

Auf einen Blick

Einleitung	39
Teil I: Einführung: Was ist Physik? Warum Physik?	43
Kapitel 1: Was ist Physik?	45
Kapitel 2: Messen und Maßeinheiten	57
Teil II: Mechanik	67
Kapitel 3: Bewegung pur: Die Kinematik	69
Kapitel 4: Der Apfel fällt nicht weit vom Stamm: Die Newton'schen Gesetze	81
Kapitel 5: Arbeit und Leistung	99
Kapitel 6: Impuls und Energie	113
Kapitel 7: Rundherum: Die Kreisbewegung	129
Kapitel 8: Rotation starrer Körper	143
Kapitel 9: Hinderlich und doch unverzichtbar: Die Reibung	163
Teil III: Viele Atome bilden ein Kontinuum: Die Kontinuumsmechanik	181
Kapitel 10: Die Form kehrt zurück: Die Elastizitätslehre	183
Kapitel 11: Wenn die Belastungen größer werden: Plastische Verformung und Bruch	199
Kapitel 12: Sie kann ziemlich turbulent sein: Die Hydrodynamik	223
Teil IV: Schwingungen und Wellen	247
Kapitel 13: Harmonische Schwingungen	249
Kapitel 14: Reale Schwingungen	275
Kapitel 15: Gemeinsam schwingt es sich leichter: Schwingungssysteme	287
Kapitel 16: Ein Surferparadies: Wellen	299
Kapitel 17: Wellen kann man auch hören: Die Akustik	321
Teil V: Die Optik sorgt für den Durchblick	339
Kapitel 18: Es werde Licht	341
Kapitel 19: Auch Licht kann gebeugt werden	359
Kapitel 20: Zwei grundlegende optische Effekte: Reflexion und Brechung	373
Kapitel 21: Spieglein, Spieglein an der Wand	397
Kapitel 22: Sie können sammeln oder zerstreuen: Linsen	411
Kapitel 23: Das Auge ist gut, aber es geht noch besser	429
Teil VI: Elektrisierend und magnetisierend zugleich: Der Elektromagnetismus	451
Kapitel 24: Ruhende Punktladung: Elektrostatik I	453
Kapitel 25: Ausgedehnte Ladungen: Elektrostatik II	469
Kapitel 26: Immer in die gleiche Richtung: Gleichstromkreise	489
Kapitel 27: Magnetismus	509

14 Auf einen Blick

Kapitel 28: Induktion.....	539
Kapitel 29: Es geht ständig auf und ab: Wechselstromkreise.....	555
Kapitel 30: Der ganze Elektromagnetismus in vier Gesetzen: Die Maxwell'schen Gleichungen.....	577
Kapitel 31: Halbleiterphysik und Halbleiterbauelemente.....	593
Teil VII: Thermodynamik.....	621
Kapitel 32: Leicht komprimierbar: Die Thermodynamik von Gasen.....	623
Kapitel 33: Temperaturphänomene und Wärmetransport.....	641
Kapitel 34: Das Fundament der Thermodynamik: Die Hauptsätze.....	663
Teil VIII: Eine Art von Revolution: Der Übergang von der klassischen zur modernen Physik.....	685
Kapitel 35: Die verflixte Lichtgeschwindigkeit: Die makroskopische Seite der Revolution.....	687
Kapitel 36: Gründe für die Quantenmechanik.....	699
Teil IX: Die moderne Physik der makroskopischen Welt.....	717
Kapitel 37: Alles ist nur relativ: Die Relativitätstheorie.....	719
Kapitel 38: Unvorstellbar groß: Das Weltall.....	739
Teil X: Die moderne Physik der mikroskopischen Welt.....	767
Kapitel 39: Die Welt wird klarer, aber auch unbestimmter: Die Quantenmechanik.....	769
Kapitel 40: Sie bilden die Elemente: Atome.....	793
Kapitel 41: Perfektion durch Zusammenschluss: Chemische Bindungen und die Bildung von Molekülen.....	817
Kapitel 42: Riesige Verbände von verbundenen Bausteinen: Festkörperphysik.....	841
Kapitel 43: Der Aufbau von Atomkernen.....	867
Kapitel 44: Es geht um gewaltige Energien: Kernspaltung und Kernfusion.....	883
Kapitel 45: Klein, aber oho!: Elementarteilchen.....	903
Teil XI: Der Top-Ten-Teil.....	919
Kapitel 46: Zehn spannende Nobelpreise aus den letzten 30 Jahren.....	921
Kapitel 47: Zehn wichtige Entdeckungen vor 1900.....	933
Kapitel 48: Zehn wichtige Entdeckungen nach 1900.....	943
Anhang	
Anhang A: Physikalische Konstanten und Größen.....	955
Anhang B: Ein klein wenig Mathematik: Mathematische Formelsammlung.....	971
Lösungen der Aufgaben in Teil I.....	995
Lösungen der Aufgaben in Teil II.....	997

Lösungen der Aufgaben in Teil III	1015
Lösungen der Aufgaben in Teil IV	1021
Lösungen der Aufgaben in Teil V	1031
Lösungen der Aufgaben in Teil VI	1041
Lösungen der Aufgaben in Teil VII	1055
Lösungen der Aufgaben in Teil VIII	1061
Lösungen der Aufgaben in Teil IX	1065
Lösungen der Aufgaben in Teil X	1069
Abbildungsverzeichnis	1081
Stichwortverzeichnis	1095

