

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINSTIEG</b>	
1.1	Motivation . . . . .	11
1.2	Physikalische Größen . . . . .	11
1.3	Maßsystem und Standards . . . . .	12
1.4	Größenordnungen . . . . .	15
1.5	Messgenauigkeit . . . . .	16
1.6	Vektoren und Koordinaten . . . . .	18
<i>Zusammenfassung: Einstieg</i>	20	
<i>Testfragen und Übungsaufgaben</i>	20	
<b>2</b>	<b>MECHANIK</b>	
<b>2.1</b>	<b>Kinematik</b> . . . . .	22
2.1.1	Eindimensionale Bewegungen . . . . .	22
2.1.1.1	Geschwindigkeit . . . . .	22
2.1.1.2	Beschleunigung . . . . .	24
2.1.1.3	Bewegungsgleichung . . . . .	24
2.1.1.4	Der freie Fall . . . . .	25
2.1.2	Bewegungen in zwei und drei Dimensionen . . . . .	27
2.1.2.1	Überlagerung eindimensionaler Bewegungen . . . . .	27
2.1.2.2	Bezugssysteme und Transformationen . . . . .	28
<i>Zusammenfassung: Kinematik</i>	29	
<b>2.2</b>	<b>Dynamik</b> . . . . .	30
2.2.1	NEWTONsche Axiome . . . . .	30
2.2.1.1	Trägheitsgesetz . . . . .	30
2.2.1.2	Aktionsgesetz . . . . .	31
2.2.1.3	Reaktionsgesetz . . . . .	31
2.2.2	Folgerungen aus den NEWTONschen Axiomen . . . . .	31
2.2.2.1	Kraft und Impuls . . . . .	31
2.2.2.2	Abgeschlossenes System und Impulserhaltungssatz . . . . .	32
2.2.3	Mechanische Kräfte . . . . .	33
2.2.3.1	Trägheitskraft . . . . .	33
2.2.3.2	Gewichtskraft . . . . .	33
2.2.3.3	Federkraft und HOOKESches Gesetz . . . . .	35
2.2.3.4	Reibungskraft . . . . .	35
<i>Zusammenfassung: Dynamik</i>	36	
<b>2.3</b>	<b>Arbeit, Energie und Leistung</b> . . . . .	36
2.3.1	Mechanische Arbeit . . . . .	37
2.3.2	Potenzielle Energie . . . . .	37
2.3.3	Kinetische Energie . . . . .	38
2.3.4	Energieerhaltungssatz der Mechanik . . . . .	38
2.3.5	Stoßgesetze . . . . .	39
2.3.6	Leistung und Wirkungsgrad . . . . .	40
<i>Zusammenfassung: Arbeit, Energie und Leistung</i>	42	
<b>2.4</b>	<b>Kinematik und Dynamik der Kreisbewegung</b> . . . . .	42
2.4.1	Grundbegriffe der Kreisbewegung . . . . .	42
2.4.2	Radialbeschleunigung . . . . .	43
2.4.3	Radialkräfte . . . . .	45
2.4.4	CORIOLIS-Beschleunigung und -Kraft . . . . .	45
<i>Zusammenfassung: Kreisbewegung</i>	47	
<b>2.5</b>	<b>Rotation starrer Körper</b> . . . . .	48
2.5.1	Drehmoment . . . . .	48
2.5.2	Schwerpunkt, Gleichgewicht und Statik . . . . .	49
2.5.3	Trägheitsmoment . . . . .	50
2.5.4	Rotationsenergie und Drehimpuls . . . . .	52
<i>Zusammenfassung: Rotation starrer Körper</i>	53	
<b>2.6</b>	<b>Schwingungen und Wellen</b> . . . . .	54
2.6.1	Freie ungedämpfte Schwingungen . . . . .	54
2.6.2	Freie gedämpfte Schwingungen . . . . .	57
2.6.3	Erzwungene Schwingungen . . . . .	57
2.6.4	Überlagerung von Schwingungen . . . . .	59
2.6.4.1	Räumliche Überlagerung . . . . .	59
2.6.4.2	Zeitliche Überlagerung . . . . .	60
2.6.4.3	Gekoppelte Schwingungen . . . . .	60
2.6.5	Harmonische Wellen . . . . .	61
