

# Inhaltsverzeichnis

## Mechanik

<b>ORIENTIERUNG</b> .....	12
<b>1 Einfache Bewegungen</b> .....	14
<b>1.1 Kinematik</b> .....	14
1.1.1 Beschreibung von Bewegungen .....	14
1.1.2 Geschwindigkeit .....	16
1.1.3 Beschleunigung .....	18
1.1.4 Geradlinige Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit .....	19
1.1.5 Geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung .....	20
1.1.6 Freier Fall .....	21
1.1.7 Überlagerung von Bewegungen .....	21
1.1.8 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit Anfangsgeschwindigkeit .....	23
1.1.9 Wurfbewegungen .....	24
<b>Sport:</b> Zeitmessung .....	15
<b>Verkehr:</b> Sicherheit im Straßen- verkehr .....	24
<b>Forschung:</b> Parabelflug .....	28
<b>1.2 Dynamik</b> .....	30
1.2.1 Trägheit und Inertialsystem .....	30
1.2.2 Masse .....	31
1.2.3 Newton'sche Axiome – Definition der Kraft .....	34
1.2.4 Addition von Kräften .....	35
1.2.5 Gewichtskraft und freier Fall .....	38
1.2.6 Rücktreibende Kraft elastischer Körper .....	38
1.2.7 Reibung .....	38
<b>Grundgrößen:</b> Meter, Kilogramm und Sekunde .....	32
<b>Bauphysik:</b> Statik am Bau .....	36
<b>Sport:</b> Luftwiderstand .....	40
<b>Sport:</b> Wie fliegt ein Fußball? .....	42
<b>1.3 Erhaltungssätze</b> .....	44
1.3.1 Umwandlung und Transport von Energie .....	44
1.3.2 Energieerhaltungssatz .....	44
1.3.3 Energieformen in der Mechanik .....	44
1.3.4 Energieübertragung .....	48
1.3.5 Impuls .....	50
1.3.6 Impulserhaltungssatz .....	50
1.3.7 Schwerpunktsatz .....	54
1.3.8 Nichtzentrale Stöße .....	54
<b>Sport:</b> Leistung beim Hochsprung .....	46
<b>Verkehr:</b> Sicherheit in Fahrzeugen .....	52
<b>Überblick: Einfache Bewegungen</b> .....	58
<b>2 Kreis- und Drehbewegungen</b> .....	60
<b>2.1 Kreisbewegungen</b> .....	60
2.1.1 Geschwindigkeit und Kreisfrequenz ...	60
2.1.2 Zentripetalbeschleunigung .....	62
2.1.3 Zentripetalkraft .....	62
2.1.4 Rotierende Bezugssysteme und Coriolis-Beschleunigung .....	63
<b>Jahrmarkt:</b> Karussell .....	61
<b>Geschichte:</b> Foucault'sches Pendel .....	66
<b>2.2 Drehbewegungen</b> .....	68
2.2.1 Rotationsenergie .....	68
2.2.2 Trägheitsmoment .....	69
2.2.3 Drehimpuls .....	69
2.2.4 Drehmoment .....	70
2.2.5 Drehimpulserhaltungssatz .....	71
<b>Sport:</b> Saltos und Schrauben .....	70
<b>Umwelt:</b> Rotierende Luftmassen .....	73
<b>Überblick: Kreis- und       Drehbewegungen</b> .....	75
<b>REFLEXION: MECHANIK</b> .....	76

