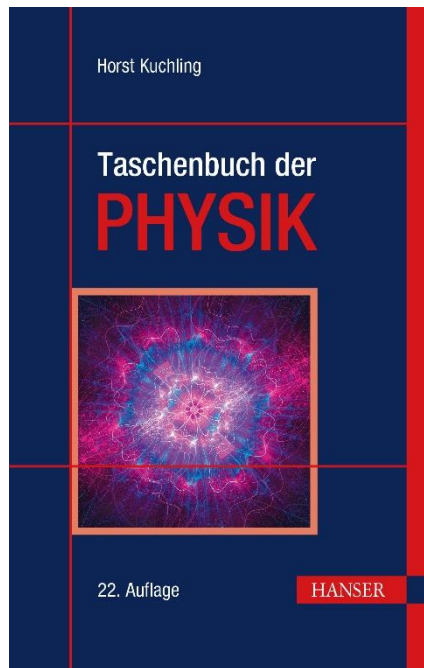


HANSER



Leseprobe

zu

Taschenbuch der Physik von Horst Kuchling und Thomas Kuchling (Bearb.)

Print-ISBN: 978-3-446-47274-7
E-Book-ISBN: 978-3-446-47364-5

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446472747>
sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

VORWORT

Von diesem sehr erfolgreichen „Taschenbuch der Physik“ wurden bis heute in verschiedenen Sprachen insgesamt mehr als **70 Auflagen** gedruckt.

Das Buch entstand vor etwa **50 Jahren** als „Nachschlagebuch für das Grundlagenfach Physik“, sollte Schülern und Studenten eine Hilfe bei der Ausbildung sein und später im Beruf zum Nachschlagen dienen.

Ständig aktualisiert, verbessert und erweitert wurde es so zu einem **Standardwerk** für Lernende aller Altersstufen und Fachrichtungen. Es informiert präzise und verständlich über alle Teilgebiete der Physik. An vielen Hoch- und Fachhochschulen sowie Gymnasien wird es empfohlen; in der beruflichen Praxis ist es bekannt und eingeführt.

Dieses Taschenbuch

- **hilft** Studenten und Schülern beim Erarbeiten und Wiederholen des Stoffes;
- ist **unentbehrlich** bei der Vorbereitung auf Klausuren und Prüfungen;
- **nützt** im Beruf bei der Auffrischung früher erworbenen Wissens;
- **informiert** zuverlässig über Einheiten, Naturkonstanten und Materialwerte;
- **ersetzt** kein Lehrbuch; denn quantitativ nicht erfassbare, also nur beschreibende Fakten sind nicht oder nur stichwortartig dargestellt;
- **ist viel mehr** als eine Formelsammlung, denn es enthält alle wichtigen Formeln und Gesetze, erläutert ihre Anwendung und gibt Hinweise auf Einheiten und Gültigkeitsgrenzen;
- **eignet** sich auch für Benutzer mit geringeren mathematischen Kenntnissen;
- **enthält** mehr als 500 den Text erläuternde Zeichnungen;
- **ermöglicht** schnellen Zugriff durch ein gut gegliedertes Inhaltsverzeichnis, das Daumenregister und ein umfangreiches Sachwortverzeichnis.

Seine Aufgabe, eine Brücke zwischen reiner Formelsammlung und Lehrbuch zu sein, erfüllt es vor Allem durch die didaktisch geschickte Gestaltung sowie leicht verständliche Texte und Abbildungen.

Dem Verlag gilt mein Dank für die stets gute Zusammenarbeit, insbesondere Herrn Dipl.-Phys. Vogelsang für seine fachkundige Hilfe bei der Entstehung des Buches, sowie besonders Herrn Dipl.-Phys. Jochen Horn für die immer verständnisvolle Unterstützung meiner Wünsche bei der weiteren Verbesserung des Buches.

Möge das Taschenbuch den vielen Benutzern beim Lernen, Studieren und Arbeiten auch weiterhin ein **unentbehrlicher**, sowie **zuverlässiger Helfer** und **Ratgeber** sein.

Mittweida, im August 2014

Horst Kuchling

VORWORT ZUR 22. AUFLAGE

Der Erfolg des „Taschenbuchs für Physik“ beruht auf der langjährigen Berufserfahrung meines Vaters als Gymnasiallehrer und Fachschuldozent, auf die er bei der Entstehung und Entwicklung des Buches zurückgreifen konnte.

