

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	5
Einleitung .....	13
<b>1 Physikalisches Messen .....</b>	<b>17</b>
1.1 SI-Einheiten und ihre Dimension .....	17
1.2 Maßangaben und Größengleichungen .....	18
1.3 SI-Basisgrößen .....	21
1.3.1 Länge .....	21
1.3.2 Zeit .....	22
1.3.3 Masse .....	24
1.3.4 Stoffmenge .....	26
1.3.5 Weitere SI-Basisgrößen .....	27
1.4 Abgeleitete Größen .....	28
1.5 Bedeutung des Einheitensystems für die Praxis .....	30
1.6 Auswertung von Messungen .....	32
1.6.1 Physik als messende Wissenschaft .....	32
1.6.2 Darstellung von Messergebnissen .....	33
1.6.3 Fehlerabschätzungen .....	38
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>41</b>
<b>Kontrollfragen .....</b>	<b>43</b>
<b>2 Kinematik .....</b>	<b>45</b>
2.1 Gleichförmige und ungleichförmige Bewegung .....	46
2.1.1 Geradlinige gleichförmige Bewegung .....	46
2.1.2 Geradlinige ungleichförmige Bewegung .....	47
2.1.3 Physikalische Differentiale .....	49
2.1.4 Exemplarischer Messvorgang zur beschleunigten .....	
Bewegung .....	50
2.1.5 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung .....	54
2.2 Zusammensetzen von Geschwindigkeit und Beschleunigung .....	56
2.2.1 Geschwindigkeit und Beschleunigung als .....	
vektorielle Größen .....	56
2.2.2 Bezugssysteme .....	57
2.2.3 Der Wurf .....	59
2.3 Kreisbewegung .....	63
2.3.1 Allgemeines .....	63
2.3.2 Gleichförmige Kreisbewegung .....	63
2.3.3 Gleichmäßig beschleunigte Kreisbewegung .....	66
2.3.4 Gegenüberstellung von geradliniger Bewegung .....	
und Kreisbewegung .....	67
2.3.5 Vektordarstellung der Winkelgeschwindigkeit .....	69
2.4 Schwingungen .....	70
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>74</b>
<b>Kontrollfragen .....</b>	<b>78</b>

<b>3</b>	<b>Mechanik: Impuls, Kraft und Energie . . . . .</b>	<b>79</b>
3.1	Impuls . . . . .	79
3.2	Erhaltung des Impulses . . . . .	81
3.3	Kraft . . . . .	82
3.4	NEWTONSche Grundgesetze der Mechanik . . . . .	84
3.4.1	Zusammenhang von Kraft und Beschleunigung . . . . .	84
3.4.2	Trägheitsgesetz . . . . .	88
3.4.3	Gegenwirkungsprinzip . . . . .	89
3.5	Spezielle Kräfte . . . . .	90
3.5.1	Kraft im Schwerefeld – Gravitation . . . . .	90
3.5.2	Elektrische Kraft im Feld einer Punktladung . . . . .	91
3.5.3	Elektrische Kraft im homogenen elektrischen Feld . . . . .	93
3.5.4	Elastische Federkräfte . . . . .	95
3.5.5	Kräfte am Fadenpendel . . . . .	98
3.5.6	Weitere Beispiele harmonischer Vorgänge . . . . .	101
3.5.7	Reibungskräfte . . . . .	102
3.5.8	Radialkräfte . . . . .	109
3.5.9	Kräfte im rotierenden Bezugssystem . . . . .	111
3.6	Energie . . . . .	115
3.6.1	Die mechanische Arbeit . . . . .	116
3.6.2	Kinetische Energie . . . . .	118
3.6.3	Potentielle Energie . . . . .	119
3.6.4	Energiesatz . . . . .	123
3.6.5	Stoßprozesse . . . . .	126
3.6.6	Elastischer gerader Stoß . . . . .	126
3.6.7	Unelastischer gerader Stoß . . . . .	128
3.6.8	Leistung . . . . .	130
3.6.9	Weitere Beispiele für potentielle Energien . . . . .	132