## Felder

<b>ORIENTIERUNG</b> .....	78
<b>3 Gravitation</b> .....	80
<b>3.1 Gravitationsgesetz</b> .....	80
3.1.1 Kepler'sche Gesetze .....	80
3.1.2 Der Mond als fallender Körper .....	82
3.1.3 Newton'sches Gravitationsgesetz .....	83
3.1.4 Folgerungen aus der Gravitations- theorie .....	86
<b>Geschichte:</b> Weltbilder vor Newton .....	81
<b>Forschung:</b> Gravimetrie .....	84
<b>Forschung:</b> Mikrogravitation .....	86
<b>3.2 Gravitationsfeld</b> .....	88
3.2.1 Feldkonzept .....	88
3.2.2 Gravitationsfeldstärke .....	88
3.2.3 Potenzielle Energie .....	89
3.2.4 Berechnung von Satellitenbahnen .....	93
<b>Umwelt:</b> Gezeiten .....	90
<b>Raumfahrt:</b> Raketenantrieb .....	92
<b>Raumfahrt:</b> Weltraummanöver .....	96
<b>Überblick: Gravitation</b> .....	99
<b>4 Elektrische und magnetische Felder</b> .....	100
<b>4.1 Elektrische Ladung und elektrisches Feld</b> .....	100
4.1.1 Elektrisch geladene Körper .....	100
4.1.2 Elektrische Ladung und Strom- stärke .....	101
4.1.3 Kräfte zwischen geladenen Körpern .....	102
4.1.4 Elektrisches Feld .....	103
4.1.5 Elektrische Spannung und Energie .....	106
4.1.6 Elektrisches Potenzial .....	108
4.1.7 Kondensatoren .....	110
4.1.8 Kondensatoren in Stromkreisen .....	111
4.1.9 Energie des elektrischen Felds .....	113
4.1.10 Bestimmung der Elementarladung .....	114
4.1.11 Bewegung von Ladungsträgern im elektrischen Feld .....	116
<b>Technik:</b> Faraday'scher Käfig .....	101
<b>Umwelt:</b> Gewitter .....	104
<b>Technik:</b> Fotokopierer .....	109
<b>Technik:</b> Rauchgasreinigung .....	114
<b>Biologie:</b> Signalübertragung durch Nervenzellen .....	118
<b>4.2 Magnetisches Feld</b> .....	119
4.2.1 Felder um stromdurchflossene Leiter ..	119
4.2.2 Magnetische Feldstärke .....	121
4.2.3 Lorentzkraft .....	122
4.2.4 Halleffekt .....	124
4.2.5 Magnetfeld in einer langen Spule .....	125
4.2.6 Materie im magnetischen Feld .....	125
4.2.7 Bestimmung der Masse geladener Teilchen .....	128
<b>Geophysik:</b> Magnetfeld der Erde .....	120
<b>Grundgrößen:</b> Ampere und Elementarladung .....	123
<b>Forschung:</b> Elektromagnetisches Rühren .....	127
<b>Forschung:</b> Massenspektroskopie .....	128
<b>Umwelt:</b> Polarlicht .....	131
<b>Überblick: Elektrische und           magnetische Felder</b> .....	134
<b>5 Induktion und Leitungsvorgänge</b> .....	136
<b>5.1 Elektromagnetische Induktion</b> .....	136
5.1.1 Induktionsgesetz .....	136
5.1.2 Folgerungen aus dem Induktions- gesetz .....	139
5.1.3 Selbstinduktion .....	142
5.1.4 Energie des magnetischen Felds .....	145
5.1.5 Wirbelströme .....	145
<b>Technik:</b> Metalldetektoren .....	137
<b>Technik:</b> Zündanlagen .....	143
<b>Technik:</b> Wirbelstrombremsen .....	146
<b>5.2 Wechselstromkreis</b> .....	148
5.2.1 Wechselstrom und Wechsel- spannung .....	148
5.2.2 Ohm'scher Widerstand .....	150
5.2.3 Nichtohmsche Bauelemente .....	151
5.2.4 Leistung im Wechselstromkreis .....	153
5.2.5 Einfache Schaltungen .....	154
<b>Technik:</b> Drehstrommotor .....	149
<b>Technik:</b> Fernleitung elektrischer Energie .....	151

<b>5.3 Elektrische Leitungsvorgänge</b> . . . . .	157	<b>Technik: Solarzellen</b> . . . . .	161
5.3.1 Halbleiter und Metalle . . . . .	157	<b>Technik: Leuchtdioden</b> . . . . .	163
5.3.2 Bändermodell der Festkörper . . . . .	157	<b>Technik: Datenspeicher</b> . . . . .	166
5.3.3 p- und n-Leitung . . . . .	159	<b>Forschung: Grenzen der</b>	
5.3.4 Der p-n-Übergang . . . . .	160	Miniaturisierung . . . . .	168
5.3.5 Transistoren . . . . .	164	<b>Forschung: Nanoteilchen:</b>	
5.3.6 Integrierte Schaltkreise . . . . .	165	mesoskopische Systeme . . . . .	172
5.3.7 Supraleitung . . . . .	167		
5.3.8 Leitung in Flüssigkeiten . . . . .	169	<b>Überblick: Induktion und</b>	
5.3.9 Leitung in Gasen . . . . .	170	<b>Leitungsvorgänge</b> . . . . .	176
<b>REFLEXION: FELDER</b> . . . . .	178		