Für die vorliegende **22. Auflage** blieben die bewährte Darstellungsform und der Umfang unverändert. Es wurden Fehler beseitigt, die insbesondere durch aufmerksame Nutzer erkannt wurden. Weiterhin wurden Zahlenwerte auf den aktuellen Stand gebracht sowie neue Erkenntnisse, Bestimmungen und Festlegungen – darunter die grundlegenden Veränderungen im Internationalen Einheitensystem (SI) – berücksichtigt. Sinnvolle und umsetzbare Vorschläge aus dem Leserkreis wurden eingearbeitet. Abbildungen wurden teilweise neu gezeichnet bzw. ergänzt.

Für Anregungen, Verbesserungsvorschläge sowie Hinweise auf Fehler sind Verlag und Bearbeiter auch in Zukunft sehr dankbar.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Roland Fetzner für die Überlassung eines Tools zur Neuberechnung der Hysteresekurven. Dem Hanser Verlag danke ich für die gute Unterstützung bei der Vorbereitung dieser Auflage und hoffe, dass der „KUCHLING“ wie bisher seinen Platz als hilfreicher Begleiter in der Ausbildung und im Beruf findet.

Oberschöna, im Dezember 2021

Thomas Kuchling

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 Polarisisation	401
	26.3.1 Polarisisation durch Reflexion	402
	26.3.2 Polarisisation 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 Querfeld	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 l (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

GRÖSSEN UND EINHEITEN

G

1 Physikalische Größen

Physikalische Größen sind messbare Merkmale (Eigenschaften) physikalischer Objekte (Dinge, Zustände, Vorgänge).

Physikalische Gesetzmäßigkeiten sind mathematische Verknüpfungen solcher Größen.

Der **Wert** jeder physikalischen Größe (**Größenwert**) ist das Produkt aus einem *Zahlenwert* und einer *Einheit*.

Größenwert = Zahlenwert \times Einheit.

Der Ausdruck $\text{Zeit} = 5 \text{ Sekunden}$

$$t = 5 \text{ s}$$

besagt also, dass die gemessene Zeit das 5fache einer Sekunde beträgt.

Der Zahlenwert allein reicht zur Bestimmung des Wertes einer physikalischen Größe nicht aus. Die entsprechende Einheit darf demnach niemals weggelassen werden!

Beachte:

- Für Zahlenwert und Einheit werden manchmal noch die Bezeichnungen *Maßzahl* und *Maßeinheit* benutzt.

1.1 Basisgrößenarten

In der Physik werden 7 Basisgrößenarten (früher Grundgrößenarten genannt) verwendet. Es sind dies:

Länge, Zeit, Masse, Temperatur, elektrische Stromstärke, Stoffmenge und Lichtstärke.

1.2 Abgeleitete Größenarten

Aus den Basisgrößenarten lassen sich alle weiteren Größenarten entweder als Aussage eines Naturgesetzes oder als zweckmäßige Definition in Form von Potenzprodukten (Produkte und Quotienten) ableiten.

Beispiel:

Geschwindigkeit = Weg/Zeit; Arbeit = Kraft · Weg;
 Dichte = Masse/Volumen; Ladung = Stromstärke · Zeit;
 Kraft = Masse · Beschleunigung; Leistung = Arbeit/Zeit.

1.3 Formelzeichen

Die Bezeichnungen physikalischer Größen dürfen besonders in Gleichungen, Tabellen, grafischen Darstellungen usw. durch ein Symbol, das **Formelzeichen**, ersetzt werden. In Übereinstimmung mit internationalen Vereinbarungen (IUPAP-Dokument U.I.P.20 und andere) wurden die Formelzeichen der physikalischen Größenarten durch entsprechende Normen (besonders DIN 1304, Teil 1–Teil 8) festgelegt.

Diese Bestimmungen gelten auch für die Anwendung der Formelzeichen außerhalb der Physik, z. B. in der Technik.

Als Formelzeichen werden Buchstaben des lateinischen und des griechischen Alphabets verwendet. Entsprechend DIN 1338 sind sie in Büchern und Zeitschriften *kursiv* (*schräg*) zu drucken. Das gilt auch für Indizes, sofern sie aus einem Formelzeichen bestehen. Abkürzungen und Zahlen werden dagegen senkrecht gedruckt.

Alle genannten Bestimmungen und Festlegungen wurden in diesem Buch berücksichtigt.

