

Inhalt

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung (*) | 25 |
| 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 |
| 2 | Die besondere Denkweise des Physikers (*) | 51 |
| 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 |
| 3 | Mechanik - aller Anfang ist schwer (-) | 99 |
| 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 |
| 4 | Elektrostatik - Basis von Blitz und Fax (-) | 477 |
| 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-Instantaner 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 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5 | Magnetostatik - das Kraftpaket (-) | 563 |
| 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 |
| | | |
| 6 | Elektrodynamik - Maxwells Lebenswerk (-) | 579 |
| 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 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7 | Quantenmechanik - Revolution des physikalischen Weltbildes (-) | 623 |
| 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 |
| 8 | Thermodynamik - Verknüpfung von Mikro- und Makro-Kosmos (*) | 817 |
| 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-Reservoirire / 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 kraftmaschinen (-) | 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 |
| 9 | Kristallphysik - Dominanz der Symmetrie (-) | 1119 |
| 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 |
| 10 | Elementarteilchen, Kosmologie: | |
| | Physik ganz klein / ganz gross (-) | 1129 |
| 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 |
| 11 | Optik - Schwerpunkt aktueller Forschung (-) | 1421 |
| 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 Polarisierung (-) | 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 |

| | | |
|-----------|--|-------------|
| 13 | Strukturanalyse - Grundlage der chemischen Forschung (-) | 1783 |
| 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 |
| 14 | Elektronik - tägliches Werkzeug des Experimentalphysikers (-) | 1809 |
| 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 |
| 15 Anhang (-) | 1971 |
| 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 |