## Schwingungen und Wellen

<b>ORIENTIERUNG</b> . . . . .	180
-------------------------------	-----

<b>6 Schwingungen</b> . . . . .	182	<b>Zeitmessung: Schwingquarze als</b>	
		Taktgeber . . . . .	203
<b>6.1 Mechanische Schwingungen</b> . . . . .	182	<b>Rundfunktechnik: Schwingungen in</b>	
6.1.1 Kenngrößen und Beschreibung		Sendeanlagen . . . . .	205
einer Schwingung . . . . .	182		
6.1.2 Harmonische Schwingungen . . . . .	183	<b>6.3 Schwingungen und Chaos</b> . . . . .	206
6.1.3 Nichtharmonische Schwingungen . . . . .	186	6.3.1 Deterministisches Chaos . . . . .	206
6.1.4 Energie harmonischer		6.3.2 Bifurkation . . . . .	207
Schwingungen . . . . .	186	6.3.3 Diagramme chaotischer	
6.1.5 Gedämpfte harmonische		Schwingungen . . . . .	208
Schwingungen . . . . .	187		
6.1.6 Erzwungene Schwingungen und		<b>Überblick: Schwingungen</b> . . . . .	212
Resonanz . . . . .	189		
6.1.7 Überlagerung von harmonischen		<b>7 Wellen</b> . . . . .	214
Schwingungen . . . . .	192		
		<b>7.1 Mechanische Wellen</b> . . . . .	214
<b>Geophysik: Seismometer</b> . . . . .	183	7.1.1 Entstehung mechanischer Wellen . . . . .	214
<b>Bauphysik: Schwingungen von</b>		7.1.2 Ausbreitung mechanischer Wellen . . . . .	215
Bauten . . . . .	188	7.1.3 Überlagerung von Wellen . . . . .	217
<b>Verkehr: Schwingungsdämpfer</b> . . . . .	191	7.1.4 Stehende Wellen . . . . .	219
<b>Tontechnik: Klanganalyse</b> . . . . .	194	7.1.5 Huygens'sches Prinzip . . . . .	221
		7.1.6 Beugung, Reflexion und Brechung . . . . .	223
<b>6.2 Elektromagnetische Schwingungen</b> . . . . .	195		
6.2.1 Schwingungen in einem		<b>Biologie: Ultraschall bei Tieren</b> . . . . .	215
Schwingkreis . . . . .	195	<b>Umwelt: Meereswellen</b> . . . . .	220
6.2.2 Ungedämpfte Schwingungen . . . . .	196	<b>Geophysik: Seismische Wellen</b> . . . . .	225
6.2.3 Gedämpfte Schwingungen . . . . .	197		
6.2.4 Erzwungene Schwingungen		<b>7.2 Akustik</b> . . . . .	226
und Resonanz . . . . .	198	7.2.1 Schallsignale . . . . .	226
6.2.5 Rückkopplung . . . . .	201	7.2.2 Ausbreitung des Schalls . . . . .	226
6.2.6 Überlagerung von Schwingungen . . . . .	202	7.2.3 Wahrnehmung des Schalls . . . . .	227
		7.2.4 Reflexion von Schallwellen . . . . .	229
<b>Verkehr: Verkehrssteuerung</b> . . . . .	198	7.2.5 Brechung, Beugung und Interferenz	
<b>Tontechnik: Mikrofon und</b>		von Schallwellen . . . . .	230
Lautsprecher . . . . .	200		