■ Eckige Klammern [] um ein Formelzeichen bedeuten „Einheit von ...“; z. B.

$[U] = \text{V}$ gelesen: Einheit der Spannung = Volt.

Eckige Klammern um eine Einheit (z. B. [V]) sind **falsch**, wenn auch eine immer noch weit verbreitete **Unsitte!**

■ Geschweifte Klammern { } um ein Formelzeichen bedeuten „Zahlenwert von ...“; z. B.

$\{U\} = 230$ gelesen: Zahlenwert der Spannung = 230.

Da der Wert einer Größe (Größenwert) aus dem Produkt *Zahlenwert* mal *Einheit* besteht, ergibt sich für obiges Beispiel:

Spannung $U = \{U\} \cdot [U] = 230 \text{ V}$.

■ Zwischen Zahlenwert und Einheit einer physikalischen Größe ist beim Schreiben stets ein Abstand zu lassen, z. B.

$A = 5 \text{ mm}^2$; $r = 12 \text{ cm}$; $\varphi = 0,2 \text{ rad}$; $T = 300 \text{ K}$; $t = -5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ausnahme: Winkelangaben in Grad ($^{\circ}$), Minute ($'$) und Sekunde ($''$), z. B. $\alpha = 22^{\circ}30'15''$; $\beta = 90^{\circ}$.

1.4 Dimension

Die Dimension einer physikalischen Größenart gibt deren Zusammenhang mit den Basisgrößen an. Sie ist das Potenzprodukt der Dimensionszeichen der Basisgrößenarten. Als Dimensionszeichen werden senkrechte lateinische und griechische Großbuchstaben verwendet.

Übersicht:

Basisgrößenart	Formelzeichen	Dimensionszeichen
Länge	l	L
Zeit	t	T, Z
Masse	m	M
elektrische Stromstärke	I	I
Temperatur (thermodynamische, absolute)	T	Θ, T
Stoffmenge	n	N
Lichtstärke	I_v	J, I _L

Demnach lautet z. B. die Dimension der Geschwindigkeit = Länge/Zeit:
 $\dim v = LT^{-1}$.

Beachte:

- Zwischen den Begriffen **Dimension** und **Einheit** ist sorgfältig zu unterscheiden. Gelegentlich wird die Einheit **fälschlich** als Dimension bezeichnet.
- Die Dimension physikalischer Größenarten \rightarrow [3.6].

1.5 Skalare Größen

Es muss zwischen **skalaren** und **vektoriellen** Größen unterschieden werden.

Skalare Größen sind durch **Zahlenwert** und **Einheit** vollständig bestimmt.

Beispiel:

Zeit t , Temperatur T , elektrische Ladung Q , Masse m .

Als Formelzeichen skalarer Größen werden *kursive* (*schräg* gedruckte) kleine und große Buchstaben des lateinischen sowie des griechischen Alphabets verwendet.

Mit skalaren Größen wird wie mit reellen Zahlen gerechnet. Alle dafür geltenden Gesetzmäßigkeiten sind ohne Einschränkung anwendbar.

Skalare Größen sind positiv oder negativ, wenn ihr Zahlenwert positiv oder negativ ist.

Ausnahmen: absolute Temperatur, Flächeninhalt, Volumen, Masse u. a. sind immer *positiv*.

G

1.6 Vektorielle Größen

Vektorielle Größen sind durch **Zahlenwert**, **Einheit** und **Richtung** vollständig bestimmt.

Beispiel:

Geschwindigkeit, Kraft, elektrische Feldstärke.

Als Formelzeichen vektorieller Größen verwendet man ebenfalls *kursive* kleine und große Buchstaben des lateinischen und des griechischen Alphabets.

Der vektorielle Charakter wird durch einen Pfeil über dem sonst üblichen Formelzeichen ausgedrückt: \vec{v} , \vec{F} , \vec{E} usw.

Beachte:

- Manchmal werden Vektoren in Büchern auch durch *Fettdruck* gekennzeichnet: v , F , E usw.
- Früher war die Kennzeichnung durch *Frakturbuchstaben* (deutsche Buchstaben) üblich: \mathfrak{v} , \mathfrak{F} , \mathfrak{E} ...

Spielt bei der Anwendung einer vektoriellen Größe \vec{A} ihre Richtung keine Rolle, benötigt man also nur Zahlenwert und Einheit, **Betrag** der Größe \vec{A} genannt, so schreibt man $|\vec{A}|$ oder kurz A .

