
INHALTSVERZEICHNIS

G	GRÖSSEN UND EINHEITEN	28
1	Physikalische Größen	28
1.1	Basisgrößenarten	28
1.2	Abgeleitete Größenarten	28
1.3	Formelzeichen	29
1.4	Dimension	30
1.5	Skalare Größen	30
1.6	Vektorielle Größen	31
1.7	Rechnen mit vektoriellen Größen	32
1.7.1	Summe vektorieller Größen	32
1.7.2	Differenz vektorieller Größen	32
1.7.3	Produkt einer vektoriellen mit einer skalaren Größe	33
1.7.4	Skalarprodukt zweier vektorieller Größen	33
1.7.5	Vektorprodukt zweier vektorieller Größen	34
1.7.6	Komponentendarstellung vektorieller Größen	35
2	Gleichungen physikalischer Größen	36
2.1	Größengleichungen	36
2.2	Zugeschnittene Größengleichungen	36
2.2.1	Tabellen	37
2.2.2	Koordinatenachsen	38
2.3	Zahlenwertgleichungen	38
3	Internationales Einheitensystem (SI)	39
3.1	Basiseinheiten des SI	39
3.2	Abgeleitete SI-Einheiten	40
3.3	Dezimale Vielfache und Teile der SI-Einheiten	41
3.4	Einheiten außerhalb des SI (SI-fremde Einheiten)	41
3.5	Gesetzliche Einheiten	42
3.6	Physikalische Größenarten und ihre Einheiten	42
M	MECHANIK	53
4	Basiseinheiten der Mechanik	53
4.1	Einheit der Länge	53
4.1.1	Fläche	54
4.1.2	Volumen	55
4.1.3	Winkel	55
4.2	Zeiteinheit	56
4.3	Masseneinheit	57

5	Statik des starren Körpers	58
5.1	Zusammensetzen von Kräften	58
5.1.1	Kräfte mit gleicher Wirkungslinie	58
5.1.2	Kräfte mit gleichem Angriffspunkt	59
5.1.3	Kräfte mit verschiedenen Angriffspunkten	60
5.1.4	Parallele Kräfte	60
5.2	Zerlegen von Kräften	61
5.3	Drehmoment	62
5.4	Gleichgewichtsbedingungen	63
5.5	Einfache Maschinen	64
5.5.1	Hebel	64
5.5.2	Feste Rolle	65
5.5.3	Lose Rolle	65
5.5.4	Flaschenzug	65
5.5.5	Differenzialflaschenzug	66
5.5.6	Geneigte Ebene	66
5.5.7	Keil	67
5.5.8	Schraube	67
5.6	Gleichgewicht	68
5.6.1	Schwerpunkt (Massenmittelpunkt)	68
5.6.2	Gleichgewichtsarten	70
5.6.3	Standfestigkeit	70
6	Kinematik	71
6.1	Translation	71
6.1.1	Gleichförmige Translation	72
6.1.2	Gleichmäßig beschleunigte Translation	73
6.1.3	Ungleichmäßig beschleunigte Translation	77
6.2	Fall und Wurf	80
6.2.1	Freier Fall	80
6.2.2	Senkrechter Wurf	81
6.2.3	Zusammengesetzte Bewegung	82
6.2.4	Waagerechter Wurf	83
6.2.5	Schräger Wurf	85
6.3	Rotation	87
6.3.1	Gleichförmige Rotation	90
6.3.2	Gleichmäßig beschleunigte Rotation	90
6.3.3	Ungleichmäßig beschleunigte Rotation	94
6.3.4	Bewegung auf der Kreisbahn (Umfangsbewegung)	97
6.3.5	Größen der Rotation als Vektoren	98
6.4	Krummlinige Bewegung	98
7	Dynamik	101
7.1	Kräfte bei der Translation	101
7.1.1	Masse und Kraft	101
7.1.2	Dichte	104
7.1.3	Federkraft	106

