

---

# INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>G</b>	<b>GRÖSSEN UND EINHEITEN</b> .....	<b>26</b>
<b>1</b>	<b>Physikalische Größen</b> .....	<b>26</b>
1.1	Basisgrößenarten .....	26
1.2	Abgeleitete Größenarten .....	26
1.3	Formelzeichen .....	27
1.4	Dimension .....	28
1.5	Skalare Größen .....	28
1.6	Vektorielle Größen .....	29
1.7	Rechnen mit vektoriellen Größen .....	30
1.7.1	Summe vektorieller Größen .....	30
1.7.2	Differenz vektorieller Größen .....	30
1.7.3	Produkt einer vektoriellen mit einer skalaren Größe ..	31
1.7.4	Skalarprodukt zweier vektorieller Größen .....	31
1.7.5	Vektorprodukt zweier vektorieller Größen .....	32
1.7.6	Komponentendarstellung vektorieller Größen .....	33
<b>2</b>	<b>Gleichungen physikalischer Größen</b> .....	<b>34</b>
2.1	Größengleichungen .....	34
2.2	Zugeschnittene Größengleichungen .....	34
2.2.1	Tabellen .....	35
2.2.2	Koordinatenachsen .....	36
2.3	Zahlenwertgleichungen .....	36
<b>3</b>	<b>Internationales Einheitensystem (SI)</b> .....	<b>37</b>
3.1	Basiseinheiten des SI .....	37
3.2	Abgeleitete SI-Einheiten .....	37
3.3	Dezimale Vielfache und Teile der SI-Einheiten .....	38
3.4	Einheiten außerhalb des SI (SI-fremde Einheiten) .....	38
3.5	Gesetzliche Einheiten .....	39
3.6	Physikalische Größenarten und ihre Einheiten .....	39
<b>M</b>	<b>MECHANIK</b> .....	<b>50</b>
<b>4</b>	<b>Basiseinheiten der Mechanik</b> .....	<b>50</b>
4.1	Einheit der Länge .....	50
4.1.1	Fläche .....	51
4.1.2	Volumen .....	52
4.1.3	Winkel .....	52
4.2	Zeiteinheit .....	53
4.3	Masseneinheit .....	54

<b>5</b>	<b>Statik des starren Körpers</b> . . . . .	<b>55</b>
5.1	Zusammensetzen von Kräften . . . . .	55
5.1.1	Kräfte mit gleicher Wirkungslinie . . . . .	55
5.1.2	Kräfte mit gleichem Angriffspunkt . . . . .	56
5.1.3	Kräfte mit verschiedenen Angriffspunkten . . . . .	57
5.1.4	Parallele Kräfte . . . . .	57
5.2	Zerlegen von Kräften . . . . .	58
5.3	Drehmoment . . . . .	59
5.4	Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	60
5.5	Einfache Maschinen . . . . .	61
5.5.1	Hebel . . . . .	61
5.5.2	Feste Rolle . . . . .	62
5.5.3	Lose Rolle . . . . .	62
5.5.4	Flaschenzug . . . . .	62
5.5.5	Differenzialflaschenzug . . . . .	63
5.5.6	Geneigte Ebene . . . . .	63
5.5.7	Keil . . . . .	64
5.5.8	Schraube . . . . .	64
5.6	Gleichgewicht . . . . .	65
5.6.1	Schwerpunkt (Massenmittelpunkt) . . . . .	65
5.6.2	Gleichgewichtsarten . . . . .	67
5.6.3	Standfestigkeit . . . . .	67
<b>6</b>	<b>Kinematik</b> . . . . .	<b>68</b>
6.1	Translation . . . . .	68
6.1.1	Gleichförmige Translation . . . . .	69
6.1.2	Gleichmäßig beschleunigte Translation . . . . .	70
6.1.3	Ungleichmäßig beschleunigte Translation . . . . .	74
6.2	Fall und Wurf . . . . .	77
6.2.1	Freier Fall . . . . .	77
6.2.2	Senkrechter Wurf . . . . .	78
6.2.3	Zusammengesetzte Bewegung . . . . .	79
6.2.4	Waagerechter Wurf . . . . .	80
6.2.5	Schräger Wurf . . . . .	82
6.3	Rotation . . . . .	84
6.3.1	Gleichförmige Rotation . . . . .	87
6.3.2	Gleichmäßig beschleunigte Rotation . . . . .	87
6.3.3	Ungleichmäßig beschleunigte Rotation . . . . .	91
6.3.4	Bewegung auf der Kreisbahn (Umfangsbewegung) . . . . .	94
6.3.5	Größen der Rotation als Vektoren . . . . .	95
6.4	Krummlinige Bewegung . . . . .	95
<b>7</b>	<b>Dynamik</b> . . . . .	<b>98</b>
7.1	Kräfte bei der Translation . . . . .	98
7.1.1	Masse und Kraft . . . . .	98
7.1.2	Dichte . . . . .	101
7.1.3	Federkraft . . . . .	103