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	39
Über dieses Buch	39
Vereinbarungen in diesem Buch	39
Was Sie nicht lesen müssen	40
Annahmen über den Leser	40
Wie dieses Buch aufgebaut ist	41
Symbole in diesem Buch	41
Wie es weitergeht	42
 TEIL I	
EINFÜHRUNG: WAS IST PHYSIK? WARUM PHYSIK?	43
 Kapitel 1	
Was ist Physik?	45
Was ist Physik?	45
Klassische und moderne Physik	46
Ein kurzer Abriss der Geschichte der Physik	46
Die Anfänge reichen bis in das antike Griechenland zurück	47
Zeit des Stillstands: Das Mittelalter	47
Neuanfang im späten Mittelalter	47
Ein erster Höhepunkt: Die Renaissance	48
Entwicklung der Mechanik und der Optik im 17. Jahrhundert	49
Die Physik wird eine Wissenschaft: Das 18. Jahrhundert	50
Elektromagnetismus und Thermodynamik: Das 19. Jahrhundert	50
Kurz, aber wirkungsvoll: Die Revolution zu Beginn des 20. Jahrhunderts	50
High-Life in der Physik: Die ersten Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts	51
Seitdem: Stetiger Fortschritt ohne Augenöffner	51
Einteilung der Physik, Aufbau dieses Buches	52
Die Physik und die anderen Naturwissenschaften	54
 Kapitel 2	
Messen und Maßeinheiten	57
Modelle, Theorien und Gesetze	57
Beobachtung und Experiment	58
Es kommt auf die Messgenauigkeit an: Messfehler	58
Darstellung von Messwerten	60
Einheitensysteme	61
Darstellung von physikalischen Ergebnissen	63

TEIL II	
MECHANIK	67
Kapitel 3	
Bewegung pur: Die Kinematik	69
Bewegung schafft Raum und Zeit	69
Unendlich klein, aber oho! Der Massenpunkt	71
Drei Größen zur Beschreibung von Bewegungen: Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung	72
Bewegung bedeutet das Zurücklegen eines Weges	72
Geschwindigkeit ist keine Hexerei	73
Bleifuß oder Bremse: Die Beschleunigung	75
Bewegungen lassen sich addieren: Das Superpositionsprinzip	76
Runter kommen sie immer: Der Wurf	78
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	79
Kapitel 4	
Der Apfel fällt nicht weit vom Stamm: Die Newton'schen Gesetze	81
Die Kräfte sind entscheidend	81
Grundlagen der Mechanik: Die Newton'schen Gesetze	82
Sich Änderungen widersetzen: Das erste Newton'sche Gesetz	83
Je größer die Kraft, desto größer die Wirkung: Das zweite Newton'sche Gesetz	83
Zu jeder Kraft gibt es eine Gegenkraft: Das dritte Newton'sche Gesetz	84
Die Größen der Newton'schen Gesetze	85
Arbeiten mit Kräften	85
Jede Masse besitzt zwei Eigenschaften	88
Gleich und doch nicht gleich	93
Dichte	94
Auch Kräfte können träge sein: Das d'Alembert'sche Prinzip	94
Schein oder nicht Schein: Trägheitskräfte	95
Die Summe von Kräften und Trägheitskräften ist null	96
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	97
Kapitel 5	
Arbeit und Leistung	99
Arbeit	99
So viele Arbeiten	101
Leistung ist Arbeit pro Zeit	105
Wirkungsgrad	106
Etwas für Afficionados: Gravitationsfelder und Gravitationspotenziale	109
Überall im Raum definiert: Die Gravitationsfeldstärke	109
Arbeit im Gravitationsfeld: Das Gravitationspotenzial	111
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	112

Kapitel 6**Impuls und Energie..... 113**

Eher unscheinbar: Der Impuls	113
Es geht nichts verloren: Die Energie.....	114
Gespeicherte Arbeit: Die Definition der Energie	115
Formen von Energie.....	116
Beispiele für Energien	116
Energie und Impuls sind konstant: Die Erhaltungssätze.....	117
Vollkommen autark: Abgeschlossene Systeme.....	118
Impulserhaltungssatz.....	119
Auch die Gesamtenergie ist konstant: Der Energieerhaltungssatz.....	120
Mitten ins Herz: Stöße	121
Was genau ist ein Stoß?	122
Klassifizierung von Stößen.....	122
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	126

Kapitel 7**Rundherum: Die Kreisbewegung..... 129**

Ständig beschleunigt: Die gleichförmige Kreisbewegung.....	129
Winkel pro Zeit gleich Winkelgeschwindigkeit.....	131
Winkelbeschleunigung	133
Jetzt geht es ab: Die Tangentialbeschleunigung.....	135
Die eine wirkt nach innen, die andere scheinbar nach außen: Zentripetalkraft und Zentrifugalkraft	137
Zentripetalkraft	137
Zentrifugalkraft	138
Translationsbewegungen und Kreisbewegungen: Ein erster Vergleich	140
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	140

Kapitel 8**Rotation starrer Körper..... 143**

Die Form berücksichtigen: Drehmoment und Trägheitsmoment.....	144
Das Bewegungsgesetz für Rotationsbewegungen.....	144
Alle Punkte bewegen sich gleich	145
Der Abstand ist entscheidend: I. Das Drehmoment	146
Der Abstand ist entscheidend: II. Das Trägheitsmoment	148
Die Lage der Achse ist entscheidend: Der Satz von Steiner.....	150
Auch bei Drehbewegungen von Bedeutung: Impuls, Arbeit, Energie und Leistung.....	151
Drehimpuls.....	151
In jeder Bewegung steckt Energie: Die Rotationsenergie	153
Natürlich erfordert eine Drehbewegung Arbeit	155
Die Leistung bei Rotationsbewegungen.....	155
Vergleich Rotation und Translation.....	156
Tiefdruckgebiete drehen sich immer gegen den Uhrzeigersinn: Die Corioliskraft.....	156
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	160

Kapitel 9

Hinderlich und doch unverzichtbar: Die Reibung.....	163
Viele verschiedene Arten der Reibung	164
Sich großflächig reiben: Die Coulomb'sche Reibung.....	164
Wie festgeklebt: Die Haftreibung	165
Irgendwie hakt es immer noch: Die Gleitreibung	168
Weitere Reibungsarten	169
Rollreibung	169
Der Wind kommt immer von vorn: Der Luftwiderstand.....	171
Ein oder zwei Schlaufen reichen zum Festmachen: Die Seilreibung	174
Vor- und Nachteile der Reibung	175
Achtmal Reibung bei einem simplen Gerät: Das Fahrrad.....	176
Bremsen	177
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	178