7.1.4	Reibungskraft	107
7.1.5	Trägheitskräfte bei der Translation	108
7.2	Arbeit, Energie und Leistung	109
7.2.1	Arbeit	109
7.2.2	Energie	114
7.2.3	Gesetz von der Erhaltung der Energie	116
7.2.4	Leistung	117
7.2.5	Wirkungsgrad	119
7.3	Impuls und Stoß	120
7.3.1	Impuls	120
7.3.2	Kraftstoß	120
7.3.3	Impulssatz	122
7.3.4	Elastischer Stoß	122
7.3.5	Unelastischer Stoß	124
7.3.6	Teilelastischer Stoß	125
7.4	Dynamik der Drehbewegung (Dynamik starrer Körper)	127
7.4.1	Zentripetalkraft	127
7.4.2	Trägheitskräfte bei der Rotation	128
7.4.3	Dynamisches Grundgesetz der Rotation	129
7.4.4	Trägheitsmoment	131
7.4.5	Arbeit bei der Rotation	138
7.4.6	Leistung bei der Rotation	139
7.4.7	Rotationsenergie	140
7.4.8	Drehimpuls (Drall)	141
7.5	Gravitation	143
7.5.1	Gravitationsgesetz	144
7.5.2	Fallbeschleunigung	145
7.5.3	Gravitationsfeld	146
7.5.4	Arbeit im Gravitationsfeld	147
7.5.5	Astronautische Geschwindigkeiten	147
7.5.6	Kepler'sche Gesetze	150
7.5.7	Daten des Sonnensystems	151
8	Ruhende Flüssigkeiten	153
8.1	Druck in Flüssigkeiten	154
8.1.1	Kolbendruck	154
8.1.2	Schweredruck	155
8.2	Kompressibilität	156
8.3	Auftrieb	156
8.3.1	Bestimmung der Dichte fester Körper	157
8.3.2	Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten	158
9	Ruhende Gase	159
9.1	Druck und Volumen eines Gases	159
9.1.1	Überdruck	160
9.1.2	Messung des Gasdrucks	160

9.2	Luftdruck	160
9.2.1	Luftdruckmessung	162
9.2.2	Wirkung des Luftdrucks	163
9.2.3	Auftrieb in Gasen	163
10	Strömungen	164
10.1	Reibungsfreie Strömung	164
10.1.1	Ausfluss aus Gefäßen	164
10.1.2	Durchfluss durch Röhren	165
10.1.3	Druck in Strömungen	166
10.1.4	Druckmessung in Strömungen	168
10.2	Laminare Strömung	170
10.2.1	Dynamische Viskosität (Zähigkeit)	171
10.2.2	Laminare Strömung durch ein Rohr	172
10.2.3	Laminare Strömung um eine Kugel	175
10.3	Turbulente Strömung	176
10.3.1	Strömungswiderstand	176
10.3.2	Strömungsleistung	177
10.3.3	Reynolds'sches Ähnlichkeitsgesetz	177
11	Moleküle	179
11.1	Molekularkräfte	179
11.1.1	Kohäsion und Adhäsion	179
11.1.2	Oberflächenspannung	180
11.1.3	Kapillarität	182
11.2	Molekularbewegung	183
11.2.1	Diffusion	184
11.2.2	Osmose	184
11.3	Lösungen	184
11.3.1	Molekulardisperse Systeme (echte Lösungen)	184
11.3.2	Kolloiddisperse Systeme (kolloide Lösungen)	185
11.3.3	Korpuskulardisperse Systeme	185
12	Elastizität fester Körper	187
12.1	Dehnung	187
12.2	Kompression	190
12.3	Scherung	191
12.4	Torsion (Drillung)	192
12.5	Härte	193
13	Mechanische harmonische Schwingungen	195
13.1	Ungedämpfte harmonische Schwingung	196
13.1.1	Phasenwinkel	196
13.1.2	Elongation	197
13.1.3	Geschwindigkeit	198
13.1.4	Beschleunigung	198
13.1.5	Rückstellkraft	199