7.1.4	Reibungskraft . . . . .	104
7.1.5	Trägheitskräfte bei der Translation . . . . .	105
7.2	Arbeit, Energie und Leistung . . . . .	106
7.2.1	Arbeit . . . . .	106
7.2.2	Energie . . . . .	111
7.2.3	Gesetz von der Erhaltung der Energie . . . . .	113
7.2.4	Leistung . . . . .	114
7.2.5	Wirkungsgrad . . . . .	116
7.3	Impuls und Stoß . . . . .	117
7.3.1	Impuls . . . . .	117
7.3.2	Kraftstoß . . . . .	117
7.3.3	Impulssatz . . . . .	119
7.3.4	Elastischer Stoß . . . . .	119
7.3.5	Unelastischer Stoß . . . . .	121
7.3.6	Teilelastischer Stoß . . . . .	122
7.4	Dynamik der Drehbewegung (Dynamik starrer Körper) . . . . .	124
7.4.1	Zentripetalkraft . . . . .	124
7.4.2	Trägheitskräfte bei der Rotation . . . . .	125
7.4.3	Dynamisches Grundgesetz der Rotation . . . . .	126
7.4.4	Trägheitsmoment . . . . .	128
7.4.5	Arbeit bei der Rotation . . . . .	135
7.4.6	Leistung bei der Rotation . . . . .	136
7.4.7	Rotationsenergie . . . . .	137
7.4.8	Drehimpuls (Drall) . . . . .	138
7.5	Gravitation . . . . .	140
7.5.1	Gravitationsgesetz . . . . .	141
7.5.2	Fallbeschleunigung . . . . .	142
7.5.3	Gravitationsfeld . . . . .	143
7.5.4	Arbeit im Gravitationsfeld . . . . .	144
7.5.5	Astronautische Geschwindigkeiten . . . . .	144
7.5.6	Kepler'sche Gesetze . . . . .	147
7.5.7	Daten des Sonnensystems . . . . .	148
<b>8</b>	<b>Ruhende Flüssigkeiten . . . . .</b>	<b>150</b>
8.1	Druck in Flüssigkeiten . . . . .	151
8.1.1	Kolbendruck . . . . .	151
8.1.2	Schweredruck . . . . .	152
8.2	Kompressibilität . . . . .	153
8.3	Auftrieb . . . . .	153
8.3.1	Bestimmung der Dichte fester Körper . . . . .	154
8.3.2	Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten . . . . .	155
<b>9</b>	<b>Ruhende Gase . . . . .</b>	<b>156</b>
9.1	Druck und Volumen eines Gases . . . . .	156
9.1.1	Überdruck . . . . .	157
9.1.2	Messung des Gasdrucks . . . . .	157

9.2	Luftdruck	157
9.2.1	Luftdruckmessung	159
9.2.2	Wirkung des Luftdrucks	160
9.2.3	Auftrieb in Gasen	160
<b>10</b>	<b>Strömungen</b>	<b>161</b>
10.1	Reibungsfreie Strömung	161
10.1.1	Ausfluss aus Gefäßen	161
10.1.2	Durchfluss durch Röhren	162
10.1.3	Druck in Strömungen	163
10.1.4	Druckmessung in Strömungen	165
10.2	Laminare Strömung	167
10.2.1	Dynamische Viskosität (Zähigkeit)	168
10.2.2	Laminare Strömung durch ein Rohr	169
10.2.3	Laminare Strömung um eine Kugel	172
10.3	Turbulente Strömung	173
10.3.1	Strömungswiderstand	173
10.3.2	Strömungsleistung	174
10.3.3	Reynolds'sches Ähnlichkeitsgesetz	174
<b>11</b>	<b>Moleküle</b>	<b>176</b>
11.1	Molekularkräfte	176
11.1.1	Kohäsion und Adhäsion	176
11.1.2	Oberflächenspannung	177
11.1.3	Kapillarität	179
11.2	Molekularbewegung	180
11.2.1	Diffusion	181
11.2.2	Osmose	181
11.3	Lösungen	181
11.3.1	Molekulardisperse Systeme (echte Lösungen)	181
11.3.2	Kolloiddisperse Systeme (kolloide Lösungen)	182
11.3.3	Korpuskulardisperse Systeme	182
<b>12</b>	<b>Elastizität fester Körper</b>	<b>184</b>
12.1	Dehnung	184
12.2	Kompression	187
12.3	Scherung	188
12.4	Torsion (Drillung)	189
12.5	Härte	190
<b>13</b>	<b>Mechanische harmonische Schwingungen</b>	<b>192</b>
13.1	Ungedämpfte harmonische Schwingung	193
13.1.1	Phasenwinkel	193
13.1.2	Elongation	194
13.1.3	Geschwindigkeit	195
13.1.4	Beschleunigung	195
13.1.5	Rückstellkraft	196