Veranschaulicht wird eine vektorielle physikalische Größe durch eine Strecke mit bestimmter Länge und Richtung.

Freie Vektoren können parallel zu sich selbst (in der Ebene oder im Raum) verschoben werden. In der Physik sind Vektoren meist an ihre Wirkungslinie gebunden und nur längs dieser verschiebbar (**linienflüchtige Vektoren**). **Gebundene Vektoren** beginnen in einem bestimmten festen Punkt (z. B. im Koordinatenursprung) und können überhaupt nicht verschoben werden, z. B. **Ortsvektoren**. Für das Rechnen mit vektoriellen Größen gelten besondere Gesetzmäßigkeiten \rightarrow [1.7].

1.7 Rechnen mit vektoriellen Größen

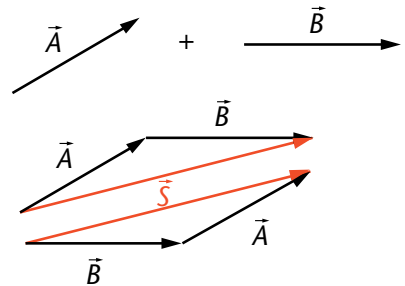
Es werden hier nur die wichtigsten Regeln für das Rechnen mit vektoriellen Größen angeführt. Sie reichen i. Allg. für den Umgang mit den Formeln dieses Buches aus. Weitere Angaben müssen jedoch entsprechenden Mathematikbüchern entnommen werden.

1.7.1 Summe vektorieller Größen

Bei dieser **geometrischen Addition** werden die beiden Vektoren unter Beibehaltung ihrer Richtung aneinander gereiht.

$$(G 1.1) \quad \vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A} = \vec{S}$$

Der Summenvektor \vec{S} verbindet den Anfang des ersten Vektors mit dem Ende des zweiten.

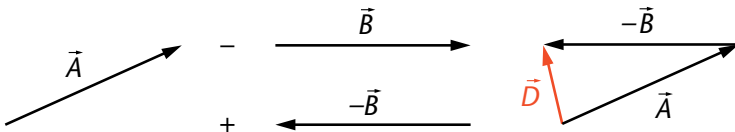


1.7.2 Differenz vektorieller Größen

Bei dieser **geometrischen Subtraktion** wird zunächst der Gegenvektor des Subtrahenden gebildet und dieser dann addiert.

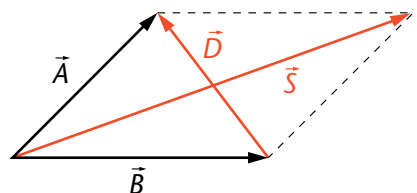
$$(G 1.2) \quad \vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B}) = \vec{D}$$

Der Differenzvektor \vec{D} verbindet den Anfang des ersten mit dem Ende des zweiten (Gegen-)Vektors.



Beachte:

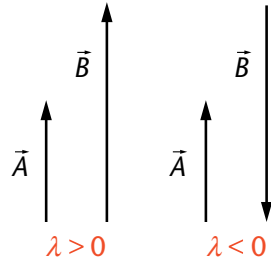
- Summen- und Differenzvektor bilden die beiden Diagonalen eines Vektorparallelogramms.



1.7.3 Produkt einer vektoriellen mit einer skalaren Größe

Die Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar ergibt ebenfalls einen Vektor gleicher oder entgegengesetzter Richtung.

$$(G 1.3) \quad \vec{B} = \lambda \vec{A} \quad \text{oder} \quad |\vec{B}| = |\lambda| |\vec{A}|$$



Beachte:

- Für $\lambda > 0$ hat \vec{B} die gleiche Richtung wie \vec{A} ;
für $\lambda < 0$ hat \vec{B} die Gegenrichtung von \vec{A} .

■ Nach (G 1.3) kann man zu jedem Vektor \vec{A} durch Multiplikation mit $\lambda = 1/A$ den **Einheitsvektor** \vec{A}^0 finden. \vec{A}^0 stimmt in der Richtung mit Vektor \vec{A} überein, besitzt jedoch den Betrag $|\vec{A}^0| = A^0 = 1$.