13.2	Eigenfrequenz der ungedämpften harmonischen Schwingung	200
13.2.1	Schwingungsgleichung	200
13.2.2	Lineare Federschwingung	201
13.2.3	Drehschwingung	202
13.2.4	Pendelschwingungen	203
13.2.5	Flüssigkeitsschwingungen	206
13.2.6	Schwingungsenergie	206
13.3	Freie gedämpfte Schwingung	208
13.3.1	Schwingungsgleichung	209
13.3.2	Elongation	210
13.3.3	Eigenfrequenz	212
13.3.4	Aperiodische Bewegung	213
13.4	Erzwungene Schwingung	216
13.4.1	Schwingungsgleichung	216
13.4.2	Elongation	217
13.4.3	Resonanz	218
13.5	Überlagerung von Schwingungen	221
13.5.1	Schwingungen gleicher Richtung und Frequenz	221
13.5.2	Schwingungen gleicher Richtung und ungleicher Frequenz	223
13.5.3	Schwingungen ungleicher Richtung	225
13.6	Gekoppelte Schwingungen	229
14	Mechanische Wellen	232
14.1	Wellenausbreitung	232
14.1.1	Huygens'sches Prinzip	232
14.1.2	Wellenarten	232
14.2	Lineare Sinuswelle	234
14.2.1	Wellengleichung	234
14.2.2	Elongation	234
14.2.3	Phasengeschwindigkeit	235
14.2.4	Phasensprung	236
14.2.5	Stehende Wellen	236
14.3	Wellen in ausgedehnten Medien	238
14.3.1	Überlagerung	238
14.3.2	Reflexion	239
14.3.3	Brechung	239
14.3.4	Beugung	240
14.4	Größen des Wellenfeldes	241
14.4.1	Energiedichte	241
14.4.2	Energiestrom	241
14.4.3	Leistung	242
14.4.4	Intensität	242
14.4.5	Wellenwiderstand	243

W	WÄRMELEHRE	244
15	Temperatur	244
15.1	Temperaturmessung	245
15.1.1	Temperaturskalen	245
15.1.2	Thermometer	246
15.2	Ausdehnung fester Körper	247
15.2.1	Längenänderung	247
15.2.2	Flächenänderung	248
15.2.3	Volumenänderung	249
15.3	Ausdehnung von Flüssigkeiten	250
15.3.1	Volumenänderung	250
15.3.2	Dichteänderung	251
15.4	Ausdehnung der Gase	251
15.4.1	Volumenänderung	251
15.4.2	Druckänderung	253
15.5	Gasgesetze	255
15.5.1	Zustandsgleichung des idealen Gases	255
15.5.2	Gasdichte	256
15.5.3	Normvolumen	258
15.5.4	Gasgemische	258
15.5.5	Molare Größen	259
16	Wärmeenergie	262
16.1	Wärmemenge	262
16.1.1	Wärmeinhalt	263
16.1.2	Wärmekapazität	263
16.1.3	Wasserwert	264
16.2	Spezifische Wärmekapazität	265
16.3	Wärmemischung	267
16.4	Wärmequellen	268
16.4.1	Sonnenenergie	268
16.4.2	Verbrennungsenergie	269
16.4.3	Elektrische Energie	270
16.4.4	Mechanische Energie	270
17	Aggregatzustände	272
17.1	Schmelzen und Erstarren	272
17.1.1	Schmelzpunkt	273
17.1.2	Erstarrungspunkt von Lösungen	273
17.1.3	Volumenänderung	274
17.1.4	Schmelzwärme	274
17.1.5	Lösungswärme	275
17.2	Verdampfen und Kondensieren	275
17.2.1	Siedepunkt	276
17.2.2	Siedepunkt von Lösungen	276
17.2.3	Volumenänderung	276

17.2.4	Verdampfungswärme	277
17.2.5	Verdunsten	278
17.2.6	Sublimieren	278
17.3	Dämpfe	278
17.3.1	Gesättigter Dampf	278
17.3.2	Ungesättigter Dampf	279
17.3.3	Dampfbildung im gaserfüllten Raum	279
17.3.4	Tripelpunkt	280
17.3.5	Luftfeuchtigkeit	281
17.4	Reale Gase	283
17.4.1	Zustandsgleichung realer Gase	283
17.4.2	Kritische Temperatur	284
17.4.3	Verflüssigung der Gase	285
18	Zustandsänderung des idealen Gases	287
18.1	Erster Hauptsatz	287
18.1.1	Volumenänderungsarbeit	288
18.1.2	Innere Energie	289
18.1.3	Enthalpie	290
18.2	Isochore Zustandsänderung	290
18.3	Isobare Zustandsänderung	291
18.4	Isotherme Zustandsänderung	292
18.5	Isentrope Zustandsänderung	294
18.6	Polytrope Zustandsänderung	297
18.7	Kreisprozesse	301
18.7.1	Carnot'scher Kreisprozess	302
18.7.2	Thermischer Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses	303
18.7.3	Thermische Maschinen	304
18.8	Zweiter Hauptsatz	306
18.8.1	Reversible und irreversible Prozesse	306
18.8.2	Entropie	307
19	Kinetische Wärmetheorie	312
19.1	Anzahl und Masse der Moleküle	312
19.1.1	Loschmidt-Konstante	312
19.1.2	Avogadro-Konstante	312
19.1.3	Boltzmann-Konstante	313
19.1.4	Masse eines Moleküls	313
19.2	Druck in einem Gas	313
19.3	Geschwindigkeit der Moleküle	315
19.3.1	Maxwell-Verteilung der Geschwindigkeit	315
19.3.2	Wahrscheinlichste Geschwindigkeit	316
19.3.3	Mittlere quadratische Geschwindigkeit	317
19.3.4	Mittelwert der Geschwindigkeit	317
19.4	Energie der Moleküle	318
19.4.1	Kinetische Energie eines Moleküls	318