13.2	Eigenfrequenz der ungedämpften harmonischen Schwingung	197
13.2.1	Schwingungsgleichung	197
13.2.2	Lineare Federschwingung	198
13.2.3	Drehschwingung	199
13.2.4	Pendelschwingungen	200
13.2.5	Flüssigkeitsschwingungen	203
13.2.6	Schwingungsenergie	203
13.3	Freie gedämpfte Schwingung	205
13.3.1	Schwingungsgleichung	206
13.3.2	Elongation	207
13.3.3	Eigenfrequenz	209
13.3.4	Aperiodische Bewegung	210
13.4	Erzwungene Schwingung	213
13.4.1	Schwingungsgleichung	213
13.4.2	Elongation	214
13.4.3	Resonanz	215
13.5	Überlagerung von Schwingungen	218
13.5.1	Schwingungen gleicher Richtung und Frequenz	218
13.5.2	Schwingungen gleicher Richtung und ungleicher Frequenz	220
13.5.3	Schwingungen ungleicher Richtung	222
13.6	Gekoppelte Schwingungen	226
<b>14</b>	<b>Mechanische Wellen</b>	<b>229</b>
14.1	Wellenausbreitung	229
14.1.1	Huygens'sches Prinzip	229
14.1.2	Wellenarten	229
14.2	Lineare Sinuswelle	231
14.2.1	Wellengleichung	231
14.2.2	Elongation	231
14.2.3	Phasengeschwindigkeit	232
14.2.4	Phasensprung	233
14.2.5	Stehende Wellen	233
14.3	Wellen in ausgedehnten Medien	235
14.3.1	Überlagerung	235
14.3.2	Reflexion	236
14.3.3	Brechung	236
14.3.4	Beugung	237
14.4	Größen des Wellenfeldes	238
14.4.1	Energiedichte	238
14.4.2	Energiestrom	238
14.4.3	Leistung	239
14.4.4	Intensität	239
14.4.5	Wellenwiderstand	240

<b>W</b>	<b>WÄRMELEHRE</b> . . . . .	<b>241</b>
<b>15</b>	<b>Temperatur</b> . . . . .	<b>241</b>
	15.1 Temperaturmessung . . . . .	242
	15.1.1 Temperaturskalen . . . . .	242
	15.1.2 Thermometer . . . . .	243
	15.2 Ausdehnung fester Körper . . . . .	244
	15.2.1 Längenänderung . . . . .	244
	15.2.2 Flächenänderung . . . . .	245
	15.2.3 Volumenänderung . . . . .	246
	15.3 Ausdehnung von Flüssigkeiten . . . . .	247
	15.3.1 Volumenänderung . . . . .	247
	15.3.2 Dichteänderung . . . . .	248
	15.4 Ausdehnung der Gase . . . . .	248
	15.4.1 Volumenänderung . . . . .	248
	15.4.2 Druckänderung . . . . .	250
	15.5 Gasgesetze . . . . .	252
	15.5.1 Zustandsgleichung des idealen Gases . . . . .	252
	15.5.2 Gasdichte . . . . .	253
	15.5.3 Normvolumen . . . . .	255
	15.5.4 Gasgemische . . . . .	255
	15.5.5 Molare Größen . . . . .	256
<b>16</b>	<b>Wärmeenergie</b> . . . . .	<b>259</b>
	16.1 Wärmemenge . . . . .	259
	16.1.1 Wärmeinhalt . . . . .	260
	16.1.2 Wärmekapazität . . . . .	260
	16.1.3 Wasserwert . . . . .	261
	16.2 Spezifische Wärmekapazität . . . . .	262
	16.3 Wärmemischung . . . . .	264
	16.4 Wärmequellen . . . . .	265
	16.4.1 Sonnenenergie . . . . .	265
	16.4.2 Verbrennungsenergie . . . . .	266
	16.4.3 Elektrische Energie . . . . .	267
	16.4.4 Mechanische Energie . . . . .	267
<b>17</b>	<b>Aggregatzustände</b> . . . . .	<b>269</b>
	17.1 Schmelzen und Erstarren . . . . .	269
	17.1.1 Schmelzpunkt . . . . .	270
	17.1.2 Erstarrungspunkt von Lösungen . . . . .	270
	17.1.3 Volumenänderung . . . . .	271
	17.1.4 Schmelzwärme . . . . .	271
	17.1.5 Lösungswärme . . . . .	272
	17.2 Verdampfen und Kondensieren . . . . .	272
	17.2.1 Siedepunkt . . . . .	273
	17.2.2 Siedepunkt von Lösungen . . . . .	273
	17.2.3 Volumenänderung . . . . .	273

17.2.4	Verdampfungswärme	274
17.2.5	Verdunsten	275
17.2.6	Sublimieren	275
17.3	Dämpfe	275
17.3.1	Gesättigter Dampf	275
17.3.2	Ungesättigter Dampf	276
17.3.3	Dampfbildung im gaserfüllten Raum	276
17.3.4	Tripelpunkt	277
17.3.5	Luftfeuchtigkeit	278
17.4	Reale Gase	280
17.4.1	Zustandsgleichung realer Gase	280
17.4.2	Kritische Temperatur	281
17.4.3	Verflüssigung der Gase	282
<b>18</b>	<b>Zustandsänderung des idealen Gases</b>	<b>284</b>
18.1	Erster Hauptsatz	284
18.1.1	Volumenänderungsarbeit	285
18.1.2	Innere Energie	286
18.1.3	Enthalpie	287
18.2	Isochore Zustandsänderung	287
18.3	Isobare Zustandsänderung	288
18.4	Isotherme Zustandsänderung	289
18.5	Isentrope Zustandsänderung	291
18.6	Polytrope Zustandsänderung	294
18.7	Kreisprozesse	298
18.7.1	Carnot'scher Kreisprozess	299
18.7.2	Thermischer Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses	300
18.7.3	Thermische Maschinen	301
18.8	Zweiter Hauptsatz	303
18.8.1	Reversible und irreversible Prozesse	303
18.8.2	Entropie	304
<b>19</b>	<b>Kinetische Wärmetheorie</b>	<b>309</b>
19.1	Anzahl und Masse der Moleküle	309
19.1.1	Loschmidt-Konstante	309
19.1.2	Avogadro-Konstante	309
19.1.3	Boltzmann-Konstante	310
19.1.4	Masse eines Moleküls	310
19.2	Druck in einem Gas	310
19.3	Geschwindigkeit der Moleküle	312
19.3.1	Maxwell-Verteilung der Geschwindigkeit	312
19.3.2	Wahrscheinlichste Geschwindigkeit	313
19.3.3	Mittlere quadratische Geschwindigkeit	314
19.3.4	Mittelwert der Geschwindigkeit	314
19.4	Energie der Moleküle	315
19.4.1	Kinetische Energie eines Moleküls	315

