

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINSTIEG</b>		<b>2.3</b>	<b>Arbeit, Energie und Leistung</b>	<b>36</b>
1.1	Motivation	11	2.3.1	Mechanische Arbeit	37
1.2	Physikalische Größen	11	2.3.2	Potenzielle Energie	37
1.3	Maßsystem und Standards	12	2.3.3	Kinetische Energie	38
1.4	Größenordnungen	15	2.3.4	Energieerhaltungssatz der Mechanik	38
1.5	Messgenauigkeit	16	2.3.5	Stoßgesetze	39
1.6	Vektoren und Koordinaten	18	2.3.6	Leistung und Wirkungsgrad	40
	<i>Zusammenfassung: Einstieg</i>	20		<i>Zusammenfassung: Arbeit, Energie und Leistung</i>	42
	<i>Testfragen und Übungsaufgaben</i>	20			
<b>2</b>	<b>MECHANIK</b>		<b>2.4</b>	<b>Kinematik und Dynamik der Kreisbewegung</b>	<b>42</b>
<b>2.1</b>	<b>Kinematik</b>	<b>22</b>	2.4.1	Grundbegriffe der Kreisbewegung	42
2.1.1	Eindimensionale Bewegungen	22	2.4.2	Radialbeschleunigung	43
2.1.1.1	Geschwindigkeit	22	2.4.3	Radialkräfte	45
2.1.1.2	Beschleunigung	24	2.4.4	CORIOLIS-Beschleunigung und -Kraft	45
2.1.1.3	Bewegungsgleichung	24		<i>Zusammenfassung: Kreisbewegung</i>	47
2.1.1.4	Der freie Fall	25	<b>2.5</b>	<b>Rotation starrer Körper</b>	<b>48</b>
2.1.2	Bewegungen in zwei und drei Dimensionen	27	2.5.1	Drehmoment	48
2.1.2.1	Überlagerung eindimensionaler Bewegungen	27	2.5.2	Schwerpunkt, Gleichgewicht und Statik	49
2.1.2.2	Bezugssysteme und Transformationen	28	2.5.3	Trägheitsmoment	50
	<i>Zusammenfassung: Kinematik</i>	29	2.5.4	Rotationsenergie und Drehimpuls	52
<b>2.2</b>	<b>Dynamik</b>	<b>30</b>		<i>Zusammenfassung: Rotation starrer Körper</i>	53
2.2.1	NEWTONSche Axiome	30	<b>2.6</b>	<b>Schwingungen und Wellen</b>	<b>54</b>
2.2.1.1	Trägheitsgesetz	30	2.6.1	Freie ungedämpfte Schwingungen	54
2.2.1.2	Aktionsgesetz	31	2.6.2	Freie gedämpfte Schwingungen	57
2.2.1.3	Reaktionsgesetz	31	2.6.3	Erzwungene Schwingungen	57
2.2.2	Folgerungen aus den NEWTONSchen Axiomen	31	2.6.4	Überlagerung von Schwingungen	59
2.2.2.1	Kraft und Impuls	31	2.6.4.1	Räumliche Überlagerung	59
2.2.2.2	Abgeschlossene Systeme und Impulserhaltungssatz	32	2.6.4.2	Zeitliche Überlagerung	60
2.2.3	Mechanische Kräfte	33	2.6.4.3	Gekoppelte Schwingungen	60
2.2.3.1	Trägheitskraft	33	2.6.5	Harmonische Wellen	61
2.2.3.2	Gewichtskraft	33		<i>Zusammenfassung: Schwingungen und Wellen</i>	63
2.2.3.3	Federkraft und HOOKESches Gesetz	35	<b>2.7</b>	<b>Gravitation und Himmelsmechanik</b>	<b>63</b>
2.2.3.4	Reibungskraft	35	2.7.1	KEPLERSche Gesetze	63
	<i>Zusammenfassung: Dynamik</i>	36	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 Himmelsmechanik . . . . .</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 Thermodynamik . . . . .</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>	88	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>	99	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 Stromverzweigungen . . . . .	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 Geschwindigkeitsverteilung und BOLTZMANN-Faktor . . . . .	104			
	<b>Zusammenfassung: Ideale Gase . . . . .</b>	105			