7.2.6	Dopplereffekt und Überschall. . . . .	231	7.3.6	Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen . . . . .	246
	<b>Musik:</b> Stehende Wellen an Musikinstrumenten . . . . .	228	7.3.7	Elektromagnetisches Spektrum . . . . .	252
	<b>Medizin:</b> Sonografie . . . . .	232		<b>Geschichte:</b> Geschichte der Informationsübertragung . . . . .	240
	<b>Biologie:</b> Das menschliche Ohr . . . . .	234		<b>Technik:</b> Mikrowellenherd . . . . .	243
<b>7.3</b>	<b>Elektromagnetische Wellen</b> . . . . .	236		<b>Technik:</b> Radar . . . . .	245
7.3.1	Entstehung von Radiowellen . . . . .	236		<b>Technik:</b> Digitalisierung . . . . .	247
7.3.2	Ausbreitungsgeschwindigkeit von Radiowellen . . . . .	238		<b>Forschung:</b> Synchrotronstrahlung . . . . .	250
7.3.3	Maxwell'sche Theorie . . . . .	239		<b>Technik:</b> Wie funktioniert Fernsehen? . . . . .	254
7.3.4	Eigenschaften von Radiowellen . . . . .	242		<b>Überblick: Wellen</b> . . . . .	258
7.3.5	Ausbreitung von Radiowellen . . . . .	244			
<b>REFLEXION: SCHWINGUNGEN UND WELLEN</b> . . . . .					260

## Quantenobjekte und Struktur der Materie

<b>ORIENTIERUNG</b> . . . . .					262
<b>8</b>	<b>Licht</b> . . . . .	264		<b>Astronomie:</b> Strahlungsdruck. . . . .	288
<b>8.1</b>	<b>Klassische Optik</b> . . . . .	264	<b>8.3</b>	<b>Intensität von Licht: der Zeigerformalismus</b> . . . . .	290
8.1.1	Geschwindigkeit des Lichts . . . . .	264	8.3.1	Modelle vom Licht . . . . .	290
8.1.2	Fermat'sches Prinzip, Reflexion und Brechung . . . . .	266	8.3.2	Konstruktion des Zeiger- formalismus . . . . .	290
8.1.3	Farbe . . . . .	268	8.3.3	Interferenz am Doppelspalt . . . . .	290
8.1.4	Wellenmodell des Lichts . . . . .	268	8.3.4	Beugung am breiten Spalt . . . . .	294
8.1.5	Interferenz am Doppelspalt . . . . .	269	8.3.5	Beugung am schmalen Spalt . . . . .	297
8.1.6	Interferenz am Gitter . . . . .	270	8.3.6	Intensitätsoptimierung . . . . .	299
8.1.7	Beugung am Einfachspalt . . . . .	271	8.3.7	Interferenz am Mehrfachspalt . . . . .	299
8.1.8	Interferenz an dünnen Schichten . . . . .	273	8.3.8	Optische Abbildung . . . . .	302
8.1.9	Michelson-Interferometer . . . . .	275		<b>Technik:</b> Optische Beschichtung . . . . .	292
8.1.10	Polarisation . . . . .	276		<b>Technik:</b> Holografie . . . . .	300
8.1.11	Kohärenz . . . . .	279		<b>Forschung:</b> Auflösungsvermögen optischer Instrumente . . . . .	306
	<b>Umwelt:</b> Halos . . . . .	265		<b>Überblick: Licht</b> . . . . .	310
	<b>Grundgrößen:</b> Lichtgeschwindigkeit . . . . .	267			
	<b>Technik:</b> Farbmischung . . . . .	272			
	<b>Technik:</b> TFT-Bildschirme . . . . .	278			
<b>8.2</b>	<b>Lichtquanten</b> . . . . .	281	<b>9</b>	<b>Quantenphysik</b> . . . . .	312
8.2.1	Wechselwirkung von Licht mit Materie . . . . .	281	<b>9.1</b>	<b>Quantenobjekte</b> . . . . .	312
8.2.2	Fotoeffekt . . . . .	282	9.1.1	Wahrscheinlichkeitsdeutung . . . . .	312
8.2.3	Quantenhafte Emission von Licht . . . . .	284	9.1.2	Quanteninterferenz . . . . .	312
8.2.4	Impuls von Photonen . . . . .	286	9.1.3	Verschränkung . . . . .	314
8.2.5	Compton-Streuung . . . . .	286	9.1.4	Elektronen als Quantenobjekte . . . . .	315
	<b>Forschung:</b> Nachweis von Photonen . . . . .	284	9.1.5	Neutronen, Atome und Moleküle . . . . .	319