	19.4.2 Gleichverteilungssatz	316
	19.4.3 Innere Energie und spezifische Wärmekapazität	316
19.5	Stoßzahl und freie Weglänge	318
	19.5.1 Mittlere Stoßzahl	318
	19.5.2 Mittlere freie Weglänge	319
<b>20</b>	<b>Wärmetransport</b>	<b>321</b>
20.1	Wärmeströmung (Konvektion)	321
20.2	Wärmeleitung	321
20.3	Wärmeübergang	324
20.4	Wärmedurchgang	325
20.5	Temperaturstrahlung	328
	20.5.1 Absorption	328
	20.5.2 Emission	329
	20.5.3 Strahlungsgesetz von Stefan und Boltzmann	330
	20.5.4 Strahlungsgesetz von Planck	331
	20.5.5 Verschiebungsgesetz von Wien	332
<b>A</b>	<b>AKUSTIK</b>	<b>333</b>
<b>21</b>	<b>Schallerzeugung</b>	<b>333</b>
21.1	Wesen des Schalls	333
21.2	Schallquellen	334
	21.2.1 Schwingende Saiten	334
	21.2.2 Schwingende Luftsäulen	335
21.3	Tonleiter	335
	21.3.1 Harmonische (diatonische) Tonleiter	336
	21.3.2 Chromatische Tonleiter	336
	21.3.3 Gleichmäßig temperierte chromatische Tonleiter	337
	21.3.4 Normstimmton	337
	21.3.5 Intervalle	338
<b>22</b>	<b>Schallausbreitung</b>	<b>340</b>
22.1	Schallgeschwindigkeit	340
	22.1.1 Schallgeschwindigkeit in Festkörpern	340
	22.1.2 Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten	340
	22.1.3 Schallgeschwindigkeit in Gasen	341
	22.1.4 Schallgeschwindigkeit in Luft	341
22.2	Doppler-Effekt	342
22.3	Überlagerung von Schallwellen	346
	22.3.1 Auslöschung	346
	22.3.2 Verstärkung	346
	22.3.3 Schwebung	346
<b>23</b>	<b>Schallmessung</b>	<b>348</b>
23.1	Schallfeldgrößen	348
	23.1.1 Schallschnelle	348
	23.1.2 Schalldruck	349
	23.1.3 Schallintensität	350



23.1.4	Schallpegel . . . . .	351
23.1.5	Relativer Schallpegel . . . . .	354
23.2	Hören . . . . .	354
23.2.1	Hörfläche . . . . .	354
23.2.2	Lautstärkepegel . . . . .	355
23.2.3	Bewerteter Schallpegel . . . . .	357
<b>24</b>	<b>Ultraschall . . . . .</b>	<b>358</b>
24.1	Eigenschaften . . . . .	358
24.1.1	Schallstärke . . . . .	358
24.1.2	Ausbreitung . . . . .	358
24.2	Erzeugung von Ultraschall . . . . .	359
<b>O</b>	<b>OPTIK . . . . .</b>	<b>360</b>
<b>25</b>	<b>Strahlenoptik . . . . .</b>	<b>360</b>
25.1	Lichtausbreitung . . . . .	360
25.1.1	Geradlinigkeit der Ausbreitung . . . . .	360
25.1.2	Lichtgeschwindigkeit . . . . .	360
25.2	Reflexion . . . . .	361
25.2.1	Reflexionsgesetz . . . . .	361
25.2.2	Ebener Spiegel . . . . .	362
25.2.3	Hohlspiegel (Konkavspiegel) . . . . .	362
25.2.4	Wölbspiegel (Konvexspiegel) . . . . .	364
25.3	Brechung . . . . .	365
25.3.1	Brechungsgesetz . . . . .	365
25.3.2	Totalreflexion . . . . .	366
25.3.3	Planparallele Platte . . . . .	367
25.3.4	Prisma . . . . .	368
25.4	Linse(n) . . . . .	369
25.4.1	Linse(n)arten . . . . .	369
25.4.2	Bestimmung der Brennweite . . . . .	371
25.4.3	Konstruktion des Linsenbildes . . . . .	372
25.4.4	Abbildungsgesetze . . . . .	373
25.4.5	Dicke Linse(n) . . . . .	374
25.4.6	Abbildungsfehler . . . . .	375
25.5	Optische Geräte . . . . .	376
25.5.1	Projektor . . . . .	376
25.5.2	Kamera (Fotoapparat) . . . . .	378
25.5.3	Auge . . . . .	379
25.5.4	Lupe . . . . .	381
25.5.5	Mikroskop . . . . .	382
25.5.6	Fernrohre . . . . .	383
25.6	Zerlegung des Lichts . . . . .	385
25.6.1	Lichtquellen . . . . .	385
25.6.2	Lichtzerlegung . . . . .	386
25.6.3	Komplementärfarben . . . . .	387

