)	1719
12.8.4	Teilkristalline Polymere (-)	1720
12.8.5	Polymer-Blends (-)	1722
12.8.6	Technischer Gummi (-)	1724
12.9	Technische Konstruktions-Werkstoffe vom Typ 2 (Composites) (-)	1726
12.9.1	Materialien für Füllstoffe und Fasern (-)	1727
12.9.2	Makroskopisch isotrope Composites (-)	1729
12.9.3	Anisotrope Composites (-)	1734
12.9.4	Das 3D-Fachwerk: der Werkstoff der Zukunft? (-/-)	1745
12.10	Vergleichende Gegenüberstellung dieser Werkstoffklassen (-/-)	1746
12.11	Formgebung und Materialbearbeitung (-)	1746
12.11.1	Formgebung durch Verwendung eines Modells (-)	1747
12.11.2	Spanabhebende Formgebungs-Verfahren (-)	1748
12.11.3	Spanlose Formgebungs-Verfahren (-/-)	1750
12.11.4	Verbindungstechniken (-/-)	1750
12.11.5	Wärme-Nachbehandlung (-/-)	1750
12.11.6	Oberflächenbearbeitung (-/-)	1750
12.11.7	Verarbeitungsmöglichkeiten einiger Materialklassen (-)	1751
12.12	Haftung / Reibung / Abrieb (*)	1752
12.12.1	Phänomenologische Beschreibung von Reibung und Abrieb (*)	1753
12.12.2	Abrasiver Abrieb (*)	1757
12.12.3	Adhäsion / adhäsive Reibung (-)	1758
12.13	Verfahren der materialwissenschaftlichen Charakterisierung (-)	1758
12.13.1	Experimentelle Bestimmung elastischer Konstanten (-/-)	1759
12.13.2	Differential Scanning Calorimetry (DSC) (*)	1759
12.13.3	Thermisch-mechanische Analyse (TMA) (*)	1762
12.13.4	Thermogravimetrie (TGA) (-)	1763
12.13.5	Messung der Vernetzungsdichte von Elastomeren (-/-)	1764
12.14	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	1764
12.14.1	Die natürliche Spinnenseide (-/-)	1764



12.14.2 Der Mechanical Bowler (-)	1764
12.15 Aufgaben (-/-)	1767
12.16 Zahlenwerte (-/-)	1767
12.17 Literatur (-)	1769
<b>13 Strukturanalyse - Grundlage der chemischen Forschung (-)</b>	<b>1771</b>
13.1 Verfahren zur Trennung chemisch unterschiedlicher Substanzen (-)	1773
13.1.1 Chromatographische Trenn-Verfahren (-)	1773
13.2 Verfahren zur Aufklärung der chemischen Struktur (-)	1776
13.2.1 Spektroskopische Verfahren (-)	1777
13.2.2 Beugungs- und Streuverfahren (-)	1788
13.3 Tipps, Tricks und Spezialitäten (-/-)	1794
13.4 Aufgaben (-/-)	1794
13.5 Zahlenwerte (-/-)	1794
13.6 Literatur (-)	1795
<b>14 Elektronik - tägliches Werkzeug des Experimentalphysikers (-)</b>	<b>1797</b>
14.1 Elektronische Systeme, Response-Funktionen (*)	1798
14.1.1 Die Topologie elektronischer Systeme (-)	1798
14.1.2 Elektronische Zweipole (*)	1800
14.1.3 Elektronische Vierpole (*)	1807
14.2 Technische Bauteile (-)	1818
14.2.1 Widerstände (*)	1818
14.2.2 Induktivitäten (*)	1822
14.2.3 Kondensatoren (*)	1825
14.2.4 Schwing-Quarze (-/-)	1829
14.2.5 Dioden (*)	1829
14.2.6 Transistoren (*)	1832
14.2.7 Integrierte Schaltkreise (ICs) (-)	1835
14.2.8 Optokoppler (-)	1836
14.2.9 Analoge Optokoppler (-/-)	1838
14.2.10 Relais (*)	1839
14.2.11 Elektronenröhren (*)	1841
14.3 Analoge Signalverarbeitung (-)	1847
14.3.1 Einfache passive Schaltungen (-/-)	1849
14.3.2 Resonante passive Schaltungen (-)	1849
14.3.3 Filterschaltungen (-)	1853
14.3.4 Der Wellenleiter (-/-)	1863
14.3.5 Der Verstärker (-)	1863
14.3.6 Die Spannungsversorgung (-)	1868
14.3.7 Elektronisches Rauschen (-)	1871
14.3.8 Analoge elektronische Ein- und Ausgabegeräte (-)	1872

