
INHALTSVERZEICHNIS

G	GRÖSSEN UND EINHEITEN	26
1	Physikalische Größen	26
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
2	Gleichungen physikalischer Größen	34
2.1	Größengleichungen	34
2.2	Zugeschnittene Größengleichungen	34
2.2.1	Tabellenköpfe	35
2.2.2	Koordinatenachsen	36
2.3	Zahlenwertgleichungen	36
3	Internationales Einheitensystem (SI)	37
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
M	MECHANIK	50
4	Basiseinheiten der Mechanik	50
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

5	Statik des starren Körpers	55
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
6	Kinematik	68
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
7	Dynamik	98
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
8	Ruhende Flüssigkeiten	150
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
9	Ruhende Gase	156
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
10	Strömungen	161
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	Reynold'sches Ähnlichkeitsgesetz	174
11	Moleküle	176
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
12	Elastizität fester Körper	184
12.1	Dehnung	184
12.2	Kompression	187
12.3	Scherung	188
12.4	Torsion (Drillung)	189
12.5	Härte	190
13	Mechanische harmonische Schwingungen	192
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
14	Mechanische Wellen	229
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

W	WÄRMELEHRE	241
15	Temperatur	241
	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
16	Wärmeenergie	259
	16.1 Wärmemenge	259
	16.1.1 Wärmehalt	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
17	Aggregatzustände	269
	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
18	Zustandsänderung des idealen Gases	284
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
19	Kinetische Wärmetheorie	309
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
20	Wärmetransport	321
	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
A	AKUSTIK	333
21	Schallerzeugung	333
	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
22	Schallausbreitung	340
	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
23	Schallmessung	348
	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
24	Ultraschall	358
24.1	Eigenschaften	358
24.1.1	Schallstärke	358
24.1.2	Ausbreitung	358
24.2	Erzeugung von Ultraschall	359
0	OPTIK	360
25	Strahlenoptik	360
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	Linsen	369
25.4.1	Linsenarten	369
25.4.2	Bestimmung der Brennweite	371
25.4.3	Konstruktion des Linsenbildes	372
25.4.4	Abbildungsgesetze	373
25.4.5	Dicke Linsen	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	389
26	Wellenoptik	391
	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 Polarisierung	398
	26.3.1 Polarisierung durch Reflexion	399
	26.3.2 Polarisierung 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
27	Lichtstrahlung	404
	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
E	ELEKTRIK	416
28	Gleichstromkreis	416
	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
29	Elektrisches Feld	431
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
30	Magnetisches Feld	448
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
31	Elektrische Maschinen	475
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
32	Wechselstromkreis	482
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
33	Elektrische Leitung	495
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
34	Elektrische Schwingungen und Wellen	527
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
K	ATOM- UND KERNPHYSIK	537
35	Quanten	537
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
36	Atome	545
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
37	Atomhülle	553
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
38	Radioaktivität	570
38.1	Radioaktive Umwandlung (radioaktiver Zerfall)	570
38.1.1	Stabilität des Kerns	570
38.1.2	α -Zerfall	571
38.1.3	β -Zerfall	571
38.1.4	β^+ -Zerfall	572
38.1.5	γ -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	γ -Strahlung	577
38.4.2	β -Strahlung	579
38.4.3	α -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
39	Künstliche Kernumwandlungen	586
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
40	Elementarteilchen	591
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
R	RELATIVISTISCHE MECHANIK	595
41	Relativistische Mechanik	595
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
F	FEHLERRECHNUNG	605
42	Fehlerrechnung bei physikalischen Messungen	605
	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
T	TABELLEN	614
	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	Mittlere Dispersion 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 γ -Strahlung	688
Tabelle 59	Schwächungskoeffizient für γ -Strahlung des Co-60	689
Tabelle 60	Halbwertsschichtdicke für γ -Strahlung	689
Tabelle 61	Maximale Reichweite und Halbwertsschichtdicke für β -Strahlung in Aluminium	689
Tabelle 62	Dosisleistungskonstante	690
Tabelle 63	Griechische Buchstaben	690
S	SACHWORTVERZEICHNIS	691