<i>Zusammenfassung: Schwingungen und Wellen</i>	63	
<b>2.7</b>	<b>Gravitation und Himmelsmechanik</b> . . . . .	63
2.7.1	KEPLERSche Gesetze . . . . .	63
2.7.2	NEWTONsches Gravitationsgesetz . . . . .	64
2.7.3	Gravitationsfeld . . . . .	66
2.7.4	Ergebnisse der EINSTEINSchen Relativitätstheorien . . . . .	67

2.7.4.1	Spezielle Relativitätstheorie . . . . .	67	3.4	<b>Zustandsänderungen und erster Hauptsatz . . . . .</b>	105
2.7.4.2	Allgemeine Relativitätstheorie . . . . .	70	3.4.1	Volumenänderungsarbeit . . . . .	105
<b>Zusammenfassung: Gravitation und Himmels- mechanik . . . . .</b>		71	3.4.2	Erster Hauptsatz . . . . .	106
<b>2.8</b>	<b>Flüssigkeiten und Gase . . . . .</b>	72	3.4.3	Zustandsänderungen . . . . .	107
2.8.1	Druck . . . . .	72	3.4.3.1	Isotherme Zustandsänderung . . . . .	107
2.8.1.1	Kolbendruck . . . . .	72	3.4.3.2	Isochore Zustandsänderung . . . . .	108
2.8.1.2	Schweredruck . . . . .	72	3.4.3.3	Isobare Zustandsänderung . . . . .	108
2.8.1.3	Luftdruck . . . . .	73	3.4.3.4	Adiabatische Zustandsänderung . . . . .	109
2.8.1.4	Auftrieb . . . . .	74	<b>Zusammenfassung: Zustandsänderungen und erster Hauptsatz . . . . .</b>		111
2.8.2	Oberflächenspannung . . . . .	75	<b>3.5</b>	<b>Kreisprozesse und zweiter Hauptsatz . . . . .</b>	111
2.8.3	Strömungen . . . . .	76	3.5.1	Kreisprozess von CARNOT . . . . .	111
2.8.3.1	Reibungsfreie Strömungen . . . . .	76	3.5.2	Reversibilität und Wirkungsgrad . . . . .	113
2.8.3.2	Viskose Strömungen . . . . .	77	3.5.3	Kreisprozesse bei Motoren . . . . .	115
<b>Zusammenfassung: Flüssigkeiten und Gase . . . . .</b>		79	3.5.4	Zweiter Hauptsatz . . . . .	115
<b>Testfragen und Übungsaufgaben zur Mechanik . . . . .</b>		80	3.5.5	Entropie . . . . .	117
<b>3</b>	<b>THERMODYNAMIK</b>		<b>Zusammenfassung: Kreisprozesse und zweiter Hauptsatz . . . . .</b>		120
<b>3.1</b>	<b>Temperatur . . . . .</b>	84	<b>Testfragen und Übungsaufgaben zur Thermo- dynamik . . . . .</b>		120
3.1.1	Skalen und Fixpunkte . . . . .	84	<b>4</b>	<b>ELEKTRIZITÄT UND MAGNETISMUS</b>	
3.1.2	Thermische Ausdehnung . . . . .	85	<b>4.1</b>	<b>Elektrostatik . . . . .</b>	123
3.1.3	Temperaturmessung . . . . .	87	4.1.1	Elektrische Ladungen und die COULOMB-Kraft . . . . .	123
<b>Zusammenfassung: Temperatur . . . . .</b>		4.1.2	Elektrisches Feld . . . . .	125	
<b>3.2</b>	<b>Wärme . . . . .</b>	89	4.1.3	Potenzial und Spannung . . . . .	127
3.2.1	Wärmekapazität . . . . .	89	4.1.4	Kondensator und Kapazität . . . . .	129
3.2.2	Aggregatzustände . . . . .	90	4.1.4.1	Plattenkondensator . . . . .	129
3.2.3	Wärmetransport . . . . .	93	4.1.4.2	Dielektrikum im Kondensator . . . . .	130
3.2.3.1	Konvektion . . . . .	94	4.1.4.3	Kondensator als Energiespeicher . . . . .	132
3.2.3.2	Wärmeleitung . . . . .	94	<b>Zusammenfassung: Elektrostatik . . . . .</b>		133
