

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINSTIEG</b>			
1.1	Motivation .....	1	2.3	Arbeit, Energie und Leistung .... 33
1.2	Physikalische Größen .....	1	2.3.1	Mechanische Arbeit .....
1.3	Maßsystem und Standards .....	2	2.3.2	Potenzielle Energie .....
1.4	Größenordnungen .....	5	2.3.3	Kinetische Energie .....
1.5	Messgenauigkeit .....	7	2.3.4	Energieerhaltungssatz der Mechanik .....
1.6	Vektoren und Koordinaten .....	9	2.3.5	Stoßgesetze .....
	Zusammenfassung: Einstieg .....	12	2.3.6	Leistung und Wirkungsgrad .....
	Testfragen zu Kapitel 1 .....	12		Zusammenfassung: Arbeit, Energie und Leistung .....
	Übungsaufgaben zu Kapitel 1 .....	13	2.4	Kinematik und Dynamik der Kreiselbewegung .....
<b>2</b>	<b>MECHANIK</b>		2.4.1	Grundbegriffe der Kreiselbewegung ..
2.1	Kinematik .....	14	2.4.2	Radialbeschleunigung .....
2.1.1	Eindimensionale Bewegungen .....	14	2.4.3	Radialkräfte .....
2.1.1.1	Geschwindigkeit .....	14	2.4.4	CORIOLIS-Beschleunigung und -Kraft ..
2.1.1.2	Beschleunigung .....	16		Zusammenfassung: Kreiselbewegung .....
2.1.1.3	Bewegungsgleichung .....	17	2.5	Rotation starrer Körper .....
2.1.1.4	Der freie Fall .....	18	2.5.1	Drehmoment .....
2.1.2	Bewegungen in zwei und drei Dimensionen .....	19	2.5.2	Schwerpunkt, Gleichgewicht und Statik .....
2.1.2.1	Überlagerung eindimensionaler Bewegungen .....	20	2.5.3	Trägheitsmoment .....
2.1.2.2	Bezugssysteme und Transformationen .....	22	2.5.4	Rotationsenergie und Drehimpuls ..
	Zusammenfassung: Kinematik .....	23		Zusammenfassung: Rotation starrer Körper ...
2.2	Dynamik .....	23	2.6	Schwingungen und Wellen .....
2.2.1	NEWTONsche Axiome .....	24	2.6.1	Freie ungedämpfte Schwingungen ..
2.2.1.1	Trägheitsgesetz .....	24	2.6.2	Freie gedämpfte Schwingungen ....
2.2.1.2	Aktionsgesetz .....	25	2.6.3	Erzwungene Schwingungen .....
2.2.1.3	Reaktionsgesetz .....	25	2.6.4	Überlagerung von Schwingungen ..
2.2.2	Folgerungen aus den NEWTONschen Axiomen .....	26	2.6.4.1	Räumliche Überlagerung .....
2.2.2.1	Kraft und Impuls .....	26	2.6.4.2	Zeitliche Überlagerung .....
2.2.2.2	Abgeschlossenes System und Impulserhaltungssatz .....	26	2.6.4.3	Gekoppelte Schwingungen .....
2.2.3	Mechanische Kräfte .....	28	2.6.5	Harmonische Wellen .....
2.2.3.1	Trägheitskraft .....	28		Zusammenfassung: Schwingungen und Wellen .
2.2.3.2	Gewichtskraft .....	28	2.7	Gravitation und Himmelsmechanik .....
2.2.3.3	Federkraft und Hookesches Gesetz ..	31	2.7.1	KEPLERSche Gesetze .....
2.2.3.4	Reibungskraft .....	31	2.7.2	NEWTONsches Gravitationsgesetz ...
	Zusammenfassung: Dynamik .....	32	2.7.3	Gravitationsfeld .....