	19.4.2 Gleichverteilungssatz	319
	19.4.3 Innere Energie und spezifische Wärmekapazität	319
	19.5 Stoßzahl und freie Weglänge	321
	19.5.1 Mittlere Stoßzahl	321
	19.5.2 Mittlere freie Weglänge	322
20	Wärmetransport	324
	20.1 Wärmeströmung (Konvektion)	324
	20.2 Wärmeleitung	324
	20.3 Wärmeübergang	327
	20.4 Wärmedurchgang	328
	20.5 Temperaturstrahlung	331
	20.5.1 Absorption	331
	20.5.2 Emission	332
	20.5.3 Strahlungsgesetz von Stefan und Boltzmann	333
	20.5.4 Strahlungsgesetz von Planck	334
	20.5.5 Verschiebungsgesetz von Wien	335
A	AKUSTIK	336
21	Schallerzeugung	336
	21.1 Wesen des Schalls	336
	21.2 Schallquellen	337
	21.2.1 Schwingende Saiten	337
	21.2.2 Schwingende Luftsäulen	338
	21.3 Tonleiter	338
	21.3.1 Harmonische (diatonische) Tonleiter	339
	21.3.2 Chromatische Tonleiter	339
	21.3.3 Gleichmäßig temperierte chromatische Tonleiter	340
	21.3.4 Normstimmton	340
	21.3.5 Intervalle	341
22	Schallausbreitung	343
	22.1 Schallgeschwindigkeit	343
	22.1.1 Schallgeschwindigkeit in Festkörpern	343
	22.1.2 Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten	343
	22.1.3 Schallgeschwindigkeit in Gasen	344
	22.1.4 Schallgeschwindigkeit in Luft	344
	22.2 Doppler-Effekt	345
	22.3 Überlagerung von Schallwellen	349
	22.3.1 Auslöschung	349
	22.3.2 Verstärkung	349
	22.3.3 Schwebung	349
23	Schallmessung	351
	23.1 Schallfeldgrößen	351
	23.1.1 Schallschnelle	351
	23.1.2 Schalldruck	352
	23.1.3 Schallintensität	353

23.1.4	Schallpegel	354
23.1.5	Relativer Schallpegel	357
23.2	Hören	357
23.2.1	Hörfläche	357
23.2.2	Lautstärkepegel	358
23.2.3	Bewerteter Schallpegel	360
24	Ultraschall	361
24.1	Eigenschaften	361
24.1.1	Schallstärke	361
24.1.2	Ausbreitung	361
24.2	Erzeugung von Ultraschall	362
O	OPTIK	363
25	Strahlenoptik	363
25.1	Lichtausbreitung	363
25.1.1	Geradlinigkeit der Ausbreitung	363
25.1.2	Lichtgeschwindigkeit	363
25.2	Reflexion	364
25.2.1	Reflexionsgesetz	364
25.2.2	Ebener Spiegel	365
25.2.3	Hohlspiegel (Konkavspiegel)	365
25.2.4	Wölbspiegel (Konvexspiegel)	367
25.3	Brechung	368
25.3.1	Brechungsgesetz	368
25.3.2	Totalreflexion	369
25.3.3	Planparallele Platte	370
25.3.4	Prisma	371
25.4	Linsen	372
25.4.1	Linsenarten	372
25.4.2	Bestimmung der Brennweite	374
25.4.3	Konstruktion des Linsenbildes	375
25.4.4	Abbildungsgesetze	376
25.4.5	Dicke Linsen	377
25.4.6	Abbildungsfehler	378
25.5	Optische Geräte	379
25.5.1	Projektor	379
25.5.2	Kamera (Fotoapparat)	381
25.5.3	Auge	382
25.5.4	Lupe	384
25.5.5	Mikroskop	385
25.5.6	Fernrohre	386
25.6	Zerlegung des Lichts	388
25.6.1	Lichtquellen	388
25.6.2	Lichtzerlegung	389
25.6.3	Komplementärfarben	390