<b>4.3</b>	<b>Magnetfeld</b>	142	<b>4.7.5.2</b>	<b>Störstellenleitung</b>	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 und Magnetismus</b>		181
<b>Zusammenfassung: Magnetfeld</b>		151			
<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	Ladungen in Halbleitern	177			
4.7.5.1	Eigenleitung	177			

<b>5.6</b>	<b>Polarisationsoptik</b>	213	<b>6.3.3.2</b>	<b>Charakteristisches Röntgenspektrum</b>	243
5.6.1	Grundbegriffe	213	<b>6.3.3.3</b>	<b>Anwendungen</b>	244
5.6.2	Erzeugung polarisierten Lichtes	214	<b>Zusammenfassung: Quanten-Emission und -Absorption</b>		245
5.6.3	Anwendungen polarisierten Lichtes	216	<b>6.4</b>	<b>Festkörper</b>	245
<b>Zusammenfassung: Polarisationsoptik</b>		217	6.4.1	Bindung und Struktur	245
<b>Testfragen und Übungsaufgaben zur Optik</b>		217	6.4.2	Bändermodell	247
<b>6</b>	<b>QUANTEN UND ATOME</b>		6.4.3	FERMI-Energie	247
<b>6.1</b>	<b>Welle-Teilchen-Dualismus</b>	220	6.4.4	Elektronen- und Löcherleitung	248
6.1.1	Quantenoptik	220	6.4.5	Halbleiter-Bauelemente	250
6.1.1.1	Fotoeffekt	220	<b>Zusammenfassung: Festkörper</b>		251
6.1.1.2	Eigenschaften von Photonen	223	<b>6.5</b>	<b>Atomkern</b>	251
6.1.1.3	COMPTON-Effekt	223	6.5.1	Nukleonen	251
6.1.2	Materiewellen	224	6.5.2	Masse und Massendefekt	253
6.1.3	HEISENBERGSche Unschärferelation	225	6.5.3	Radioaktivität	255
<b>Zusammenfassung: Welle-Teilchen-Dualismus</b>		227	6.5.3.1	Strahlungen	255
<b>6.2</b>	<b>Atomhülle</b>	228	6.5.3.2	Kernumwandlungen	256
6.2.1	RUTHERFORDSches Planetenmodell	228	6.5.3.3	Aktivität und Dosis	258
6.2.2	BOHRsches Atommodell	228	6.5.3.4	Strahlungsnachweis	260
6.2.3	Quantenzahlen und das PAULI-Prinzip	230	6.5.4	Kernenergie	261
6.2.4	Wellenmodell und Quantenmechanik	232	6.5.4.1	Kernspaltung	261
<b>Zusammenfassung: Atomhülle</b>		236	6.5.4.2	Kernfusion	263
<b>6.3</b>	<b>Quanten-Emission und -Absorption</b>	236	<b>Zusammenfassung: Atomkern</b>		265
6.3.1	Atomspektren	236	<b>Testfragen und Übungsaufgaben zu Quanten und Atome</b>		266
6.3.2	Laser	239	<b>ANHANG</b>		
6.3.2.1	Stimulierte Emission	239	• Antworten zu den Testfragen und Musterlösungen zu den Übungsaufgaben		269
6.3.2.2	Besetzungsumkehr	239	• Nützliche mathematische Beziehungen		309
6.3.2.3	Resonator	240	• Quellen- und Literaturverzeichnis		312
6.3.2.4	Rubin- und Helium-Neon-Laser	240	• Verzeichnis der Bildquellen		314
6.3.2.5	Eigenschaften und Anwendungen	241	• Sachwortverzeichnis		315
6.3.3	Röntgenstrahlung	243			
6.3.3.1	Bremsspektrum	243			