	25.6.4 Farbmischung .....	387
	25.6.5 Spektren .....	388
	25.6.6 Dispersion .....	390
<b>26</b>	<b>Wellenoptik</b> .....	<b>391</b>
	26.1 Interferenz .....	391
	26.1.1 Farben dünner Schichten .....	391
	26.1.2 Newton'sche Ringe .....	392
	26.2 Beugung .....	393
	26.2.1 Beugung am engen Spalt .....	394
	26.2.2 Beugung am Doppelspalt .....	395
	26.2.3 Beugungsgitter .....	395
	26.2.4 Beugungsspektrum .....	396
	26.2.5 Beugung an kreisförmiger Öffnung .....	396
	26.2.6 Auflösungsvermögen optischer Geräte .....	397
	26.3 Polarisisation .....	398
	26.3.1 Polarisisation durch Reflexion .....	399
	26.3.2 Polarisisation durch Doppelbrechung .....	400
	26.3.3 Spannungsdoppelbrechung .....	401
	26.3.4 Kerr-Effekt .....	402
	26.3.5 Optische Aktivität .....	402
	26.3.6 Faraday-Effekt .....	403
<b>27</b>	<b>Lichtstrahlung</b> .....	<b>404</b>
	27.1 Strahlungsphysikalische Größen .....	404
	27.2 Lichttechnische Größen (Fotometrie) .....	406
	27.2.1 Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad .....	406
	27.2.2 Lichtstärke .....	407
	27.2.3 Leuchtdichte .....	409
	27.2.4 Lichtstrom .....	410
	27.2.5 Spezifische Lichtausstrahlung .....	411
	27.2.6 Lichtmenge .....	411
	27.2.7 Beleuchtungsstärke .....	412
	27.2.8 Belichtung .....	413
	27.3 Fotometer .....	414
	27.3.1 Messung der Lichtstärke .....	414
	27.3.2 Messung des Gesamtlichtstroms .....	415
	27.3.3 Messung der Beleuchtungsstärke .....	415
<b>E</b>	<b>ELEKTRIK</b> .....	<b>416</b>
<b>28</b>	<b>Gleichstromkreis</b> .....	<b>416</b>
	28.1 Elektrischer Strom .....	416
	28.1.1 Elektrische Stromstärke .....	416
	28.1.2 Elektrische Ladung .....	416
	28.2 Elektrische Spannung .....	417
	28.2.1 Quellenspannung $U_q$ (Urspannung) .....	417
	28.2.2 Spannungsabfall $U$ .....	418

---

28.3	Elektrischer Widerstand	418
28.3.1	Spezifischer elektrischer Widerstand	420
28.3.2	Widerstand und Temperatur	420
28.4	Elektrischer Stromkreis	421
28.5	Stromverzweigung	424
28.6	Schaltung von Widerständen	424
28.6.1	Reihenschaltung	424
28.6.2	Parallelschaltung	425
28.6.3	Spannungsteiler	426
28.6.4	Wheatstone'sche Messbrücke	426
28.7	Messung von Stromstärke und Spannung	427
28.7.1	Strommesser	427
28.7.2	Spannungsmesser	428
28.8	Elektrische Arbeit und Leistung	429
28.8.1	Elektrische Arbeit	429
28.8.2	Elektrische Leistung	430
<b>29</b>	<b>Elektrisches Feld</b>	<b>431</b>
29.1	Elektrische Ladung	431
29.2	Elektrische Feldstärke	432
29.2.1	Elektrisches Potenzial	433
29.2.2	Elektrische Flussdichte	435
29.2.3	Dielektrikum	436
29.2.4	Feldstärke an Kugeloberflächen	437
29.3	Kapazität	438
29.3.1	Kondensator	439
29.3.2	Parallelschaltung von Kondensatoren	442
29.3.3	Reihenschaltung von Kondensatoren	442
29.4	Kraft und Energie im elektrischen Feld	443
29.4.1	Kraftwirkung im Feld	443
29.4.2	Energie des Feldes	444
29.4.3	Energiedichte	445
29.4.4	Auf- und Entladung eines Kondensators	445
<b>30</b>	<b>Magnetisches Feld</b>	<b>448</b>
30.1	Dauermagnetismus (permanenter Magnetismus)	448
30.1.1	Stabmagnet	448
30.1.2	Magnetfeld der Erde	448
30.2	Elektromagnetismus	449
30.2.1	Magnetische Feldstärke	449
30.2.2	Durchflutungsgesetz	451
30.2.3	Magnetische Spannung	452
30.2.4	Magnetische Flussdichte	454
30.2.5	Magnetischer Fluss	455
30.2.6	Stoff im magnetischen Feld	456
30.2.7	Ferromagnetische Stoffe	458