TEIL III

VIELE ATOME BILDEN EIN KONTINUUM: DIE KONTINUUMSMECHANIK 181

Kapitel 10

Die Form kehrt zurück: Die Elastizitätslehre.....	183
Belastungen erzeugen Spannungen	183
Belastungen	184
Jetzt wird's spannend: Schieben, Ziehen und Drücken.....	184
Je größer die Belastung, umso größer die Verformung: Das Hooke'sche Gesetz.....	186
Die vier elastischen Konstanten	187
In die Länge gezogen: Der Elastizitätsmodul	187
Nicht nur längs, sondern auch quer: Die Poissonzahl	188
Ansturm von allen Seiten: Der Kompressionsmodul.....	189
Und noch ein Modul: Der Schubmodul.....	190
Relative Volumenänderung.....	191
Nicht völlig unabhängig: Beziehungen zwischen den elastischen Konstanten	193
Diskussion der elastischen Konstanten	194
Auch in der Verformung steckt Energie.....	196
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	197

Kapitel 11

Wenn die Belastungen größer werden: Plastische Verformung und Bruch	199
Jenseits des elastischen Bereichs	200
Verformbar oder nicht?	200
Spannungs-Dehnungs-Kurven.....	200
Eine Kurve und eine Vielzahl von Parametern	203
Plastische Verformung und Bruch.....	205

Beschreibung der plastischen Verformung.....	205
Mechanismen der plastischen Verformung.....	207
Gegenmittel.....	209
»Plink!« Der spröde Bruch.....	210
Das Griffith-Modell des spröden Bruchs.....	211
Zähigkeit: Widerstand gegen spröden Bruch.....	212
Betrachtung von Oberflächen.....	217
Das ist die Härte.....	217
Einritzen: Das Mohs-Verfahren.....	217
Verschleiß.....	219
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	221

Kapitel 12

Sie kann ziemlich turbulent sein: Die Hydrodynamik..... 223

Aggregatzustände.....	223
Ruhende Flüssigkeiten und Gase.....	224
Der Druck lastet schwer.....	225
Auftrieb.....	230
Oberflächen und Grenzflächen.....	232
Nur Luft und Wasser: Oberflächenspannung und -energie.....	232
Es geht an die Grenzen: Grenzflächenenergie und Grenzflächenspannung.....	233
Flüssigkeitsoberflächen können gewölbt sein: Die Kapillarität.....	234
Und wieder einmal die Reibung: Viskosität und Zähigkeit.....	236
Zäh wie Honig: Die Viskosität.....	237
Flüssigkeiten und Gase strömen sehr ähnlich: Bewegte Fluide.....	239
Welche Kräfte greifen an?.....	240
Laminare und turbulente Strömung.....	240
Einige Beispiele von Strömungsproblemen.....	241
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	244

TEIL IV

SCHWINGUNGEN UND WELLEN 247

Kapitel 13

Harmonische Schwingungen..... 249

Der Idealfall: Harmonische Schwingungen.....	250
Die Rückstellkraft ist entscheidend: Die Definition einer harmonischen Schwingung.....	250
Eine ganz einfache Differenzialgleichung: Die Schwingungsgleichung.....	251
Größen zur Beschreibung einer harmonischen Schwingung.....	255
Harmonische Schwingungen ganz konkret.....	257
Der Klassiker: Das Federpendel.....	257
Auf den Punkt gebracht: Das mathematische Pendel oder Fadenpendel.....	260
Ziemlich ausgedehnt: Das physikalische Pendel oder Brettpendel.....	265
Ziemlich verdreht: Das Torsionspendel.....	266

Hätten Sie gedacht, dass das eine harmonische Schwingung ist?	267
Richtgrößen und Systemgrößen	269
Konstruktiv oder destruktiv: Überlagerung von Schwingungen	269
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	272

Kapitel 14

Reale Schwingungen 275

Nichts währt ewig: Gedämpfte Schwingungen	276
Nur geringe Einflüsse: Der Schwingfall	276
Die Saloontür: Der aperiodische Grenzfall	277
Ziemlich langsam: Kriechfall	279
Größen zur Beschreibung der Dämpfung	279
Dieser Rhythmus, dass jeder mit muss: Erzwungene Schwingungen	280
Das Pohl'sche Pendel	280
An einer Stelle knallt es: Das Amplitudenverhältnis und die Resonanz	282
Nicht ganz im Takt: Die Phasenverschiebung	284
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	286

Kapitel 15

Gemeinsam schwingt es sich leichter:

Schwingungssysteme 287

Gekoppelte Schwingungen	287
Wichtige Begriffe	290
Längs oder quer: Transversale und longitudinale Schwingungen	291
Bewegungsmöglichkeiten: Freiheitsgrade	291
Eigenschwingungen	292
Stabschwingungen	292
Longitudinalschwingungen	293
Transversalschwingungen	295
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	296

Kapitel 16

Ein Surferparadies: Wellen 299

Der Swing geht auf die Reise: Wellen	300
Definition einer Welle	300
Ausbreitung von Wellen	301
Die Differenzialgleichung schlechthin: Die Wellengleichung	303
Sie enthalten die Ortsabhängigkeit: Wellenlänge und Wellenzahl	304
Eine Größe fehlt noch: Die Ausbreitungsgeschwindigkeit	306
Interferenz und Beugung	309
Wenn zwei sich treffen: Interferenz	309
Viele Einzelne bilden ein Ganzes: Das Huygens'sche Prinzip	311
Wellen können um die Ecke gehen: Die Beugung	312
Ein Engpass kann Wellen nichts anhaben: Die Beugung am Spalt	312
Stehende Wellen	317
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	320

Kapitel 17

Wellen kann man auch hören: Die Akustik 321

Schallwellen.....	321
Eine mathematische Betrachtung des Schalls.....	325
Schallschnelle und Druckamplitude.....	325
Die Schallgeschwindigkeit hängt vom Material ab	326
Laut und leise: Die Intensität einer Schallwelle.....	328
Eher subjektiv: Die Klangqualität.....	330
Dopplereffekt und Überschallknall.....	332
Immer wieder an der Bahnschranke: Der Dopplereffekt	332
Durch die Wand: Der Überschallknall.....	336
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	337

TEIL V

DIE OPTIK SORGT FÜR DEN DURCHBLICK 339

Kapitel 18

Es werde Licht 341

Licht ist eine Welle.....	341
Der Doppelspaltversuch.....	342
Was schwingt beim Licht?.....	342
Lichtgeschwindigkeit.....	344
Frequenz und Wellenlänge.....	344
Das elektromagnetische Spektrum.....	345
Die verschiedenen Gestalten des Lichts.....	347
Vorwärts wie rückwärts: Licht als Strahl.....	347
Licht als Welle.....	348
Licht als Teilchenstrom	348
Licht quantitativ: Intensität, Strahlungsleistung und Lichtmenge	350
Rein physikalisch: Energetische Größen	351
Das Auge misst mit: Fotometrische Größen.....	352
Polarisation.....	355
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	358