	<b>Forschung:</b> Elektronenmikroskop . . . . .	313
	<b>Forschung:</b> Teleportation . . . . .	316
<b>9.2</b>	<b>Elemente der Quantenmechanik</b> . . . . .	320
9.2.1	Materiewellen . . . . .	320
9.2.2	Interferenz von Materiewellen . . . . .	321
9.2.3	Heisenberg'sche Unbestimmtheits- relation . . . . .	323
	<b>Forschung:</b> Rastertunnelmikroskop . . . . .	324
	<b>Überblick: Quantenphysik</b> . . . . .	327
<b>10</b>	<b>Atome</b> . . . . .	328
<b>10.1</b>	<b>Entwicklung der Atommodelle</b> . . . . .	328
10.1.1	Entstehung des Atombegriffs in der antiken Philosophie . . . . .	328
10.1.2	Rutherford'sches Atommodell . . . . .	330
10.1.3	Linienpektren . . . . .	332
10.1.4	Energieniveaus in Atomen . . . . .	333
10.1.5	Bohr'sches Atommodell . . . . .	333
	<b>Forschung:</b> Spektralanalyse . . . . .	329
	<b>Technik:</b> Atomuhren . . . . .	334
<b>10.2</b>	<b>Energieabsorption</b> . . . . .	337
10.2.1	Franck-Hertz-Experiment . . . . .	337
10.2.2	Resonanzabsorption und Resonanz- fluoreszenz . . . . .	339
10.2.3	Fluoreszenz und Phosphoreszenz . . . . .	342
	<b>Geschichte:</b> Fraunhofer'sche Linien . . . . .	340
	<b>Technik:</b> Anwendung der Fluoreszenz . . . . .	343
<b>10.3</b>	<b>Atommodell der Quantenphysik</b> . . . . .	344
10.3.1	Schrödingergleichung . . . . .	344
10.3.2	Modell des linearen Potenzialtopfs . . . . .	345
10.3.3	Tunneleffekt . . . . .	347
10.3.4	Wasserstoffatom . . . . .	348
10.3.5	Orbitale und Quantenzahlen . . . . .	349
10.3.6	Periodensystem der Elemente . . . . .	351
	<b>Umwelt:</b> Farbstoffe . . . . .	350
<b>10.4</b>	<b>Laser- und Röntgenstrahlung</b> . . . . .	354
10.4.1	Laserstrahlung . . . . .	354
10.4.2	Eigenschaften von Röntgenstrahlung . . . . .	359
10.4.3	Spektrum der Röntgenstrahlung . . . . .	361
	<b>Forschung:</b> Femtosekundenlaser . . . . .	356
	<b>Forschung:</b> Laserdiode . . . . .	358
	<b>Forschung:</b> Kristallstrukturanalyse . . . . .	360
	<b>Medizin:</b> Diagnose mit Röntgen- strahlung . . . . .	364
	<b>Forschung:</b> Freie-Elektronen-Laser . . . . .	366
	<b>Überblick: Atome</b> . . . . .	370
<b>11</b>	<b>Kerne und Elementarteilchen</b> . . . . .	372
<b>11.1</b>	<b>Radioaktivität</b> . . . . .	372
11.1.1	Nachweis radioaktiver Strahlung . . . . .	372
11.1.2	Arten radioaktiver Strahlung . . . . .	374
11.1.3	Symbolschreibweise . . . . .	375
11.1.4	Aktivität und Zerfallsgesetz . . . . .	375
11.1.5	Wechselwirkung von Strahlung mit Materie . . . . .	378
11.1.6	Messgrößen des Strahlungsschutzes . . . . .	381
11.1.7	Biologische Wirkung ionisierender Strahlung . . . . .	382
	<b>Umwelt:</b> Bestrahlung von Lebensmitteln . . . . .	373
	<b>Forschung:</b> Altersbestimmung . . . . .	376
	<b>Medizin:</b> Radioaktive Strahlung in der Medizin . . . . .	380
	<b>Umwelt:</b> Belastung durch ionisierende Strahlung . . . . .	384
<b>11.2</b>	<b>Aufbau der Atomkerne</b> . . . . .	386
11.2.1	Kernbausteine . . . . .	386
11.2.2	Massendefekt und Bindungsenergie . . . . .	388
11.2.3	Tröpfchenmodell des Kerns . . . . .	388
11.2.4	Schalen- und Potenzialtopfmodell des Kerns . . . . .	390
	<b>Geschichte:</b> Entdeckung des Neutrons . . . . .	387
<b>11.3</b>	<b>Kernumwandlungen</b> . . . . .	392
11.3.1	Arten radioaktiven Zerfalls . . . . .	392
11.3.2	Natürliche Zerfallsreihen . . . . .	394
11.3.3	Künstliche Kernumwandlungen . . . . .	395
11.3.4	Kernspaltung . . . . .	396
11.3.5	Kettenreaktion und Energiebilanz . . . . .	397
11.3.6	Kernfusion . . . . .	400
11.3.7	Kernreaktoren . . . . .	402
	<b>Geophysik:</b> Der Naturreaktor von Oklo . . . . .	399
	<b>Geschichte:</b> Das »Manhattan Project« . . . . .	400
	<b>Technik:</b> Moderne Kernkraftwerke . . . . .	402
	<b>Energie:</b> Fusionsreaktoren . . . . .	405