30.3	Elektromagnetische Induktion . . . . .	461
30.3.1	Induktionsgesetz . . . . .	461
30.3.2	Induktion im bewegten Leiter . . . . .	462
30.3.3	Selbstinduktion . . . . .	463
30.3.4	Schaltung von Induktivitäten . . . . .	465
30.3.5	Ein- und Ausschalten von Stromkreisen mit Induktivität . . . . .	465
30.4	Kraft und Energie im magnetischen Feld . . . . .	466
30.4.1	Kraftwirkungen im Feld . . . . .	466
30.4.2	Energie des Feldes . . . . .	472
30.4.3	Energiedichte . . . . .	473
30.4.4	Elektrische und magnetische Feldgrößen . . . . .	474
<b>31</b>	<b>Elektrische Maschinen . . . . .</b>	<b>475</b>
31.1	Generatoren . . . . .	475
31.1.1	Wechselstromgenerator . . . . .	475
31.1.2	Gleichstromgenerator . . . . .	477
31.1.3	Drehstromgenerator . . . . .	478
31.2	Motoren . . . . .	479
31.2.1	Wechselstrommotoren . . . . .	480
31.2.2	Gleichstrommotoren . . . . .	480
31.2.3	Drehstrommotoren . . . . .	481
<b>32</b>	<b>Wechselstromkreis . . . . .</b>	<b>482</b>
32.1	Effektivwerte von Strom und Spannung . . . . .	482
32.2	Wechselstromwiderstand . . . . .	483
32.2.1	Induktiver Widerstand . . . . .	483
32.2.2	Kapazitiver Widerstand . . . . .	485
32.2.3	Blindwiderstand . . . . .	486
32.2.4	Scheinwiderstand . . . . .	487
32.2.5	Phasenverschiebung . . . . .	488
32.2.6	Resonanz . . . . .	489
32.3	Wechselstromleistung . . . . .	490
32.3.1	Wirkleistung . . . . .	490
32.3.2	Blindleistung . . . . .	491
32.3.3	Scheinleistung . . . . .	492
32.4	Transformator . . . . .	493
<b>33</b>	<b>Elektrische Leitung . . . . .</b>	<b>495</b>
33.1	Stromleitung durch Festkörper . . . . .	497
33.1.1	Energiebändermodell . . . . .	497
33.1.2	Metallische Leiter . . . . .	498
33.1.3	Thermoelektrizität . . . . .	499
33.1.4	Halbleiter . . . . .	501
33.1.5	Eigenleitung . . . . .	501
33.1.6	n-Leitung . . . . .	503
33.1.7	p-Leitung . . . . .	504
33.1.8	pn-Übergang . . . . .	504

33.1.9	Bipolarer Transistor	506
33.1.10	Unipolarer Transistor	509
33.2	Stromleitung in Flüssigkeiten	510
33.2.1	Elektrolyse	510
33.2.2	Galvanische Elemente	512
33.2.3	Akkumulatoren	512
33.3	Stromleitung in Gasen	514
33.3.1	Unselbstständige Entladung	514
33.3.2	Selbstständige Entladung	515
33.3.3	Glimmentladung	515
33.3.4	Kathodenstrahlen	516
33.3.5	Kanalstrahlen	517
33.3.6	Röntgenstrahlung	517
33.4	Stromleitung im Vakuum	517
33.4.1	Energie und Geschwindigkeit freier Elektronen	517
33.4.2	Elektronenbewegung im elektrischen Querfeld	520
33.4.3	Elektronenemission aus Metallen	521
33.4.4	Elektronenröhren	524
<b>34</b>	<b>Elektrische Schwingungen und Wellen</b>	<b>527</b>
34.1	Elektromagnetische Schwingungen	527
34.1.1	Schwingkreis	527
34.1.2	Ungedämpfte elektromagnetische Schwingung	527
34.1.3	Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen	529
34.1.4	Offener Schwingkreis	529
34.1.5	Gedämpfte elektromagnetische Schwingung	530
34.2	Elektromagnetische Wellen	531
34.2.1	Elektromagnetische Welle auf einer Leitung	531
34.2.2	Freie elektromagnetische Wellen	533
34.2.3	Spektrum elektromagnetischer Wellen	535
<b>K</b>	<b>ATOM- UND KERNPHYSIK</b>	<b>537</b>
<b>35</b>	<b>Quanten</b>	<b>537</b>
35.1	Energie-Masse-Relation	537
35.2	Photon	538
35.2.1	Masse des Photons	538
35.2.2	Impuls des Photons	538
35.2.3	Compton-Effekt	539
35.3	Materiewellen	541
35.4	Unschärferelation	543
<b>36</b>	<b>Atome</b>	<b>545</b>
36.1	Aufbau und Kennzeichnung	545
36.1.1	Isotope Nuklide	546
36.1.2	Isobare Nuklide	546
36.1.3	Isotone Nuklide	547