			2.7.4	Ergebnisse der EINSTEINschen Relativitätstheorien .....
			2.7.4.1	Spezielle Relativitätstheorie .....

## X INHALTSVERZEICHNIS

2.7.4.2	Allgemeine Relativitätstheorie .....	78	3.4.3	Zustandsänderungen .....	125
<i>Zusammenfassung:</i>			3.4.3.1	Isotherme Zustandsänderung .....	125
<i>Gravitation und Himmelsmechanik</i> .....		80	3.4.3.2	Isochore Zustandsänderung .....	126
<b>2.8</b>	<b>Flüssigkeiten und Gase</b> .....	<b>80</b>	3.4.3.3	Isobare Zustandsänderung .....	127
2.8.1	Druck .....	80	3.4.3.4	Adiabatische Zustandsänderung ...	128
2.8.1.1	Kolbendruck .....	80	<i>Zusammenfassung: Zustandsänderungen</i>		
2.8.1.2	Schweredruck .....	81	<i>und erster Hauptsatz</i> .....		130
2.8.1.3	Luftdruck .....	82	<b>3.5</b>	<b>Kreisprozesse und</b>	
2.8.1.4	Auftrieb .....	83	<b>zweiter Hauptsatz</b> .....		<b>130</b>
2.8.2	Oberflächenspannung .....	85	3.5.1	Kreisprozess von CARNOT .....	131
2.8.3	Strömungen .....	85	3.5.2	Reversibilität und Wirkungsgrad ....	133
2.8.3.1	Reibungsfreie Strömungen .....	85	3.5.3	Kreisprozesse bei Motoren .....	135
2.8.3.2	Viskose Strömungen .....	87	3.5.4	Zweiter Hauptsatz .....	136
<i>Zusammenfassung: Flüssigkeiten und Gase</i> ....		90	3.5.5	Entropie .....	137
<i>Testfragen zu Kapitel 2</i> .....		90	<i>Zusammenfassung:</i>		
<i>Übungsaufgaben zu Kapitel 2</i> .....		91	<i>Kreisprozesse und zweiter Hauptsatz</i> .....		141
			<i>Testfragen zu Kapitel 3</i> .....		142
			<i>Übungsaufgaben zu Kapitel 3</i> .....		143
<b>3</b>	<b>THERMODYNAMIK</b>		<b>4</b>	<b>ELEKTRIZITÄT UND</b>	
<b>3.1</b>	<b>Temperatur</b> .....	<b>96</b>	<b>MAGNETISMUS</b>		
3.1.1	Skalen und Fixpunkte .....	96	<b>4.1</b>	<b>Elektrostatik</b> .....	<b>145</b>
3.1.2	Thermische Ausdehnung .....	98	4.1.1	Elektrische Ladungen und	
3.1.3	Temperaturmessung .....	100	die COULOMB-Kraft .....		145
<i>Zusammenfassung: Temperatur</i> .....		102	4.1.2	Elektrisches Feld .....	148
<b>3.2</b>	<b>Wärme</b> .....	<b>102</b>	4.1.3	Potenzial und Spannung .....	150
3.2.1	Wärmekapazität .....	102	4.1.4	Kondensator und Kapazität .....	152
3.2.2	Aggregatzustände .....	103	4.1.4.1	Plattenkondensator .....	153
3.2.3	Wärmetransport .....	108	4.1.4.2	Dielektrikum im Kondensator .....	154
3.2.3.1	Konvektion .....	108	4.1.4.3	Kondensator als Energiespeicher ...	156
3.2.3.2	Wärmeleitung .....	109	<i>Zusammenfassung: Elektrostatik</i> .....		157
3.2.3.3	Wärmestrahlung .....	111	<b>4.2</b>	<b>Strom und Widerstand</b> .....	<b>158</b>
<i>Zusammenfassung: Wärme</i> .....		115	4.2.1	Stromstärke und Stromdichte .....	158
<b>3.3</b>	<b>Ideale Gase</b> .....	<b>116</b>	4.2.2	Widerstand .....	159
3.3.1	Molare Größen .....	116	4.2.3	Stromkreise und	
3.3.2	Zustandsgleichung .....	117	Stromverzweigungen .....		163
3.3.3	Kinetische Gastheorie .....	119	<i>Zusammenfassung: Strom und Widerstand</i> ....		168
3.3.3.1	Druck .....	119	<b>4.3</b>	<b>Magnetfeld</b> .....	<b>169</b>