<b>11.4 Elementarteilchenphysik</b> .....	406	<b>Forschung:</b> Der »Large Hadron Collider« .....	410
11.4.1 Standardmodell .....	406	<b>Forschung:</b> Detektoren in der Teilchenphysik .....	415
11.4.2 Wechselwirkungen .....	411	<b>Überblick: Kerne und Elementarteilchen</b> .....	418
11.4.3 Vielfalt und Ordnung im Teilchenzoo .....	413		
<b>Forschung:</b> Kosmische Strahlung .....	408		
<b>REFLEXION: QUANTENOBJEKTE UND STRUKTUR DER MATERIE</b> .....	420		
<b>Relativität und Astrophysik</b>			
<b>ORIENTIERUNG</b> .....	422		
<b>12 Relativitätstheorie</b> .....	424	12.4.3 Krümmung der Raumzeit .....	448
<b>12.1 Grundlagen</b> .....	424	<b>Forschung:</b> Gravitationswellendetektor .....	446
12.1.1 Relativbewegungen .....	424	<b>Überblick: Relativitätstheorie</b> .....	451
12.1.2 Lichtgeschwindigkeit .....	424		
12.1.3 Äthertheorie .....	425		
12.1.4 Einstein-Postulate .....	427		
<b>Technik:</b> Satellitennavigation .....	425		
<b>Geschichte:</b> Relativität und Elektrodynamik .....	428		
<b>12.2 Relativistische Kinematik</b> .....	429	<b>13 Astrophysik</b> .....	452
12.2.1 Gleichzeitigkeit .....	429	<b>13.1 Unser Stern: die Sonne</b> .....	452
12.2.2 Zeitdilatation .....	429	13.1.1 Sonne und Sonnensystem .....	452
12.2.3 Längenkontraktion .....	430	13.1.2 Zustandsgrößen der Sonne .....	453
12.2.4 Addition von Geschwindigkeiten .....	433	13.1.3 Sonnenatmosphäre .....	454
12.2.5 Koordinaten-Transformation .....	434	13.1.4 Sonnenaktivität .....	455
12.2.6 Minkowski-Diagramme .....	435	13.1.5 Innerer Aufbau der Sonne .....	456
12.2.7 Raumzeit .....	437	<b>Umwelt:</b> Sonne, Leben, Energie .....	453
<b>Zeit:</b> Zwillingenparadoxon .....	431	<b>Geschichte:</b> Solare Neutrinos .....	457
<b>Forschung:</b> Myonen .....	432	<b>13.2 Physik der Sterne</b> .....	460
<b>Technik:</b> Atomuhrenvergleich .....	438	13.2.1 Helligkeiten und Entfernungen der Sterne .....	460
<b>12.3 Relativistische Dynamik</b> .....	439	13.2.2 Zustandsgrößen der Sterne .....	461
12.3.1 Relativität der Masse .....	439	13.2.3 Hertzsprung-Russell-Diagramm .....	464
12.3.2 Masse-Energie-Beziehung .....	440	13.2.4 Sternentstehung und Sternentwicklung .....	466
12.3.3 Relativistische Energie .....	442	<b>Forschung:</b> Entfernungsbestimmung von Sternen .....	462
12.3.4 Energie-Impuls-Beziehung .....	442	<b>Forschung:</b> Bedingungen für Leben .....	466
<b>Forschung:</b> Relativistische Effekte in Teilchenbeschleunigern .....	440	<b>Forschung:</b> Altersbestimmung von Sternen .....	471
<b>12.4 Elemente der Allgemeinen Relativitätstheorie</b> .....	444	<b>13.3 Großstrukturen im Kosmos</b> .....	472
12.4.1 Gravitationsfeld und Relativität .....	444	13.3.1 Milchstraßensystem .....	472
12.4.2 Experimentelle Belege .....	445	13.3.2 Außergalaktische Sternsysteme .....	473