36.2	Masse	547
36.2.1	Atommasse	547
36.2.2	Anzahl der Atome	549
36.2.3	Massendefekt	549
36.3	Kernbindungsenergie	550
36.4	Größe	551
36.4.1	Elektronenradius	551
36.4.2	Kernradius	552
36.4.3	Atomradius	552
<b>37</b>	<b>Atomhülle</b>	<b>553</b>
37.1	Bohr'sche Postulate	553
37.1.1	1. Postulat	553
37.1.2	2. Postulat	554
37.2	Wasserstoffatom	554
37.2.1	Bahngeschwindigkeit	554
37.2.2	Umlauffrequenz	555
37.2.3	Bahnradius	556
37.2.4	Energieniveau	557
37.2.5	Frequenzen der Strahlung	559
37.2.6	Wasserstoffspektrum	560
37.3	Quantenzahlen	561
37.3.1	Hauptquantenzahl $n$	561
37.3.2	Nebenquantenzahl $l$ (Drehimpulsquantenzahl)	561
37.3.3	Magnetische Quantenzahl $m$	562
37.3.4	Spinquantenzahl $s$	563
37.3.5	Besetzung der Schalen	564
37.4	Strahlungsemission	565
37.4.1	Termschema	565
37.4.2	Anregung	565
37.4.3	Metastabile Zustände	566
37.4.4	Röntgenstrahlung	567
37.5	Wellenmechanisches Atommodell	568
<b>38</b>	<b>Radioaktivität</b>	<b>570</b>
38.1	Radioaktive Umwandlung (radioaktiver Zerfall)	570
38.1.1	Stabilität des Kerns	570
38.1.2	$\alpha$ -Zerfall	571
38.1.3	$\beta$ -Zerfall	571
38.1.4	$\beta^+$ -Zerfall	572
38.1.5	$\gamma$ -Emission	573
38.2	Statistik des Zerfalls	573
38.2.1	Zerfallskonstante	573
38.2.2	Zerfallsgesetz	573
38.2.3	Halbwertszeit	574
38.2.4	Aktivität	574

38.3	Zerfallsreihen . . . . .	576
38.4	Schwächung der Kernstrahlung . . . . .	577
38.4.1	$\gamma$ -Strahlung . . . . .	577
38.4.2	$\beta$ -Strahlung . . . . .	579
38.4.3	$\alpha$ -Strahlung . . . . .	580
38.5	Dosimetrie . . . . .	581
38.5.1	Energiedosis . . . . .	581
38.5.2	Energiedosisleistung . . . . .	581
38.5.3	Ionendosis . . . . .	582
38.5.4	Äquivalentdosis . . . . .	583
38.6	Strahlenschutz . . . . .	584
38.7	Strahlennachweis . . . . .	585
<b>39</b>	<b>Künstliche Kernumwandlungen . . . . .</b>	<b>586</b>
39.1	Teilchenbeschleuniger . . . . .	586
39.2	Kernreaktionen . . . . .	586
39.3	Uranspaltung . . . . .	587
39.3.1	Kettenreaktion . . . . .	588
39.3.2	Energiebilanz . . . . .	589
39.4	Kernfusion . . . . .	589
39.5	Anwendung radioaktiver Nuklide . . . . .	590
<b>40</b>	<b>Elementarteilchen . . . . .</b>	<b>591</b>
40.1	Elementare Teilchen . . . . .	592
40.1.1	Leptonen . . . . .	592
40.1.2	Quarks . . . . .	592
40.2	Zusammengesetzte Elementarteilchen (Hadronen) . . . . .	593
40.2.1	Mesonen . . . . .	593
40.2.2	Baryonen . . . . .	594
<b>R</b>	<b>RELATIVISTISCHE MECHANIK . . . . .</b>	<b>595</b>
<b>41</b>	<b>Relativistische Mechanik . . . . .</b>	<b>595</b>
41.1	Galilei-Transformation . . . . .	595
41.1.1	Zeitkoordinaten . . . . .	596
41.1.2	Ortskoordinaten . . . . .	596
41.1.3	Geschwindigkeit . . . . .	596
41.1.4	Beschleunigung . . . . .	597
41.2	Lorentz-Transformation . . . . .	597
41.2.1	Ortskoordinaten . . . . .	598
41.2.2	Zeitkoordinaten . . . . .	598
41.3	Relativistische Kinematik . . . . .	598
41.3.1	Zeitdilatation . . . . .	598
41.3.2	Längenkontraktion . . . . .	599
41.3.3	Addition von Geschwindigkeiten . . . . .	600
41.4	Relativistische Dynamik . . . . .	601
41.4.1	Masse . . . . .	601
41.4.2	Impuls . . . . .	602