Kapitel 19

Auch Licht kann gebeugt werden 359

Interferenz von Licht.....	359
Eine notwendige Bedingung: Die Kohärenz.....	359
Beispiele.....	360
Beugung von Licht.....	364
Beugung an Spalten.....	365
Eine Vielzahl von Spalten: Die Beugung am Gitter	365
Arten der Beugung von Licht.....	367
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	371

Kapitel 20

Zwei grundlegende optische Effekte: Reflexion und Brechung

Brechung	373
Wechselwirkung von Licht mit Materie.....	373
Es geht wieder zurück: Die Reflexion.....	375
Reflexionsgesetz.....	375
Eine neue Richtung einschlagen: Die Brechung.....	376
Der Winkel ändert sich: Das Brechungsgesetz.....	376
Ursache der Brechung.....	376
Der Brechungsindex und weitere wichtige Größen.....	377
Beispiele für Brechungseffekte.....	381
Totalreflexion.....	385
Licht kann auch verloren gehen: Die Absorption.....	389
Es wird langsam dunkler: Der Absorptionskoeffizient.....	389
Sie decken alle Fälle ab: Die Fresnel'schen Formeln.....	390
Abbildungen in der Optik.....	394
Reelle und virtuelle Bilder.....	394
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	395

Kapitel 21

Spieglein, Spieglein an der Wand

Spieglein, Spieglein an der Wand	397
Arten von Spiegeln.....	397
Die Welt hinter dem Spiegel: Ebene Spiegel.....	398
Einsammeln von Licht: Hohlspiegel.....	400
Das Spiegelgesetz.....	400
Konstruktion mittels Hauptstrahlen.....	403
Wichtig für Straßenverkehr und Make-up: Der gewölbte Spiegel.....	407
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	408

Kapitel 22

Sie können sammeln oder zerstreuen: Linsen

Sie können sammeln oder zerstreuen: Linsen	411
Arten von Linsen.....	412
Analog zur Spiegelgleichung: Die Linsengleichung.....	413
Annäherung durch Prismen.....	413
Gar nicht so kompliziert: Die Herleitung der Linsengleichung.....	414
Charakteristika einer Linse: Brennweite und Brechkraft.....	416
Konstruktion des Bildes einer Sammellinse mittels der Hauptstrahlen.....	417
Und wiederum: Die Hauptstrahlen.....	417
Zerstreuungslinsen.....	420
Nobody is perfect: Linsenfehler.....	420
Chromatische Aberration.....	421
Sphärische Aberration.....	422
Kein Tiefschlaf, sondern ein Linsenfehler: Die Koma.....	422
Bildwölbungsfehler.....	424
Linsenkombinationen.....	424
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	426

Kapitel 23**Das Auge ist gut, aber es geht noch besser 429**

Das menschliche Auge	429
Aufbau und Funktionsweise	430
Eine Brille muss her: Sehfehler	432
Einige nützliche Definitionen	433
Das einfachste Instrument: Die Lupe	435
Blick ins Innere des Lebens: Das Mikroskop	436
Aufbau eines Mikroskops	436
Vergrößerung	437
Es gibt Grenzen: Das Auflösungsvermögen	438
Blick in die Ferne und ins Weltall: Fernrohre	443
Linsenfernrohre	443
Spiegelteleskope	444
Vergrößerung und andere Kennwerte	446
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	448

TEIL VI**ELEKTRISIEREND UND MAGNETISIEREND ZUGLEICH:
DER ELEKTROMAGNETISMUS****451****Kapitel 24****Ruhende Punktladung: Elektrostatik I 453**

Sie können gewaltige Kräfte hervorrufen: Elektrische Ladungen	453
Plötzlich kriegt man einen gewischt! Elektrostatische Phänomene	454
Reibung setzt Ladung frei	454
Eine erste Zusammenfassung	455
Die Trennung von Ladungen	456
Ladungstrennung durch Reibung	456
Die Kräfte zwischen Ladungen werden ausgenutzt: Die Influenz	457
Unteilbar: Die Elementarladung	459
Es regelt die Kraft zwischen Punktladungen: Das Coulomb'sche Gesetz	462
Wirkung auf eine Probeladung: Das elektrische Feld	463
Felder sichtbar machen: Feldlinien	465
Schon wieder: Das Superpositionsprinzip	465
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	466

Kapitel 25**Ausgedehnte Ladungen: Elektrostatik II 469**

Geladene Wolken: Ladungsverteilungen	470
Radiale Felder	470
Homogene Felder	471
Auch in der Elektrizitätslehre allgegenwärtig: Arbeit und Energie	473
Sie komplettieren die Liste: Potenzial und Spannung	476
Zusammenfassung der elektrischen Feldgrößen	480
Kondensatoren können Ladungen speichern: Die Kapazität	481

Kondensatoren können auch ein Dielektrikum enthalten.....	481
Dipole richten sich aus.....	482
Realisierung von Kondensatoren.....	483
Ein Schaltkreis kann mehrere Kondensatoren enthalten.....	485
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	487

Kapitel 26

Immer in die gleiche Richtung: Gleichstromkreise 489

Die erste von zwei wichtigen Größen: Die Stromstärke.....	490
Strom ist Ladung pro Zeit.....	490
Meistens sind es Elektronen: Der Ladungstransport.....	490
Die zweite wichtige Größe: Die Spannung.....	492
Sie geben Ladungsträgern einen Kick: Spannungsquellen.....	492
Widerstand auf elektrisch.....	496
Der Widerstand ist streng geregelt: Das Ohm'sche Gesetz.....	496
Ein Widerstand bedingt einen Spannungsabfall.....	497
Der Widerstand kann sehr spezifisch sein.....	497
Gleichstromkreise.....	500
Ein Widerstand kommt selten allein.....	500
Knoten und Maschen: Die Kirchhoffschen Regeln.....	503
Elektrizität bedeutet Leistung.....	505
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	506