13.3.3 Kosmologie . . . . .	474	<b>Überblick: Astrophysik</b> . . . . .	479
Forschung: Quasare . . . . .	475		
Forschung: Entwicklung des Kosmos . . . . .	476		
<b>REFLEXION: RELATIVITÄT UND ASTROPHYSIK</b> . . . . .	480		
<b>14 Thermodynamik</b> . . . . .	482	<b>Technik: Wärmepumpen</b> . . . . .	496
<b>14.1 Grundlagen der Thermodynamik</b> . . . . .	482	<b>Technik: Erzeugung tiefer</b>	
14.1.1 System und Gleichgewicht . . . . .	482	Temperaturen . . . . .	499
14.1.2 Absolute Temperatur und		<b>14.3 Kinetische Gastheorie</b> . . . . .	500
Gasgesetze . . . . .	483	14.3.1 Mikroskopische Deutung	
14.1.3 Erster Hauptsatz der Thermo-		der Gasgesetze . . . . .	500
dynamik . . . . .	485	14.3.2 Mechanische Deutung von Druck	
14.1.4 Energiebilanzen bei Zustands-		und Temperatur . . . . .	500
änderungen von Gasen . . . . .	486	14.3.3 Geschwindigkeit von Teilchen . . . . .	502
14.1.5 Reale Gase . . . . .	487	14.3.4 Ausgleichsvorgänge: Diffusion und	
14.1.6 Entropie und Zweiter Hauptsatz der		Osmose . . . . .	504
Thermodynamik . . . . .	488	14.3.5 Verdunstung und Mischung . . . . .	505
14.1.7 Entropieerzeugung als »Antrieb« . . . . .	490	14.3.6 Wahrscheinlichkeit und Information . . . . .	506
<b>Umwelt: Temperaturschichtung</b> . . . . .	483	<b>Umwelt: Warum ist unsere</b>	
<b>Geschichte: Wärmetod</b> . . . . .	489	Lufthülle stabil? . . . . .	503
<b>Umwelt: Dissipative Strukturen</b> . . . . .	492	<b>Technik: Osmosekraftwerk</b> . . . . .	506
<b>14.2 Wärmekraftmaschinen und</b>		<b>14.4 Gesetze der Wärmestrahlung</b> . . . . .	510
<b>Kreisprozesse</b> . . . . .	493	14.4.1 Strahlungs- und Energiehaushalt	
14.2.1 Entropie und Wärmekraft-		der Erde . . . . .	510
maschinen . . . . .	493	14.4.2 Strahlungseigenschaften von	
14.2.2 Carnot'scher Wirkungsgrad von		Körpern . . . . .	511
Wärmekraftmaschinen . . . . .	493	14.4.3 Die Erde im Strahlungsgleich-	
14.2.3 Kühlschranks und Wärmepumpe . . . . .	496	gewicht . . . . .	513
14.2.4 Absoluter Nullpunkt und Dritter		14.4.4 Treibhauseffekt der Atmosphäre . . . . .	514
Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	497	<b>Umwelt: Versiegt der Golfstrom?</b> . . . . .	514
14.2.5 Stirlingmotor . . . . .	497	<b>Überblick: Thermodynamik</b> . . . . .	520
<b>Technik: GuD-Kraftwerke</b> . . . . .	494		
<b>M Methoden der Physik</b> . . . . .	522		
M1 Experimente und ihre Auswertung . . . . .	522		
M2 Modelle in der Physik . . . . .	528		
M3 Mathematische Funktionen und Verfahren . . . . .	530		
Register . . . . .	547		