3.3.3.2	Temperatur und Energie .....	121	4.3.1	Magnetische Phänomene .....	169
3.3.3.3	MAXWELLSche Geschwindigkeits- verteilung und BOLTZMANN-Faktor ...	121	4.3.2	Strom und Magnetfeld .....	170
<i>Zusammenfassung: Ideale Gase</i> .....		123	4.3.3	Materie im Magnetfeld .....	173
<b>3.4</b>	<b>Zustandsänderungen</b>		4.3.4	Strom und magnetische Kraft .....	175
<b>und erster Hauptsatz</b> .....		<b>123</b>	4.3.5	LORENTZ-Kraft .....	177
3.4.1	Volumenänderungsarbeit .....	123	<i>Zusammenfassung: Magnetfeld</i> .....		181
3.4.2	Erster Hauptsatz .....	124			

<b>4.4</b>	<b>Elektromagnetische Induktion ...</b>	<b>181</b>	<b>5</b>	<b>OPTIK</b>	
4.4.1	Induktion durch Bewegung .....	181	<b>5.1</b>	<b>Grundlagen der Strahlenoptik ...</b>	<b>225</b>
4.4.2	Induktionsgesetz .....	182	5.1.1	Lichtausbreitung .....	225
4.4.3	LENZsche Regel .....	183	5.1.2	Reflexion .....	227
4.4.4	Selbstinduktion .....	185	5.1.3	Brechung und Totalreflexion .....	229
4.4.5	Energie des Magnetfeldes .....	186		<i>Zusammenfassung:</i>	
	<i>Zusammenfassung:</i>			<i>Grundlagen der Strahlenoptik</i> .....	233
	<i>Elektromagnetische Induktion</i> .....	187	<b>5.2</b>	<b>Strahlenoptische Abbildungen ...</b>	<b>234</b>
<b>4.5</b>	<b>Wechselstrom .....</b>	<b>188</b>	5.2.1	Eigenschaften von Linsen .....	234
4.5.1	Generator und Transformator .....	188	5.2.2	Abbildungen mit Linsen .....	235
4.5.2	Wechselstromwiderstand .....	190	5.2.3	Linsensysteme und Abbildungsfehler	238
4.5.3	Phasenbeziehungen im Wechselstromkreis .....	193		<i>Zusammenfassung:</i>	
	<i>Zusammenfassung: Wechselstrom</i> .....	195		<i>Strahlenoptische Abbildungen</i> .....	239
<b>4.6</b>	<b>Elektromagnetische Schwingungen und Wellen .....</b>	<b>196</b>	<b>5.3</b>	<b>Strahlenoptische Instrumente ...</b>	<b>240</b>
4.6.1	Schwingkreis .....	196	5.3.1	Kamera und Auge .....	240
4.6.2	MAXWELLSche Gleichungen .....	198	5.3.2	Fernrohre .....	242
4.6.3	Elektromagnetische Wellen .....	200	5.3.3	Mikroskop .....	244
4.6.3.1	Abstrahlung .....	200		<i>Zusammenfassung:</i>	
4.6.3.2	Ausbreitung .....	201		<i>Strahlenoptische Instrumente</i> .....	246
4.6.3.3	Eigenschaften .....	202	<b>5.4</b>	<b>Grundlagen der Wellenoptik .....</b>	<b>246</b>
	<i>Zusammenfassung:</i>		5.4.1	Interferenz und Kohärenz .....	246
	<i>Elektromagnetische Schwingungen und Wellen</i> .	205	5.4.2	Wellenausbreitung .....	249
<b>4.7</b>	<b>Grundlagen der Elektronik .....</b>	<b>205</b>	5.4.3	Beugung .....	250
4.7.1	Elektronen im Vakuum .....	205		<i>Zusammenfassung:</i>	
4.7.1.1	Glühelektrischer Effekt .....	206		<i>Grundlagen der Wellenoptik</i> .....	252
4.7.1.2	Beschleunigung im elektrischen Feld .....	207	<b>5.5</b>	<b>Anwendungen der Wellenoptik ..</b>	<b>252</b>
4.7.1.3	Ablenkung im magnetischen Feld ...	209	5.5.1	Beugungsbegrenztes Auflösungsvermögen .....	252