3.7	Mechanik starrer Körper – Drehbewegungen . . . . .	134
3.7.1	Freiheitsgrade des starren Körpers . . . . .	134
3.7.2	Schwerpunkt . . . . .	135
3.7.3	Kräfte am starren Körper . . . . .	138
3.7.4	Drehimpuls . . . . .	141
3.7.5	Bewegung um eine Achse – Drehmoment . . . . .	144
3.7.6	Gleichgewicht am starren Körper . . . . .	146
3.7.7	Trägheitsmomente . . . . .	148
3.7.8	Satz von STEINER . . . . .	151
3.7.9	Arbeit, Energie und Leistung beim starren Körper . . . . .	153
3.7.10	Beispiele und Anwendungen . . . . .	154
	<i>Zusammenfassung . . . . .</i>	161
	<i>Kontrollfragen . . . . .</i>	171
<b>4</b>	<b>Mechanik der Flüssigkeiten und Gase . . . . .</b>	<b>173</b>
4.1	Ruhende Flüssigkeiten und Gase . . . . .	173
4.1.1	Druck . . . . .	174
4.1.2	Schweredruck in Flüssigkeiten . . . . .	175
4.1.3	Auftrieb und Schwimmen . . . . .	175
4.1.4	Das BOYLESche Gesetz . . . . .	180

4.1.5	Barometrische Höhenformel .....	180
4.1.6	Rotierende Flüssigkeiten .....	183
4.2	Strömende Flüssigkeiten und Gase .....	184
4.2.1	Allgemeines zu Strömungsvorgängen .....	185
4.2.2	Kontinuitätsgleichung .....	186
4.2.3	Laminare Strömung in einem Rohr .....	187
4.2.4	BERNOULLI'sche Gleichung .....	189
4.2.5	Wirbel in Flüssigkeiten und Gasen .....	192
	<i>Zusammenfassung</i> .....	194
	<i>Kontrollfragen</i> .....	196
5	<b>Schwingungen</b> .....	197
5.1	Schwingungen in der Ebene .....	198
5.2	Überlagerungen von Schwingungen und FOURIER-Entwicklung ..	202
5.3	Schwebungen .....	203
5.4	Energiebilanz bei Schwingungen .....	206
5.5	Einschub: Rechnen mit komplexen Zahlen .....	207
5.6	Gedämpfte Schwingungen .....	209
5.6.1	Lösung der Schwingungsgleichung .....	209
5.6.2	Elektrischer Schwingkreis .....	215
5.7	Erzwungene Schwingungen .....	216
5.7.1	Vorläufige Abschätzungen und Diskussion der Lösung ..	217
5.7.2	Gesamtverhalten im eingeschwungenen Zustand .....	219
	<i>Zusammenfassung</i> .....	226
	<i>Kontrollfragen</i> .....	228
6	<b>Elektrotechnik</b> .....	229
6.1	Der elektrische Gleichstromkreis .....	230
6.1.1	Elektrischer Strom und elektrische Spannung .....	230
6.1.2	Ladung als Ursache des elektrischen Stroms .....	233
6.1.3	Zusammenhang zwischen Spannung und Strom – das OHMSche Gesetz .....	236
6.1.4	Arbeit und Leistung des elektrischen Gleichstroms .....	241
6.1.5	KIRCHHOFFSche Gesetze .....	242
6.1.6	Anwendungen der KIRCHHOFFSchen Gesetze .....	246
6.2	Elektrostatik .....	251
6.2.1	Die elektrische Ladung .....	251
6.2.2	COULOMBSches Gesetz .....	255
6.2.3	Das elektrische Feld .....	256
6.2.4	Elektrisches Potential und elektrische Spannung .....	260
6.2.5	Elektrische Ladungen auf Leitern .....	262
6.2.6	Spannung und Feldstärke im homogenen Feld .....	263
6.3	Der Kondensator .....	265
6.3.1	Ladung und Spannung am Plattenkondensator .....	265
6.3.2	Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren .....	267
6.3.3	Kapazitäten von Kondensatoren unterschiedlicher Geometrien .....	268
6.3.4	Energieinhalt eines Kondensators .....	272