Kapitel 27

Magnetismus..... 509

Magnetische Phänomene.....	509
Sie sind immer magnetisch: Permanentmagnete.....	510
Stromdurchflossene Leiter sind auch magnetisch.....	511
Zwei Größen zur Beschreibung magnetischer Felder.....	515
Feldgröße 1: Die magnetische Induktion.....	515
Feldgröße 2: Die Magnetfeldstärke.....	516
Immer mehr Windungen: Spulen.....	519
Bewegte Ladungen in elektromagnetischen Feldern.....	523
Immer geradeaus: Ladungen im elektrischen Feld.....	523
Im Kreis herum: Bewegte Ladungen im magnetischen Feld.....	525
Eine Vielzahl technischer Anwendungen: Bewegte Ladungen in kombinierten Feldern.....	527
Der Hall-Effekt.....	527
Alle Materialien sind magnetisch, aber es gibt gewaltige Unterschiede.....	529
Berücksichtigung des Materials: Permeabilität und Suszeptibilität.....	530
Der Ursache entgegengesetzt: Der Diamagnetismus.....	531
Alle richten sich aus: Der Paramagnetismus.....	531
Drastische Effekte: Der Ferromagnetismus.....	533
Vergleich der Materialien.....	536
Abarten: Ferrimagnetismus und Antiferromagnetismus.....	537
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	538

Kapitel 28

Induktion.....	539
Magnetische Felder erzeugen Spannungen: Die Induktion.....	539
Eine einfache Leiterschaukel.....	539
Entscheidend ist die Änderung des magnetischen Flusses	541
Der Ursache entgegenwirken: Die Lenz'sche Regel	542
Es passiert auch im eigenen Leiterkreis: Die Selbstinduktion.....	545
Die Induktion: Ein Effekt mit vielen Anwendungen	548
Die einfache Erzeugung von Wechselstrom: Der Generator	548
Die Umkehrung des Generatorprinzips: Der Elektromotor	550
Rauf und runter: Der Transformator	552
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	553

Kapitel 29

Es geht ständig auf und ab: Wechselstromkreise	555
Es lebe die Veränderung: Wechselströme	556
Es kommt auf die Effektivität an: Die Leistung eines	
Wechselstromkreises	556
Gleichstrom vs. Wechselstrom.....	558
Jede Menge Widerstände	560
Strom und Spannung im Gleichtakt: Der Ohm'sche Widerstand.....	560
Kondensatoren müssen geladen werden: Der kapazitive	
Widerstand	561
Ein zögerlicher Beginn: Der induktive Widerstand	564
Meist treten sie vereint auf: Widerstandskombinationen.....	566
Bezeichnung der Widerstände	567
Einer ist zumeist vorn: Der Phasenwinkel	568
Leistung kann auch blind sein.....	569
Eine einfache und elegante Darstellung: Zeigerdiagramme	572
It Don't Mean a Thing if You Ain't Got That Swing: Schwingkreise	574
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	576

Kapitel 30

Der ganze Elektromagnetismus in vier Gesetzen:

Die Maxwell'schen Gleichungen.....	577
Stand der Dinge: Elektrische und magnetische Felder	577
Elektrostatische Felder	577
Magnetostatische Felder	578
Elektromagnetische Felder.....	578
Beschreibung durch Feldgrößen.....	579
Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen elektrischen und	
magnetischen Feldern.....	581
Ihr Auftritt, Herr Maxwell!.....	581
Der ganze Schlamassel auf einen Blick.....	581
Symmetrie und Asymmetrie der Maxwell'schen Gleichungen	582

Maxwell #1: Das Gauß'sche Gesetz	582
Maxwell #2: Das Gauß'sche Gesetz für Magnetfelder	583
Maxwell #3: Das Induktionsgesetz	583
Maxwell #4: Das Durchflutungsgesetz	584
Monopole, Dipole und Quadrupole	585
Elektrische Mono- und Multipole	585
Magnetische Dipole	587
Zum Schluss ein Augenöffner: Elektromagnetische Wellen	588
Die Vorhersage durch Maxwell	588
Die Realisierung durch Hertz	590
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	592

Kapitel 31

Halbleiterphysik und Halbleiterbauelemente 593

Weder Leiter noch Isolatoren: Halbleiter	594
Die Eigenleitung: Elektronen und Löcher	594
Banddiagramme	597
Materialien	599
Die Dotierung: Elektronen oder Löcher	600
Sie bestimmen die Eigenschaften eines Halbleiters:	
Die Ladungsträgerkonzentrationen	602
Halbleiterbauelemente	605
Mit n- und p-Gebieten: Bipolar-Bauelemente	606
Feldeffekt-Bauelemente	610
Schottky-Bauelemente	615
Halbleitertechnologie	616
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel	619

TEIL VII

THERMODYNAMIK 621

Kapitel 32

Leicht komprimierbar: Die Thermodynamik

von Gasen 623

Die vier Zustandsgrößen	623
Je geringer das Volumen, umso höher der Druck: Das Gesetz von	
Boyle-Mariotte	624
Je wärmer, desto größer: Das Gesetz von Gay-Lussac	625
Steigt die Temperatur, steigt auch der Druck: Das Gesetz von	
Amontons	626
Vorläufige Zusammenfassung	626
Gase enthalten sehr viele Teilchen: Die Avogadrozahl	629
Ideal oder real: Gasgesetze	630
Perfekt: Das ideale Gasgesetz	630
Einige Korrekturen sind notwendig: Das reale Gasgesetz	632
Auch Gase besitzen eine Energie: Die Kinematik von Gasteilchen	634
Wie viel Freiheit?	634

Gasteilchen sind nicht gerade langsam	636
Betrachtung der Gesamtenergie.....	637
Nicht alle sind gleich schnell: Die Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung	637
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	639