4.7.2	Elektronen in Gasen .....	209	5.5.2	Beugungsgitter .....	254
4.7.3	Ladungen in Flüssigkeiten .....	210	5.5.3	Holografie .....	256
4.7.4	Elektronen in Metallen .....	213	5.5.4	Interferometrie .....	259
4.7.5	Ladungsträger in Halbleitern .....	214		<i>Zusammenfassung:</i>	
4.7.5.1	Eigenleitung .....	214		<i>Anwendungen der Wellenoptik</i> .....	260
4.7.5.2	Störstellenleitung .....	215	<b>5.6</b>	<b>Polarisationsoptik .....</b>	<b>261</b>
4.7.5.3	pn-Übergang .....	215	5.6.1	Grundbegriffe .....	261
4.7.5.4	Halbleiterdioden .....	217	5.6.2	Erzeugung polarisierten Lichtes ....	262
4.7.5.5	Transistoren .....	218	5.6.3	Anwendungen polarisierten Lichtes .	264
	<i>Zusammenfassung: Grundlagen der Elektronik</i> .	219		<i>Zusammenfassung: Polarisationsoptik</i> .....	265
	<i>Testfragen zu Kapitel 4</i> .....	220		<i>Testfragen zu Kapitel 5</i> .....	265
	<i>Übungsaufgaben zu Kapitel 4</i> .....	222		<i>Übungsaufgaben zu Kapitel 5</i> .....	266

## XII INHALTSVERZEICHNIS

<b>6</b>	<b>QUANTEN UND ATOME</b>	
<b>6.1</b>	<b>Welle-Teilchen-Dualismus</b>	<b>269</b>
6.1.1	Quantenoptik	269
6.1.1.1	Fotoeffekt	269
6.1.1.2	Eigenschaften von Photonen	272
6.1.1.3	COMPTON-Effekt	273
6.1.2	Materiewellen	274
6.1.3	HEISENBERGSche Unschärferelation	275
<i>Zusammenfassung: Welle-Teilchen-Dualismus</i>		278
<b>6.2</b>	<b>Atomhülle</b>	<b>278</b>
6.2.1	RUTHERFORDSches Planetenmodell	278
6.2.2	BOHRsches Atommodell	279
6.2.3	Quantenzahlen und das PAULI-Prinzip	281
6.2.4	Wellenmodell und Quantenmechanik	285
<i>Zusammenfassung: Atomhülle</i>		289
<b>6.3</b>	<b>Quanten-Emission und -Absorption</b>	<b>289</b>
6.3.1	Atomspektren	290
6.3.2	Laser	292
6.3.2.1	Stimulierte Emission	292
6.3.2.2	Besetzungsumkehr	294
6.3.2.3	Resonator	294
6.3.2.4	Rubin- und Helium-Neon-Laser	295
6.3.2.5	Eigenschaften und Anwendungen	296
6.3.3	Röntgenstrahlung	298
6.3.3.1	Bremsspektrum	298
6.3.3.2	Charakteristisches Röntgenspektrum	299
6.3.3.3	Anwendungen	299
<i>Zusammenfassung: Quanten-Emission und -Absorption</i>		301
<b>6.4</b>	<b>Festkörper</b>	<b>301</b>
6.4.1	Bindung und Struktur	301
6.4.2	Bändermodell	303
6.4.3	FERMI-Energie	304
6.4.4	Elektronen- und Löcherleitung	305
6.4.5	Halbleiter-Bauelemente	307
<i>Zusammenfassung: Festkörper</i>		309
<b>6.5</b>	<b>Atomkern</b>	<b>310</b>
6.5.1	Nukleonen	310
6.5.2	Masse und Massendefekt	312
6.5.3	Radioaktivität	314
6.5.3.1	Strahlungen	314
6.5.3.2	Kernumwandlungen	316
6.5.3.3	Aktivität und Dosis	318
6.5.3.4	Strahlungsnachweis	320
6.5.4	Kernenergie	321
6.5.4.1	Kernspaltung	321
6.5.4.2	Kernfusion	324
<i>Zusammenfassung: Atomkern</i>		326
<i>Testfragen zu Kapitel 6</i>		327
<i>Übungsaufgaben zu Kapitel 6</i>		328
<b>ANHANG</b>		
• Antworten zu den Testfragen und Musterlösungen der Übungsaufgaben		330
• Nützliche mathematische Beziehungen		366
• Quellen- und Literaturverzeichnis		370
• Verzeichnis der Bildquellen		372
• Sachwortverzeichnis		373