3.2.3.3	Wärmestrahlung . . . . .	96	<b>4.2</b>	<b>Strom und Widerstand . . . . .</b>	133
<b>Zusammenfassung: Wärme . . . . .</b>		4.2.1	Stromstärke und Stromdichte . . . . .	134	
<b>3.3</b>	<b>Ideale Gase . . . . .</b>	99	4.2.2	Widerstand . . . . .	135
3.3.1	Molare Größen . . . . .	99	4.2.3	Stromkreise und Stromverzwe- gungen . . . . .	138
3.3.2	Zustandsgleichung . . . . .	100	<b>Zusammenfassung: Strom und Widerstand . . . . .</b>		141
3.3.3	Kinetische Gastheorie . . . . .	102			
3.3.3.1	Druck . . . . .	102			
3.3.3.2	Temperatur und Energie . . . . .	103			
3.3.3.3	MAXWELLSche Geschwindigkeits- verteilung und BOLTZMANN-Faktor . . . . .	104			
<b>Zusammenfassung: Ideale Gase . . . . .</b>		105			

<b>4.3</b>	<b>Magnetfeld</b>	142	4.7.5.2	Störstellenleitung	177
4.3.1	Magnetische Phänomene	142	4.7.5.3	pn-Übergang	178
4.3.2	Strom und Magnetfeld	143	4.7.5.4	Halbleiterdioden	178
4.3.3	Materie im Magnetfeld	145	4.7.5.5	Transistoren	179
4.3.4	Strom und magnetische Kraft	147	<b>Zusammenfassung: Grundlagen der Elektronik</b>	180	
4.3.5	LORENTZ-Kraft	148	<b>Testfragen und Übungsaufgaben zu Elektrizität</b>		
<b>Zusammenfassung: Magnetfeld</b>		151	<b>und Magnetismus</b>	181	
<b>4.4</b>	<b>Elektromagnetische Induktion</b>	151	<b>5</b>	<b>OPTIK</b>	
4.4.1	Induktion durch Bewegung	151	<b>5.1</b>	<b>Grundlagen der Strahlenoptik</b>	185
4.4.2	Induktionsgesetz	152	5.1.1	Lichtausbreitung	185
4.4.3	LENZSche Regel	153	5.1.2	Reflexion	187
4.4.4	Selbstinduktion	154	5.1.3	Brechung und Totalreflexion	188
4.4.5	Energie des Magnetfeldes	156	<b>Zusammenfassung: Grundlagen der Strahlenoptik</b>	191	
<b>Zusammenfassung: Elektromagnetische Induktion</b>		156	<b>5.2</b>	<b>Strahlenoptische Abbildungen</b>	192
<b>4.5</b>	<b>Wechselstrom</b>	157	5.2.1	Eigenschaften von Linsen	192
4.5.1	Generator und Transformator	157	5.2.2	Abbildungen mit Linsen	193
4.5.2	Wechselstromwiderstand	159	5.2.3	Linsensysteme und Abbildungsfehler	195
4.5.3	Phasenbeziehungen im Wechselstromkreis	160	<b>Zusammenfassung: Strahlenoptische Abbildungen</b>	196	
<b>Zusammenfassung: Wechselstrom</b>		162	<b>5.3</b>	<b>Strahlenoptische Instrumente</b>	196
<b>4.6</b>	<b>Elektromagnetische Schwingungen und Wellen</b>	162	5.3.1	Kamera und Auge	196
4.6.1	Schwingkreis	163	5.3.2	Fernrohre	198
4.6.2	MAXWELLSche Gleichungen	164	5.3.3	Mikroskop	200
4.6.3	Elektromagnetische Wellen	166	<b>Zusammenfassung: Strahlenoptische Instrumente</b>	201	
4.6.3.1	Abstrahlung	166	<b>5.4</b>	<b>Grundlagen der Wellenoptik</b>	201
4.6.3.2	Ausbreitung	166	5.4.1	Interferenz und Kohärenz	202
4.6.3.3	Eigenschaften	168	5.4.2	Wellenausbreitung	204
<b>Zusammenfassung: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen</b>		170	5.4.3	Beugung	205
<b>4.7</b>	<b>Grundlagen der Elektronik</b>	170	<b>Zusammenfassung: Grundlagen der Wellenoptik</b>	206	