	25.6.4 Farbmischung	390
	25.6.5 Spektren	391
	25.6.6 Dispersion	393
26	Wellenoptik	394
26.1	Interferenz	394
26.1.1	Farben dünner Schichten	394
26.1.2	Newton'sche Ringe	395
26.2	Beugung	396
26.2.1	Beugung am engen Spalt	397
26.2.2	Beugung am Doppelspalt	398
26.2.3	Beugungsgitter	398
26.2.4	Beugungsspektrum	399
26.2.5	Beugung an kreisförmiger Öffnung	399
26.2.6	Auflösungsvermögen optischer Geräte	400
26.3	Polarisation	401
26.3.1	Polarisation durch Reflexion	402
26.3.2	Polarisation durch Doppelbrechung	403
26.3.3	Spannungsdoppelbrechung	404
26.3.4	Kerr-Effekt	405
26.3.5	Optische Aktivität	405
26.3.6	Faraday-Effekt	406
27	Lichtstrahlung	407
27.1	Strahlungsphysikalische Größen	407
27.2	Lichttechnische Größen (Fotometrie)	409
27.2.1	Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad	409
27.2.2	Lichtstärke	410
27.2.3	Leuchtdichte	412
27.2.4	Lichtstrom	413
27.2.5	Spezifische Lichtausstrahlung	414
27.2.6	Lichtmenge	414
27.2.7	Beleuchtungsstärke	415
27.2.8	Belichtung	416
27.3	Fotometer	417
27.3.1	Messung der Lichtstärke	417
27.3.2	Messung des Gesamtlichtstroms	418
27.3.3	Messung der Beleuchtungsstärke	418
E	ELEKTRIK	419
28	Gleichstromkreis	419
28.1	Elektrischer Strom	419
28.1.1	Elektrische Stromstärke	419
28.1.2	Elektrische Ladung	419
28.2	Elektrische Spannung	420
28.2.1	Quellenspannung U_q (Urspannung)	420
28.2.2	Spannungsabfall U	421

28.3	Elektrischer Widerstand	421
28.3.1	Spezifischer elektrischer Widerstand	423
28.3.2	Widerstand und Temperatur	423
28.4	Elektrischer Stromkreis	424
28.5	Stromverzweigung	427
28.6	Schaltung von Widerständen	427
28.6.1	Reihenschaltung	427
28.6.2	Parallelschaltung	428
28.6.3	Spannungsteiler	429
28.6.4	Wheatstone'sche Messbrücke	429
28.7	Messung von Stromstärke und Spannung	430
28.7.1	Strommesser	430
28.7.2	Spannungsmesser	431
28.8	Elektrische Arbeit und Leistung	432
28.8.1	Elektrische Arbeit	432
28.8.2	Elektrische Leistung	433
29	Elektrisches Feld	434
29.1	Elektrische Ladung	434
29.2	Elektrische Feldstärke	435
29.2.1	Elektrisches Potenzial	436
29.2.2	Elektrische Flussdichte	438
29.2.3	Dielektrikum	439
29.2.4	Feldstärke an Kugeloberflächen	440
29.3	Kapazität	441
29.3.1	Kondensator	442
29.3.2	Parallelschaltung von Kondensatoren	445
29.3.3	Reihenschaltung von Kondensatoren	445
29.4	Kraft und Energie im elektrischen Feld	446
29.4.1	Kraftwirkung im Feld	446
29.4.2	Energie des Feldes	447
29.4.3	Energiedichte	448
29.4.4	Auf- und Entladung eines Kondensators	448
30	Magnetisches Feld	451
30.1	Dauermagnetismus (permanenter Magnetismus)	451
30.1.1	Stabmagnet	451
30.1.2	Magnetfeld der Erde	451
30.2	Elektromagnetismus	452
30.2.1	Magnetische Feldstärke	452
30.2.2	Durchflutungsgesetz	454
30.2.3	Magnetische Spannung	455
30.2.4	Magnetische Flussdichte	457
30.2.5	Magnetischer Fluss	458
30.2.6	Stoff im magnetischen Feld	459
30.2.7	Ferromagnetische Stoffe	461