Kapitel 33

Temperaturphänomene und Wärmetransport..... 641

Hitze in Zahlen: Die Temperatur	641
Die Messung der Temperatur	641
Temperaturskalen.....	642
Umrechnungen	643
Kälter geht's nicht: Der absolute Nullpunkt.....	644
Mit der Temperatur nimmt auch die Größe zu: Die Wärmeausdehnung.....	646
Eindimensional: Die Längenausdehnung.....	646
Ausdehnung in alle Dimensionen: Die Volumenausdehnung.....	648
Man kann Wärme auch quantitativ messen	649
Eine quantitative Größe: Die Wärmemenge	650
Wärme kann gespeichert werden: Die Wärmekapazität	650
Ein Stoff in verschiedenen Zuständen: Phasen	651
Zwei Aggregatzustände zugleich: Phasenübergänge.....	651
Nicht gerade offensichtlich: Die latente Wärme.....	652
Phasendiagramme	654
Es gibt eine große Anzahl von Phasen	656
Langsam, aber stetig: Der Wärmetransport.....	656
Es läuft auf einen Temperatúrausgleich hinaus: Die Wärmeleitung	657
Immer im Kreis: Die Konvektion	660
In der Sonne ist es warm: Die Wärmestrahlung.....	661
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	661

Kapitel 34

Das Fundament der Thermodynamik:

Die Hauptsätze 663

Null, aber wichtig: Der nullte Hauptsatz.....	663
Wärme ist eine Form von Energie: Der erste Hauptsatz.....	664
Wichtige Prozesse mit seltsamen Namen	665
Es geht um Maschinen: Der zweite Hauptsatz	673
Wärme wird in Kraft umgewandelt: Wärmekraftmaschinen.....	673
Der Wirkungsgrad ist stets kleiner als eins.....	674
Ideal, aber nicht 100 %: Der Carnot-Prozess.....	676
Eine nicht ganz einfache Größe: Die Entropie.....	679
Dritter Hauptsatz	683
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	683

TEIL VIII

EINE ART VON REVOLUTION: DER ÜBERGANG VON DER KLASSISCHEN ZUR MODERNEN PHYSIK

685

Kapitel 35

Die verflixte Lichtgeschwindigkeit: Die makroskopische

Seite der Revolution..... 687

Sie geben den Rahmen: Bezugssysteme.....	687
Ruhesysteme.....	688
Inertialsysteme.....	689
Beschleunigte Systeme.....	690
Von einem System zum anderen: Transformationen.....	691
Galilei-Transformationen.....	691
Die Lichtgeschwindigkeit ist schuld an der Relativitätstheorie.....	692
Nicht einfach zu messen: Die Lichtgeschwindigkeit.....	692
Die Lichtgeschwindigkeit ist konstant.....	694
Die Schlussfolgerungen und die Konsequenzen.....	695
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	696

Kapitel 36

Gründe für die Quantenmechanik..... 699

Schwarzkörperstrahlung.....	700
Was ist ein schwarzer Körper?.....	700
Die Farbe hängt von der Temperatur ab: Beobachtungen.....	701
Klassische Erklärungsversuche.....	701
Lösung durch Quantisierung: Das Planck'sche Strahlungsgesetz.....	705
Rayleigh-Jeans – Wien – Planck: Ein Vergleich.....	707
Der Fotoeffekt.....	708
Die experimentellen Tatsachen.....	708
Klassische Erklärungsversuche.....	709
Die Erklärung Einsteins.....	709
Photon schubst Elektron: Der Compton-Effekt.....	712
Der Compton-Versuch.....	712
Die Erklärung.....	712
Die moderne Physik schlägt zurück.....	713
Welle oder Teilchen? Beides!.....	713
Nicht jeder Wert ist erlaubt: Die Quantisierung.....	714
Die Schlussfolgerungen.....	714
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	714

TEIL IX

DIE MODERNE PHYSIK DER MAKROSKOPISCHEN WELT

717

Kapitel 37

Alles ist nur relativ: Die Relativitätstheorie..... 719

Konstanz der Lichtgeschwindigkeit.....	720
Ein Gedankenexperiment.....	720

Der Ausgangspunkt der Relativitätstheorie: Einsteins Postulate	721
Das erste Postulat.....	721
Das zweite Postulat.....	721
Das Ende der Galilei-Transformationen und die Geburt der Lorentz-Transformation	722
Alles ist relativ	724
Zeit ist nicht länger absolut: Die Zeitdilatation	724
Addition von Geschwindigkeiten.....	728
Längenkontraktion.....	728
Massenzunahme	729
Nun endlich: $E = mc^2$	730
Vom Speziellen zum Allgemeinen.....	733
Das Äquivalenzprinzip.....	733
Relativität ist ein Prinzip	735
Die Raumzeit wird gekrümmt.....	735
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	737

Kapitel 38

Unvorstellbar groß: Das Weltall 739

Ein Nachbarschaftsbesuch: Das Planetensystem	740
Wenn Jupiter auf Mars zugeht: Die Planeten	740
Was sonst noch so rumschwirrt.....	743
The Moon of Alabama oder der Mond von Wanne-Eickel?.....	744
Die Welt war eine Scheibe: Die Entstehung des Sonnensystems	746
Sie ist der Chef: Die Sonne	746
Groß und hell: Aufbau und Eigenschaften der Sonne.....	746
Aus Wasserstoff wird Helium: Die Wirkungsweise der Sonne.....	748
Nur einer von vielen: Die Sterne	748
Größen zur Beschreibung von Sternen.....	749
Das Hertzsprung-Russel-Diagramm.....	753
Von der Wolke bis zum Kollaps: Der Lebenszyklus der Sterne.....	755
Unvorstellbar groß: Das Universum.....	758
Die Milchstraße ist nur eine von vielen Galaxien.....	758
Das Universum und der ganze Rest.....	760
The Big Bang Theory: Der Urknall.....	761
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	764

TEIL X

DIE MODERNE PHYSIK DER MIKROSKOPISCHEN WELT 767

Kapitel 39

Die Welt wird klarer, aber auch unbestimmter: Die

Quantenmechanik..... 769

Die Quantenmechanik löst offene Fragen, wirft aber auch neue auf.....	770
Sie regelt alles: Die Schrödingergleichung.....	770
Beschreibung durch Wellenfunktionen.....	771