6.4	Die elektrische Flussdichte . . . . .	273
6.4.1	Elektrisches Feld im Dielektrikum . . . . .	273
6.4.2	Elektrische Feldenergie . . . . .	277
6.4.3	Berechnung des Verschiebungsfeldes . . . . .	277
6.5	Magnetfeld elektrischer Ströme . . . . .	281
6.5.1	Das Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters . . . . .	282
6.5.2	Das Durchflutungsgesetz . . . . .	283
6.5.3	Kraftwirkung im Magnetfeld . . . . .	287
6.5.4	Materie im Magnetfeld . . . . .	291
6.5.5	Der magnetische Kreis . . . . .	296
6.6	Die elektromagnetische Induktion . . . . .	298
6.6.1	Das FARADAYSche Induktionsgesetz . . . . .	298
6.6.2	Gegenseitige Induktion zweier Stromkreise und Selbstinduktion . . . . .	301
6.6.3	Energieinhalt einer Spule und magnetische Feldenergie . . . . .	303
6.6.4	Generatoren und Motoren . . . . .	304
6.6.5	Ein- und Ausschalten einer Spule und eines Kondensators . . . . .	306
6.7	Die MAXWELLSchen Gleichungen . . . . .	308
6.8	Wechselströme . . . . .	310
6.8.1	Periodische Ströme und Spannungen . . . . .	310
6.8.2	Widerstand, Spule und Kondensator im Wechselstromkreis . . . . .	312
	<i>Zusammenfassung</i> . . . . .	317
	<i>Kontrollfragen</i> . . . . .	329
7	Geometrische Optik . . . . .	331
7.1	Natur des Lichts . . . . .	331
7.2	Reflexion . . . . .	333
7.3	Brechung . . . . .	335
7.4	Optische Abbildungen . . . . .	339
7.4.1	Brechung an einer Kugelfläche . . . . .	339
7.4.2	Abbildungen mit Linsen . . . . .	341
7.4.3	Linsensysteme und dicke Linsen . . . . .	346
7.4.4	Blenden . . . . .	347
7.5	Optische Geräte . . . . .	348
7.5.1	Abbildung durch das menschliche Auge . . . . .	348
7.5.2	Abbildung durch die Lupe . . . . .	349
7.5.3	Kamera und Projektionsgerät . . . . .	349
7.5.4	Abbildung durch das Fernrohr . . . . .	352
7.5.5	Abbildung durch das Mikroskop . . . . .	354
7.6	Hohl- und Wölbspiegel . . . . .	356
7.7	Energietransport durch Licht . . . . .	357
	<i>Zusammenfassung</i> . . . . .	359
	<i>Kontrollfragen</i> . . . . .	365
8	Wellen . . . . .	367
8.1	Eindimensionale Wellen . . . . .	367
8.1.1	Begriffe . . . . .	367

8.1.2	Elektromagnetische Wellen .....	371
8.1.3	Einige Eigenschaften von Schallwellen .....	375
8.1.4	Mathematische Beschreibung von Wellen – Wellengleichung .....	376
8.1.5	Energie- und Impulsdichte von Wellen .....	377
8.1.6	Die Maßeinheit Dezibel – Das menschliche Hören .....	379
8.2	Kugelwellen und Zylinderwellen .....	381
8.3	DOPPLER-Effekt .....	383
8.4	Überlagerung von Wellen (Interferenz) .....	385
8.4.1	Übersicht .....	385
8.4.2	Stehende Wellen .....	386
8.4.3	Allgemeine Bedingung für Zweistrahl-Interferenz .....	388
8.4.4	Interferenzen in großem Abstand von den Quellen .....	391
8.4.5	Weitere Beispiele für Interferenzen von Licht .....	395
8.5	Brechung und Reflexion von Wellen .....	401
8.5.1	HUYGENSSCHES Prinzip .....	401
8.5.2	Reflexionsgesetz .....	401
8.5.3	Brechungsgesetz .....	402
	<i>Zusammenfassung</i> .....	404
	<i>Kontrollfragen</i> .....	407
9	<b>Wärmelehre</b> .....	409
9.1	Temperatur .....	410