30.3	Elektromagnetische Induktion	464
30.3.1	Induktionsgesetz	464
30.3.2	Induktion im bewegten Leiter	465
30.3.3	Selbstinduktion	466
30.3.4	Schaltung von Induktivitäten	468
30.3.5	Ein- und Ausschalten von Stromkreisen mit Induktivität	468
30.4	Kraft und Energie im magnetischen Feld	469
30.4.1	Kraftwirkungen im Feld	469
30.4.2	Energie des Feldes	475
30.4.3	Energiedichte	476
30.4.4	Elektrische und magnetische Feldgrößen	477
31	Elektrische Maschinen	478
31.1	Generatoren	478
31.1.1	Wechselstromgenerator	478
31.1.2	Gleichstromgenerator	480
31.1.3	Drehstromgenerator	481
31.2	Motoren	482
31.2.1	Wechselstrommotoren	483
31.2.2	Gleichstrommotoren	483
31.2.3	Drehstrommotoren	484
32	Wechselstromkreis	485
32.1	Effektivwerte von Strom und Spannung	485
32.2	Wechselstromwiderstand	486
32.2.1	Induktiver Widerstand	486
32.2.2	Kapazitiver Widerstand	488
32.2.3	Blindwiderstand	489
32.2.4	Scheinwiderstand	490
32.2.5	Phasenverschiebung	491
32.2.6	Resonanz	492
32.3	Wechselstromleistung	493
32.3.1	Wirkleistung	493
32.3.2	Blindleistung	494
32.3.3	Scheinleistung	495
32.4	Transformator	496
33	Elektrische Leitung	498
33.1	Stromleitung durch Festkörper	500
33.1.1	Energiebändermodell	500
33.1.2	Metallische Leiter	501
33.1.3	Thermoelektrizität	502
33.1.4	Halbleiter	504
33.1.5	Eigenleitung	504
33.1.6	n-Leitung	506
33.1.7	p-Leitung	507
33.1.8	pn-Übergang	507

33.1.9	Bipolarer Transistor	509
33.1.10	Unipolarer Transistor	512
33.2	Stromleitung in Flüssigkeiten	513
33.2.1	Elektrolyse	513
33.2.2	Galvanische Elemente	515
33.2.3	Akkumulatoren	515
33.3	Stromleitung in Gasen	517
33.3.1	Unselbstständige Entladung	517
33.3.2	Selbstständige Entladung	518
33.3.3	Glimmentladung	518
33.3.4	Kathodenstrahlen	519
33.3.5	Kanalstrahlen	520
33.3.6	Röntgenstrahlung	520
33.4	Stromleitung im Vakuum	520
33.4.1	Energie und Geschwindigkeit freier Elektronen	520
33.4.2	Elektronenbewegung im elektrischen Quersfeld	523
33.4.3	Elektronenemission aus Metallen	524
33.4.4	Elektronenröhren	527
34	Elektrische Schwingungen und Wellen	530
34.1	Elektromagnetische Schwingungen	530
34.1.1	Schwingkreis	530
34.1.2	Ungedämpfte elektromagnetische Schwingung	530
34.1.3	Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen	532
34.1.4	Offener Schwingkreis	532
34.1.5	Gedämpfte elektromagnetische Schwingung	533
34.2	Elektromagnetische Wellen	534
34.2.1	Elektromagnetische Welle auf einer Leitung	534
34.2.2	Freie elektromagnetische Wellen	536
34.2.3	Spektrum elektromagnetischer Wellen	538
K	ATOM- UND KERNPHYSIK	540
35	Quanten	540
35.1	Energie-Masse-Relation	540
35.2	Photon	541
35.2.1	Masse des Photons	541
35.2.2	Impuls des Photons	541
35.2.3	Compton-Effekt	542
35.3	Materiewellen	544
35.4	Unschärferelation	546
36	Atome	548
36.1	Aufbau und Kennzeichnung	548
36.1.1	Isotope Nuklide	549
36.1.2	Isobare Nuklide	549
36.1.3	Isotone Nuklide	550