Eigentlich nur Rechenvorschriften: Operatoren.....	772
Konkrete Zahlen: Die Eigenwerte.....	773
Ein Topf mit besonderem Inhalt: Die Vorgehensweise der Quantenmechanik.....	773
Darstellungsweisen in der Quantenmechanik.....	778
Die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Quantenmechanik.....	778
Ein Phänomen, zwei Beschreibungen: Der Welle-Teilchen- Dualismus.....	779
Quantisierung.....	781
Bestimmt unbestimmt.....	781
Sie kommen im Paket: Quantenobjekte.....	783
Voll durch die Wand: Der Tunneleffekt.....	785
Die Zukunft auf den Schultern der Quantenmechanik.....	788
Einfach Nano: Die Nanowelt.....	788
Auch in der Quantenwelt: Neue Technologien.....	790
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	791

Kapitel 40

Sie bilden die Elemente: Atome..... 793

118 Elemente aus nur drei Bausteinen.....	793
Atome sind weitgehend leer: Das Rutherford-Experiment.....	795
Atommodelle.....	796
Erste Erklärungsversuche: Frühe Modelle.....	796
Das Linienspektrum des Wasserstoffatoms.....	797
Nicht ganz richtig und dennoch von großer Bedeutung: Das Bohrsche Atommodell.....	798
Einfacher geht's nicht: Das Wasserstoffatom.....	801
Nicht nur eine, sondern gleich vier Quantenzahlen.....	801
Aufteilung der Wellenfunktion.....	801
Keine Kreisbahnen, sondern Wahrscheinlichkeitswolken: Orbitale.....	806
Vielgestaltige Orbitale: Atome mit vielen Elektronen.....	810
Ein jedes an seinem Platz: Das Pauliprinzip.....	810
Die Hund'schen Regeln.....	811
Sieht kompliziert aus, ist aber eigentlich ganz einfach: Das Periodensystem.....	813
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	816

Kapitel 41

Perfektion durch Zusammenschluss: Chemische Bindungen und die Bildung von Molekülen..... 817

Verschiedene Methoden, sich zu verbinden: Die chemische Bindung.....	818
Primäre Bindungen.....	818
Vereint lebt es sich besser: Moleküle.....	819
Arten von Molekülen.....	819

Nur die Edelgase sind zufrieden: Gründe für die Bildung von Molekülen.....	819
Wem gehört das Elektron? Die Elektronegativität	822
Aufenthaltswahrscheinlichkeiten: Molekülorbitale.....	823
Ein Spezialfall: Das Kohlenstoffatom.....	824
Sekundäre Bindungen.....	830
Makromoleküle.....	833
Molekülspektren.....	837
Molekülschwingungen	837
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	839

Kapitel 42

Riesige Verbände von verbundenen Bausteinen:

Festkörperphysik..... 841

Eine regelmäßige Anordnung: Das Kristallgitter.....	842
Kristalline und amorphe Festkörper.....	842
Basis + Gitter: Definition einer Kristallstruktur.....	843
Es kann nur 14 geben: Die Bravaisgitter	845
In einen anderen Raum wechseln: Das reziproke Gitter.....	847
Drei Zahlen zur Beschreibung von Richtungen und Flächen:	
Die Miller'schen Indizes	848
Röntgenbeugung.....	849
Die chemische Bindung ist ausschlaggebend: Arten von Festkörpern	850
Ein Gas aus Elektronen: Metallische Festkörper	851
Ionische Festkörper	852
Kovalente Festkörper	853
Betreten verboten: Das Bändermodell	854
Das Gitter ist entscheidend: Festkörpereigenschaften.....	859
Auch Gitter können schwingen	859
Ein Gas aus Elektronen: Elektrische Leitfähigkeit von Metallen.....	862
Wärmeleitung.....	863
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	865

Kapitel 43

Der Aufbau von Atomkernen..... 867

Äußerst kompakt: Der Aufbau von Atomkernen.....	867
Nur Protonen und Neutronen: Die Bausteine von Atomkernen.....	868
Chemisch gleich, physikalisch verschieden: Isotope.....	869
Die starke Wechselwirkung.....	869
Kerne halten zusammen: Die Bindungsenergie.....	871
Atomkerne können einfach zerfallen: Die natürliche Radioaktivität.....	873
Irgendwie stimmt es nicht: Der radioaktive Zerfall	873
Nur noch die Hälfte.....	875
Radioaktive Strahlung	879
Gray und Sievert: Die Strahlungsdosis.....	880
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	882

Kapitel 44**Es geht um gewaltige Energien: Kernspaltung und****Kernfusion..... 883**

Die Mitte ist begünstigt: Die Weizsäcker'sche Massenformel	884
Von oben nach unten: Kernspaltung.....	888
Die physikalischen Grundlagen	888
Kernwaffen	890
Kernenergie	893
Was passieren kann, wenn alles schiefgeht: Die Kernschmelze	895
Von unten nach oben: Kernfusion	897
Das Prinzip.....	897
Die Sonne im Herzen: Fusionsreaktoren.....	898
Die Wasserstoffbombe	900
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	901

Kapitel 45**Klein, aber oho!: Elementarteilchen 903**

Erzeugung und Beobachtung von Elementarteilchen	904
Elementarteilchenphysik ist Hochenergiephysik.....	904
Zoo der Elementarteilchen	905
Antimaterie	906
Paarvernichtung.....	907
Das Standardmodell der Elementarteilchenphysik.....	909
Klassen von Teilchen	909
Von schwach bis stark: Die vier fundamentalen Wechselwirkungen.....	910
Ein Zoo mit ziemlich vielen Teilchen.....	911
Starker Auftritt: Hadronen	911
Nicht immer leichte Teilchen: Leptonen.....	914
Rot, Grün und Blau: Die »Farben« und weitere Eigenschaften der Quarks.....	915
Drei Generationen von Fundamentarteilchen.....	916
Übungsaufgaben zu diesem Kapitel.....	918

TEIL XI**DER TOP-TEN-TEIL 919****Kapitel 46****Zehn spannende Nobelpreise aus den letzten****30 Jahren..... 921**

Der Nobelpreis 1995: Die Faszination der Neutrinos oder neue Entdeckungen im Teilchenzoo.....	921
Der Nobelpreis 1996 (Chemie): Fullerene oder die Entdeckung der ersten Kohlenstoffnanostrukturen	922
Der Nobelpreis 2002: Ein 100.000-Gallonen-Tank in einer Goldmine oder das Problem der fehlenden Sonnenneutrinos.....	923