4.7.1	Elektronen im Vakuum	170	<b>5.5</b>	<b>Anwendungen der Wellenoptik</b>	207
4.7.1.1	Glühelektrischer Effekt	170	5.5.1	Beugungsbegrenztes Auflösungsvermögen	207
4.7.1.2	Beschleunigung im elektrischen Feld	171	5.5.2	Beugungsgitter	208
4.7.1.3	Ablenkung im magnetischen Feld	173	5.5.3	Holografie	210
4.7.2	Elektronen in Gasen	173	5.5.4	Interferometrie	211
4.7.3	Ladungen in Flüssigkeiten	174	<b>Zusammenfassung: Anwendungen der Wellenoptik</b>	213	
4.7.4	Elektronen in Metallen	176			
4.7.5	Ladungsträger in Halbleitern	177			
4.7.5.1	Eigenleitung	177			

<b>5.6</b>	<b>Polarisationsoptik</b>	213	6.3.3.2	Charakteristisches Röntgenspektrum	243
5.6.1	Grundbegriffe	213	6.3.3.3	Anwendungen	244
5.6.2	Erzeugung polarisierten Lichtes	214	<b>Zusammenfassung: Quanten-Emission und -Absorption</b> 245		
5.6.3	Anwendungen polarisierten Lichtes	216			
<b>Zusammenfassung: Polarisationsoptik</b> 217					
<b>Testfragen und Übungsaufgaben zur Optik</b> 217					
<b>6</b>	<b>QUANTEN UND ATOME</b>				
<b>6.1</b>	<b>Welle-Teilchen-Dualismus</b>	220	<b>6.4</b>	<b>Festkörper</b>	245
6.1.1	Quantenoptik	220	6.4.1	Bindung und Struktur	245
6.1.1.1	Fotoeffekt	220	6.4.2	Bändermodell	247
6.1.1.2	Eigenschaften von Photonen	223	6.4.3	FERMI-Energie	247
6.1.1.3	COMPTON-Effekt	223	6.4.4	Elektronen- und Löcherleitung	248
6.1.2	Materiewellen	224	6.4.5	Halbleiter-Bauelemente	250
6.1.3	HEISENBERGSche Unschärferelation	225	<b>Zusammenfassung: Festkörper</b> 251		
<b>Zusammenfassung: Welle-Teilchen-Dualismus</b> 227					
<b>6.2</b>	<b>Atomhülle</b>	228	<b>6.5</b>	<b>Atomkern</b>	251
6.2.1	RUTHERFORDSches Planetenmodell	228	6.5.1	Nukleonen	251
6.2.2	BOHRSches Atommodell	228	6.5.2	Masse und Massendefekt	253
6.2.3	Quantenzahlen und das PAULI-Prinzip	230	6.5.3	Radioaktivität	255
6.2.4	Wellenmodell und Quantenmechanik	232	6.5.3.1	Strahlungen	255
<b>Zusammenfassung: Atomhülle</b> 236			6.5.3.2	Kernumwandlungen	256
<b>6.3</b>	<b>Quanten-Emission und -Absorption</b>	236	6.5.3.3	Aktivität und Dosis	258
6.3.1	Atomspektren	236	6.5.3.4	Strahlungsnachweis	260
6.3.2	Laser	239	6.5.4	Kernenergie	261
6.3.2.1	Stimulierte Emission	239	6.5.4.1	Kernspaltung	261
6.3.2.2	Besetzungsumkehr	239	6.5.4.2	Kernfusion	263
6.3.2.3	Resonator	240	<b>Zusammenfassung: Atomkern</b> 265		
6.3.2.4	Rubin- und Helium-Neon-Laser	240	<b>Testfragen und Übungsaufgaben zu Quanten und Atome</b> 266		
6.3.2.5	Eigenschaften und Anwendungen	241			
6.3.3	Röntgenstrahlung	243			
6.3.3.1	Bremsspektrum	243			

## ANHANG

- Antworten zu den Testfragen und Musterlösungen zu den Übungsaufgaben . . . . . 269
- Nützliche mathematische Beziehungen . . . . . 309
- Quellen- und Literaturverzeichnis . . . . . 312
- Verzeichnis der Bildquellen . . . . . 314
- Sachwortverzeichnis . . . . . 315