36.2	Masse	550
36.2.1	Atommasse	550
36.2.2	Anzahl der Atome	552
36.2.3	Massendefekt	552
36.3	Kernbindungsenergie	553
36.4	Größe	554
36.4.1	Elektronenradius	554
36.4.2	Kernradius	555
36.4.3	Atomradius	555
37	Atomhülle	556
37.1	Bohr'sche Postulate	556
37.1.1	1. Postulat	556
37.1.2	2. Postulat	557
37.2	Wasserstoffatom	557
37.2.1	Bahngeschwindigkeit	557
37.2.2	Umlauffrequenz	558
37.2.3	Bahnradius	559
37.2.4	Energieniveau	560
37.2.5	Frequenzen der Strahlung	562
37.2.6	Wasserstoffspektrum	563
37.3	Quantenzahlen	564
37.3.1	Hauptquantenzahl n	564
37.3.2	Nebenquantenzahl / (Drehimpulsquantenzahl)	564
37.3.3	Magnetische Quantenzahl m	565
37.3.4	Spinquantenzahl s	566
37.3.5	Besetzung der Schalen	567
37.4	Strahlungsemission	568
37.4.1	Termschema	568
37.4.2	Anregung	568
37.4.3	Metastabile Zustände	569
37.4.4	Röntgenstrahlung	570
37.5	Wellenmechanisches Atommodell	571
38	Radioaktivität	573
38.1	Radioaktive Umwandlung (radioaktiver Zerfall)	573
38.1.1	Stabilität des Kerns	573
38.1.2	α -Zerfall	574
38.1.3	β -Zerfall	574
38.1.4	β^+ -Zerfall	575
38.1.5	γ -Emission	576
38.2	Statistik des Zerfalls	576
38.2.1	Zerfallskonstante	576
38.2.2	Zerfallsgesetz	576
38.2.3	Halbwertszeit	577
38.2.4	Aktivität	577

38.3	Zerfallsreihen	579
38.4	Schwächung der Kernstrahlung	580
38.4.1	γ -Strahlung	580
38.4.2	β -Strahlung	582
38.4.3	α -Strahlung	583
38.5	Dosimetrie	584
38.5.1	Energiedosis	584
38.5.2	Energiedosisleistung	584
38.5.3	Ionendosis	585
38.5.4	Äquivalentdosis	586
38.6	Strahlenschutz	587
38.7	Strahlennachweis	588
39	Künstliche Kernumwandlungen	589
39.1	Teilchenbeschleuniger	589
39.2	Kernreaktionen	589
39.3	Uranspaltung	590
39.3.1	Kettenreaktion	591
39.3.2	Energiebilanz	592
39.4	Kernfusion	592
39.5	Anwendung radioaktiver Nuklide	593
40	Elementarteilchen	594
40.1	Elementare Teilchen	595
40.1.1	Leptonen	595
40.1.2	Quarks	595
40.2	Zusammengesetzte Elementarteilchen (Hadronen)	596
40.2.1	Mesonen	596
40.2.2	Baryonen	597
R	RELATIVISTISCHE MECHANIK	598
41	Relativistische Mechanik	598
41.1	Galilei-Transformation	598
41.1.1	Zeitkoordinaten	599
41.1.2	Ortskoordinaten	599
41.1.3	Geschwindigkeit	599
41.1.4	Beschleunigung	600
41.2	Lorentz-Transformation	600
41.2.1	Ortskoordinaten	601
41.2.2	Zeitkoordinaten	601
41.3	Relativistische Kinematik	601
41.3.1	Zeitdilatation	601
41.3.2	Längenkontraktion	602
41.3.3	Addition von Geschwindigkeiten	603
41.4	Relativistische Dynamik	604
41.4.1	Masse	604
41.4.2	Impuls	605