Der Nobelpreis 2004: Die asymptotische Freiheit oder das Leben in der Uruppe.....	925
Der Nobelpreis 2010: Graphen oder die wundersame Welt im Zweidimensionalen.....	926
Der Nobelpreis 2012: Die Manipulation von Quantensystemen oder der Einstieg in neue Quantentechnologien.....	927
Der Nobelpreis 2013: Der Ursprung der Masse subatomarer Teilchen oder auf der Jagd nach dem Higgs-Boson.....	928
Der Nobelpreis 2015: Die Suche nach den fehlenden Sonnenneutrinos oder die Oszillationen der Neutrinos.....	929
Der Nobelpreis 2022: Einstein und die verborgenen Parameter oder die Quantenverschränkung.....	930
Der Nobelpreis 2023 (Chemie): Quantenpunkte oder Nanokristalle aus der Zwischenwelt.....	931

Kapitel 47

Zehn wichtige Entdeckungen vor 1900 933

Im freien Fall: Galileis Fallrinne	933
Selbst 30 Pferde reichten nicht: Die Magdeburger Halbkugeln	934
Die Zustandsgleichung idealer Gase.....	935
Von Bernstein und Froschschenkeln: Die Ursprünge der Elektrizitätslehre.....	936
Der Ørsted-Versuch.....	937
Faradays Untersuchungen zur Induktion	938
Die Entdeckung der großen Jupitermonde durch Galilei.....	939
Das Doppelspaltexperiment von Young.....	940
Es gibt keinen Äther: Der Michelson-Morley-Versuch.....	941
Strahlende Aussichten: Die Entdeckung der Radioaktivität.....	942

Kapitel 48

Zehn wichtige Entdeckungen nach 1900 943

Aufspaltung im Magnetfeld: Der Zeeman-Effekt	944
Der Franck-Hertz-Versuch (1911–1914).....	944
Das Bohr'sche Atommodell (1913).....	946
Die Entwicklung der Quantenmechanik Mitte der 20er-Jahre	946
Der Nachweis der Elektronenbeugung (1927).....	947
Die Entdeckung von Neutron und Positron (1932).....	948
Das Neutrino: 1933 postuliert, 1956 gefunden	949
Die Entdeckung der Kernspaltung durch Otto Hahn, Lise Meitner und Fritz Straßmann (1938).....	951
Die Erfindung des Transistors (1947).....	952
Die Entwicklung des Raster-Tunnelmikroskops (1981).....	953

Anhang A

Physikalische Konstanten und Größen 955

Unveränderbar: Physikalische Konstanten.....	955
Wichtige physikalische Größen und ihre Einheiten.....	956

Die Grundgrößen.....	957
Wichtige mechanische Einheiten	957
Immer noch verwirrend: Druckeinheiten.....	959
Radiant oder nicht?.....	959
Wichtige optische Einheiten	960
Wichtige elektromagnetische Einheiten.....	960
Wichtige thermodynamische Einheiten.....	961
Wichtige Strahlungseinheiten.....	963
Ohne Sie geht es nicht: Wichtige Tabellen.....	963

Anhang B

Ein klein wenig Mathematik: Mathematische

Formelsammlung..... 971

Es kommt auf die Richtung an: Die Vektorrechnung.....	972
Vektoren besitzen einen Betrag und eine Richtung.....	972
Darstellung durch Pfeile oder Zahlen	972
Addition und Subtraktion von Vektoren.....	973
Multiplikation.....	974
Geometrie.....	979
Auf den Winkel kommt es an: Trigonometrie	980
Mein Hut, der hat drei Ecken: Dreiecke	980
Sinus und Co: Definitionen	981
Jenseits der 90°	983
Wichtige trigonometrische Formeln.....	984
Differentialrechnung.....	985
Ableitungen: Motivation und Definitionen.....	986
Die wichtigsten Ableitungen.....	987
Die wichtigsten Regeln beim Ableiten	987
Nabla und Delta: Zwei spezielle Ableitungen.....	988
Eigentlich gar nicht so kompliziert: Die Integralrechnung.....	989
Warum Integralrechnung?.....	989
Die Integration ergibt eine Funktion: Unbestimmte Integrale.....	990
Die Integration liefert eine Zahl: Bestimmte Integrale	991
Rechenregeln	992
Linien- und Flächenintegrale.....	992
Noch einige wichtige Formeln zum Schluss.....	993

Lösungen der Aufgaben in Teil I..... 995

Kapitel 2.....	995
----------------	-----

Lösungen der Aufgaben in Teil II..... 997

Kapitel 3.....	997
Kapitel 4.....	999
Kapitel 5.....	1002
Kapitel 6.....	1003
Kapitel 7.....	1006

Kapitel 8	1008
Kapitel 9	1011
Lösungen der Aufgaben in Teil III	1015
Kapitel 10	1015
Kapitel 11	1017
Kapitel 12	1019
Lösungen der Aufgaben in Teil IV	1021
Kapitel 13	1021
Kapitel 14	1022
Kapitel 15	1025
Kapitel 16	1027
Kapitel 17	1028
Lösungen der Aufgaben in Teil V	1031
Kapitel 18	1031
Kapitel 19	1032
Kapitel 20	1033
Kapitel 21	1035
Kapitel 22	1037
Kapitel 23	1039
Lösungen der Aufgaben in Teil VI	1041
Kapitel 24	1041
Kapitel 25	1043
Kapitel 26	1044
Kapitel 27	1046
Kapitel 28	1048
Kapitel 29	1049
Kapitel 30	1052
Kapitel 31	1053
Lösungen der Aufgaben in Teil VII	1055
Kapitel 32	1055
Kapitel 33	1056
Kapitel 34	1058
Lösungen der Aufgaben in Teil VIII	1061
Kapitel 35	1061
Kapitel 36	1061
Lösungen der Aufgaben in Teil IX	1065
Kapitel 37	1065
Kapitel 38	1066
Lösungen der Aufgaben in Teil X	1069
Kapitel 39	1069
Kapitel 40	1071

38 Inhaltsverzeichnis

Kapitel 41.....	1073
Kapitel 42.....	1074
Kapitel 43.....	1076
Kapitel 44.....	1078
Kapitel 45.....	1079
Abbildungsverzeichnis	1081
Stichwortverzeichnis	1095