41.4.3	Kraft	603
41.4.4	Energie	603
<b>F</b>	<b>FEHLERRECHNUNG</b>	<b>605</b>
<b>42</b>	<b>Fehlerrechnung bei physikalischen Messungen</b>	<b>605</b>
42.1	Fehlerbegriff	605
42.2	Systematische Fehler	605
42.3	Zufällige Fehler	606
42.3.1	Mittelwert der Messreihe	606
42.3.2	Standardabweichung (mittlerer Fehler) der Einzelmessung	607
42.3.3	Standardabweichung (mittlerer Fehler) des Mittelwertes	608
42.4	Fehlerfortpflanzung	609
42.4.1	Mittelwert des Funktionswertes	609
42.4.2	Mittlerer Fehler des Funktionswertes	610
42.4.3	Größtfehler des Funktionswertes	611
42.4.4	Fehlerschätzung	612
42.5	Darstellung des Endergebnisses	612
<b>T</b>	<b>TABELLEN</b>	<b>614</b>
Tabelle 1a	Dichte fester Stoffe	614
Tabelle 1b	Dichte von Flüssigkeiten	616
Tabelle 1c	Normdichte gasförmiger Stoffe	616
Tabelle 2	Reibungszahlen	617
Tabelle 3	Stoßzahl	619
Tabelle 4	Kompressibilität von Flüssigkeiten	619
Tabelle 5	Luftdruck in Abhängigkeit von der Höhe	620
Tabelle 6	Dynamische Viskosität und kinematische Viskosität	621
Tabelle 7	Widerstandsbeiwert	622
Tabelle 8	Oberflächenspannung	623
Tabelle 9	Elastizitätsmodul, Schubmodul, Kompressionsmodul	624
Tabelle 10	Längenausdehnungskoeffizient fester Stoffe	625
Tabelle 11	Volumenausdehnungskoeffizient von Flüssigkeiten	627
Tabelle 12	Volumenausdehnungskoeffizient gasförmiger Stoffe	627
Tabelle 13	Luftdichte in Abhängigkeit von Druck und Temperatur	628
Tabelle 14	Spezielle Gaskonstante	628
Tabelle 15	Dichte des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur	629
Tabelle 16	Spezifische Wärmekapazität fester Stoffe	629
Tabelle 17	Spezifische Wärmekapazität von Flüssigkeiten	631
Tabelle 18	Spezifische Wärmekapazität von Gasen	632
Tabelle 19	Spezifischer Heizwert fester Brennstoffe	633
Tabelle 20	Spezifischer Heizwert flüssiger Brennstoffe	633
Tabelle 21	Spezifischer Heizwert gasförmiger Brennstoffe	633
Tabelle 22	Schmelztemperatur und spezifische Schmelzwärme	634
Tabelle 23	Siedetemperatur und spezifische Verdampfungswärme	637



Tabelle 24	Siedetemperatur des Wassers in Abhängigkeit vom Druck . . .	640
Tabelle 25	Siedetemperatur des Wassers in Abhängigkeit vom Luftdruck .	640
Tabelle 26	Sättigungsdruck . . . . .	641
Tabelle 27	Sättigungsdruck und Sättigungsmenge für Wasserdampf . . . .	641
Tabelle 28	Kryoskopische und ebullioskopische Konstante . . . . .	642
Tabelle 29	Van-der-Waals-Konstanten . . . . .	642
Tabelle 30	Kritische Temperatur und kritischer Druck . . . . .	643
Tabelle 31	Wärmeleitfähigkeit . . . . .	644
Tabelle 32	Wärmeübergangskoeffizient . . . . .	646
Tabelle 33	Wärmedurchgangskoeffizient . . . . .	647
Tabelle 34	Emissionsgrad . . . . .	648
Tabelle 35	Schallgeschwindigkeit . . . . .	650
Tabelle 36	Schalldämmmaß . . . . .	651
Tabelle 37	Lautstärkepegel . . . . .	652
Tabelle 38	Lichtgeschwindigkeit . . . . .	652
Tabelle 39	Brechzahl . . . . .	653
Tabelle 40	Grenzwinkel . . . . .	654
Tabelle 41	Polarisationswinkel . . . . .	654
Tabelle 42	Wellenlängen wichtiger Spektrallinien . . . . .	655
Tabelle 43	Hauptdispersion und Abbe'sche Zahl . . . . .	655
Tabelle 44	Gesamtlichtstrom und Lichtausbeute von Lampen . . . . .	656
Tabelle 45	Spezifischer elektrischer Widerstand . . . . .	658
Tabelle 46	Temperaturkoeffizient . . . . .	659
Tabelle 47	Permittivitätszahl . . . . .	660
Tabelle 48	Permeabilitätszahl . . . . .	661
Tabelle 49	Curie-Temperatur ferromagnetischer Stoffe . . . . .	663
Tabelle 50	Beweglichkeit von Ladungsträgern . . . . .	664
Tabelle 51	Sprungtemperatur bei Supraleitern . . . . .	665
Tabelle 52	Elektrochemisches Äquivalent . . . . .	666
Tabelle 53	Elektrochemische Spannungsreihe . . . . .	666
Tabelle 54	Ablösearbeit . . . . .	667
Tabelle 55	Elektronenanordnung bei den Elementen . . . . .	668
Tabelle 56	Chemische Elemente und ihre Isotope . . . . .	671
Tabelle 57	Halbwertszeit und Zerfallsenergie radioaktiver Isotope . . . . .	686
Tabelle 58	Schwächungskoeffizient für $\gamma$ -Strahlung . . . . .	688
Tabelle 59	Schwächungskoeffizient für $\gamma$ -Strahlung des Co-60 . . . . .	689
Tabelle 60	Halbwertsschichtdicke für $\gamma$ -Strahlung . . . . .	689
Tabelle 61	Maximale Reichweite und Halbwertsschichtdicke für $\beta$ -Strahlung in Aluminium . . . . .	689
Tabelle 62	Dosisleistungskonstante . . . . .	690
Tabelle 63	Griechische Buchstaben . . . . .	690
<b>S</b>	<b>SACHWORTVERZEICHNIS . . . . .</b>	<b>691</b>