14.4	Analoge Signalübertragung (-)	1874
14.4.1	Uncodierte analoge Signalübertragung (-)	1874
14.4.2	Das Konzept der Trägerfrequenz (-)	1875
14.4.3	Codierungstechniken (-)	1875
14.5	Rückgekoppelte elektronische Systeme (*)	1882
14.5.1	Der Oszillator (*)	1882
14.5.2	Der Operationsverstärker (*)	1886
14.5.3	Allgemeine Regelungstechnik (*)	1894
14.6	Digitale Signalverarbeitung (-)	1904
14.6.1	Aussagen-Logik (*)	1907
14.6.2	Gatterschaltungen (*)	1909
14.6.3	Inverter (*)	1910
14.6.4	Multivibratoren (*)	1912
14.6.5	Zeichnungssymbole für digitale Schaltungen (-)	1915
14.6.6	Typische Struktur eines elektronischen Steuergerätes (*)	1915
14.6.7	Basisstruktur eines Digitalrechners (*)	1918
14.6.8	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS (-/-)	1921
14.6.9	Das Bus-Konzept der Signalübertragung (-)	1922
14.6.10	Informationsverlust bei der digitalen Signalverarbeitung (-)	1923
14.6.11	Digitale elektronische Ein- und Ausgabegeräte (-/-)	1925
14.6.12	Umwandlung analoger und digitaler Signale (-/-)	1925
14.7	Störsignale (-)	1925
14.7.1	Mechanismen der Störsignaleinstreuung (-)	1926
14.7.2	Maßnahmen zur Störsignalreduzierung (*)	1927
14.8	Elektronik des täglichen Lebens (-)	1930
14.8.1	Der Telegraph / Fernschreiber (-/-)	1930
14.8.2	Der Rundfunk-Empfänger (-)	1930
14.8.3	Der Fernseh-Empfänger (-)	1935
14.8.4	Der Mobilfunk (-/-)	1941
14.8.5	Das Internet (-/-)	1941
14.9	Messverfahren der Elektronik (-)	1941
14.9.1	Das Drehspulinstrument (-)	1941
14.9.2	Das Digital-Multimeter (-)	1942
14.9.3	Frequenz- und Zeitmessung (-/-)	1943
14.9.4	Das Oszilloskop (*)	1943
14.9.5	Der Transienten-Recorder (*)	1946
14.9.6	Das Sampling-Oszilloskop (-)	1948
14.9.7	Der Lock-In-Verstärker (-)	1949
14.10	Tipps, Tricks und Spezialitäten (-)	1951
14.10.1	Ratschläge zum Schaltungsentwurf (*)	1951
14.10.2	Detail-Empfehlungen zur Störsignalreduzierung (*)	1953
14.10.3	Frequenzvergleich mit dem Oszilloskop (-)	1955

14.10.4	Optimierung eines Regelkreises (-)	1956
14.10.5	Messzeit-Optimierung bei der Frequenzanalyse (-)	1956
14.10.6	Der ALOA-Multilayer-Folienkondensator (-/-)	1957
14.10.7	Die Kybernetik und der gesunde Menschenverstand (-/-)	1957
14.10.8	Das System Volkswirtschaft (-/-)	1957
14.11	Aufgaben (-/-)	1957
14.12	Zahlenwerte (-/-)	1957
14.13	Literatur (-)	1958
<b>15</b>	<b>Anhang (-)</b>	<b>1959</b>
15.1	(Eigentlicher Anhang) (-/-)	1959
15.2	Lösungen der Aufgaben (-)	1959
15.2.1	zu Heft 2: Die besondere Denkweise des Physikers (-)	1959
15.2.2	zu Heft 3: Mechanik (-)	1962
15.2.3	zu Heft 4: Elektrostatik (-)	1977
15.2.4	zu Heft 5: Magnetostatik (-/-)	1982
15.2.5	zu Heft 6: Elektrodynamik (-/-)	1982
15.2.6	zu Heft 7: Quantenmechanik (-)	1982
15.2.7	zu Heft 8: Thermodynamik (-)	1991
15.2.8	zu Heft 9: Kristallphysik (-/-)	2003
15.2.9	zu Heft 10: Elementarteilchen, Kosmologie (-)	2003
15.2.10	zu Heft 11: Optik (-)	2003
15.2.11	zu Heft 12: Materialwissenschaft (-/-)	2007
15.2.12	zu Heft 13: Strukturanalyse (-/-)	2007
15.2.13	zu Heft 14: Elektronik (-/-)	2007
15.3	Literatur zur Physik insgesamt (-)	2007