9.2	Masse und Stoffmenge .....	412
9.3	Wärmemenge und Wärmekapazität .....	413
9.3.1	Die Wärmemenge als extensive physikalische Größe .....	413
9.3.2	Phasenübergänge .....	418
9.4	Wärmetransport .....	422
9.4.1	Arten des Wärmetransports .....	423
9.4.2	Wärmeleitung .....	423
9.4.3	Wärmeübergang .....	428
9.4.4	Nichtstationärer Wärmetransport .....	430
9.4.5	Wärmestrahlung .....	432
9.5	Thermische Ausdehnung von Festkörpern .....	435
9.5.1	Längenausdehnung fester Körper .....	435
9.5.2	Volumenausdehnung von Flüssigkeiten und Gasen .....	438
9.6	Zustandsgleichung idealer Gase .....	440
9.7	Die Hauptsätze der Wärmelehre .....	444
9.7.1	Der erste Hauptsatz .....	444
9.7.2	Der zweite Hauptsatz und die Entropie .....	446
9.7.3	Der dritte Hauptsatz .....	449
9.8	Zustandsänderungen idealer Gase .....	449
9.8.1	Ausdehnungsarbeit .....	449
9.8.2	Wärmediagramme .....	450
9.8.3	Isobare Zustandsänderungen .....	451
9.8.4	Isochore Zustandsänderung .....	453
9.8.5	Isotherme Zustandsänderung .....	453
9.8.6	Adiabatische Zustandsänderung .....	455

9.9 Kreisprozesse . . . . .	457
9.10 Irreversible Prozesse . . . . .	464
9.10.1 Irreversible Prozesse und die Entropie . . . . .	464
9.10.2 Exergie und Anergie . . . . .	467
9.11 Reale Gase . . . . .	468
<i>Zusammenfassung</i> . . . . .	471
<i>Kontrollfragen</i> . . . . .	480
<b>10 Aufbau der Substanzen aus Atomen . . . . .</b>	<b>483</b>
10.1 Atome und die kleinsten Teilchen der Materie . . . . .	484
10.1.1 Vielfalt der Elementarteilchen . . . . .	484
10.1.2 PAULI-Prinzip . . . . .	486
10.1.3 Photonen . . . . .	486
10.1.4 Absorption und Emission von Licht . . . . .	488
10.1.5 Laser . . . . .	489
10.1.6 Elektronen . . . . .	491
10.2 Der Atomkern . . . . .	492
10.3 Das BOHRSCHE Atommodell . . . . .	495
10.4 Aufbau der Atome und Periodensystem . . . . .	499
10.5 Kristallstrukturen der Festkörper . . . . .	503
10.5.1 BRAVAIS-Gitter und Elementarzellen . . . . .	503
10.5.2 Atomabstände, Packungsdichten und Konzentrationen .	506
10.6 Chemische Bindung . . . . .	508
10.6.1 Bindungsarten . . . . .	508
10.6.2 Bänder in Festkörpern . . . . .	511
10.7 Molekulares Bild der Gase . . . . .	513
10.7.1 Druck idealer Gase . . . . .	513
10.7.2 Die innere Energie idealer Gase . . . . .	516
10.7.3 Verteilung der Geschwindigkeiten und Energien .	517
10.7.4 Mikroskopische Definition der Entropie . . . . .	520
10.7.5 Anwendungen auf Festkörper . . . . .	523
<i>Zusammenfassung</i> . . . . .	524
<i>Kontrollfragen</i> . . . . .	529
<b>Anhang . . . . .</b>	<b>531</b>
Verwendete Formelzeichen und ihre Bedeutung . . . . .	531
Verwendete Einheitenzeichen . . . . .	538
Physikalische Konstanten und Zahlenwerte . . . . .	540
Einige mathematische Formeln . . . . .	541
Periodensystem der Elemente . . . . .	544
Farbbilder zu den Kapiteln 7 bis 9 . . . . .	546
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>549</b>
<b>Quellenverzeichnis der Bilder . . . . .</b>	<b>551</b>
<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>553</b>