41.4.3	Kraft	606
41.4.4	Energie	606
F	FEHLERRECHNUNG	608
42	Fehlerrechnung bei physikalischen Messungen	608
42.1	Fehlerbegriff	608
42.2	Systematische Fehler	608
42.3	Zufällige Fehler	609
42.3.1	Mittelwert der Messreihe	609
42.3.2	Standardabweichung (mittlerer Fehler) der Einzelmessung	610
42.3.3	Standardabweichung (mittlerer Fehler) des Mittelwertes	611
42.4	Fehlerfortpflanzung	612
42.4.1	Mittelwert des Funktionswertes	612
42.4.2	Mittlerer Fehler des Funktionswertes	613
42.4.3	Größtfehler des Funktionswertes	614
42.4.4	Fehlerschätzung	615
42.5	Darstellung des Endergebnisses	615
T	TABELLEN	617
Tabelle 1a	Dichte fester Stoffe	617
Tabelle 1b	Dichte von Flüssigkeiten	619
Tabelle 1c	Normdichte gasförmiger Stoffe	619
Tabelle 2	Reibungszahlen	620
Tabelle 3	Stoßzahl	622
Tabelle 4	Kompressibilität von Flüssigkeiten	622
Tabelle 5	Luftdruck in Abhängigkeit von der Höhe	623
Tabelle 6	Dynamische Viskosität und kinematische Viskosität	624
Tabelle 7	Widerstandsbeiwert	625
Tabelle 8	Oberflächenspannung	626
Tabelle 9	Elastizitätsmodul, Schubmodul, Kompressionsmodul	627
Tabelle 10	Längenausdehnungskoeffizient fester Stoffe	628
Tabelle 11	Volumenausdehnungskoeffizient von Flüssigkeiten	630
Tabelle 12	Volumenausdehnungskoeffizient gasförmiger Stoffe	630
Tabelle 13	Luftdichte in Abhängigkeit von Druck und Temperatur	631
Tabelle 14	Spezielle Gaskonstante	631
Tabelle 15	Dichte des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur	632
Tabelle 16	Spezifische Wärmekapazität fester Stoffe	632
Tabelle 17	Spezifische Wärmekapazität von Flüssigkeiten	634
Tabelle 18	Spezifische Wärmekapazität von Gasen	635
Tabelle 19	Spezifischer Heizwert fester Brennstoffe	636
Tabelle 20	Spezifischer Heizwert flüssiger Brennstoffe	636
Tabelle 21	Spezifischer Heizwert gasförmiger Brennstoffe	636
Tabelle 22	Schmelztemperatur und spezifische Schmelzwärme	637
Tabelle 23	Siedetemperatur und spezifische Verdampfungswärme	640

Tabelle 24	Siedetemperatur des Wassers in Abhängigkeit vom Druck . . .	643
Tabelle 25	Siedetemperatur des Wassers in Abhängigkeit vom Luftdruck .	643
Tabelle 26	Sättigungsdruck	644
Tabelle 27	Sättigungsdruck und Sättigungsmenge für Wasserdampf . . .	644
Tabelle 28	Kryoskopische und ebullioskopische Konstante	645
Tabelle 29	Van-der-Waals-Konstanten	645
Tabelle 30	Kritische Temperatur und kritischer Druck	646
Tabelle 31	Wärmeleitfähigkeit	647
Tabelle 32	Wärmeübergangskoeffizient	649
Tabelle 33	Wärmedurchgangskoeffizient	650
Tabelle 34	Emissionsgrad	651
Tabelle 35	Schallgeschwindigkeit	653
Tabelle 36	Schalldämmmaß	654
Tabelle 37	Lautstärkepegel	655
Tabelle 38	Lichtgeschwindigkeit	655
Tabelle 39	Brechzahl	656
Tabelle 40	Grenzwinkel	657
Tabelle 41	Polarisationswinkel	657
Tabelle 42	Wellenlängen wichtiger Spektrallinien	658
Tabelle 43	Hauptdispersion und Abbe'sche Zahl	658
Tabelle 44	Gesamtlichtstrom und Lichtausbeute	659
Tabelle 45	Spezifischer elektrischer Widerstand	661
Tabelle 46	Temperaturkoeffizient	662
Tabelle 47	Permittivitätszahl	663
Tabelle 48	Permeabilitätszahl	664
Tabelle 49	Curie-Temperatur ferromagnetischer Stoffe	666
Tabelle 50	Beweglichkeit von Ladungsträgern	667
Tabelle 51	Sprungtemperatur bei Supraleitern	668
Tabelle 52	Elektrochemisches Äquivalent	669
Tabelle 53	Elektrochemische Spannungsreihe	669
Tabelle 54	Ablösearbeit	670
Tabelle 55	Elektronenanordnung bei den Elementen	671
Tabelle 56	Chemische Elemente und ihre Isotope	674
Tabelle 57	Halbwertszeit und Zerfallsenergie radioaktiver Isotope	689
Tabelle 58	Schwächungskoeffizient für γ -Strahlung	691
Tabelle 59	Schwächungskoeffizient für γ -Strahlung des Co-60	692
Tabelle 60	Halbwertsschichtdicke für γ -Strahlung	692
Tabelle 61	Maximale Reichweite und Halbwertsschichtdicke für β -Strahlung in Aluminium	692
Tabelle 62	Dosisleistungskonstante	693
Tabelle 63	Griechische Buchstaben	693

S SACHWORTVERZEICHNIS 694