So lässt sich jeder Vektor darstellen als Produkt aus seinem Betrag und seinem Einheitsvektor.

$$(G 1.4) \quad \vec{A} = |\vec{A}| \vec{A}^0 = A \vec{A}^0$$

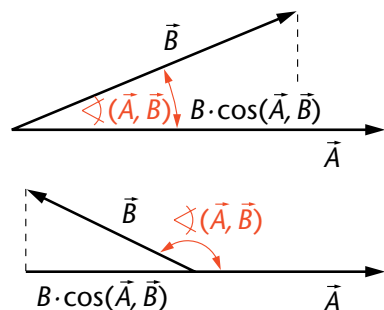
Setzt man in (G 1.3) $\lambda = 0$, so ergibt sich nach der Multiplikation mit \vec{A} : $\vec{B} = \vec{0}$.

$\vec{0}$ ist richtungslos und hat den Betrag $|\vec{0}| = 0$. Er wird als **Nullvektor** bezeichnet, bei ihm fallen Anfangs- und Endpunkt zusammen.

1.7.4 Skalarprodukt zweier vektorieller Größen

Unter dem skalaren Produkt zweier Vektoren versteht man das Produkt aus dem Betrag des einen Vektors mit dem Betrag der Projektion des anderen auf ihn.

Wenn \vec{A}, \vec{B} 2 Vektoren,
 (\vec{A}, \vec{B}) Winkel zwischen den Vektoren \vec{A} und \vec{B} ,



dann gilt für das skalare Produkt beider Vektoren

$$(G 1.5) \quad \vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos(\vec{A}, \vec{B})$$

Beachte:

- $\vec{A} \cdot \vec{B}$ (sprich: A Punkt B) heißt skalares Produkt, weil das Ergebnis ein Skalar ist.
- Das Ergebnis kann – abhängig vom Winkel – jeden Wert von $+AB$ bis $-AB$, auch null, besitzen.
- Das skalare Produkt wird häufig auch als inneres Produkt bezeichnet.
- Für das skalare Produkt des Vektors \vec{A} mit sich selbst folgt aus (G 1.5)

$$(G 1.6) \quad \boxed{\vec{A} \cdot \vec{A} = \vec{A}^2 = A^2}$$

1.7.5 Vektorprodukt zweier vektorieller Größen

Unter dem Vektorprodukt zweier Vektoren \vec{A} und \vec{B} versteht man den Vektor \vec{P} , der senkrecht auf einer Fläche eines von den Vektoren \vec{A} und \vec{B} gebildeten Parallelogramms steht und dessen Betrag gleich dem Flächeninhalt dieses Parallelogramms ist.

Wenn

\vec{A}, \vec{B} 2 Vektoren,

(\vec{A}, \vec{B}) Winkel zwischen den Vektoren \vec{A} und \vec{B} ,

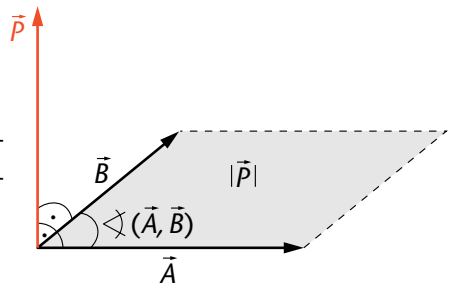
dann gilt für das Vektorprodukt zweier vektorieller Größen

$$(G 1.7) \quad \boxed{\vec{P} = \vec{A} \times \vec{B} = AB \sin(\vec{A}, \vec{B}) \vec{P}^0}$$

wobei $|\vec{P}| = P = AB \sin(\vec{A}, \vec{B})$,

$\vec{P} \perp \vec{A}$ und $\vec{P} \perp \vec{B}$

sowie \vec{A}, \vec{B} und \vec{P} in dieser Reihenfolge ein Rechtssystem bilden.

**Beachte:**

- $\vec{A} \times \vec{B}$ (sprich: A Kreuz B) heißt Vektorprodukt, weil das Ergebnis ein Vektor ist. Es wird häufig auch als vektorielles Produkt, Kreuzprodukt oder äußeres Produkt bezeichnet.

1.7.6 Komponentendarstellung vektorieller Größen

Wenn

\vec{A} Vektor im kartesischen (rechtwinkligen) Koordinatensystem,

$\vec{A}_x, \vec{A}_y, \vec{A}_z$ vektorielle Komponenten von \vec{A} ,

A_x, A_y, A_z Beträge (skalare Komponenten) von \vec{A} , auch als Koordinaten des Vektors \vec{A} bezeichnet,

\vec{i} Einheitsvektor in Richtung der x -Achse,

\vec{j} Einheitsvektor in Richtung der y -Achse,

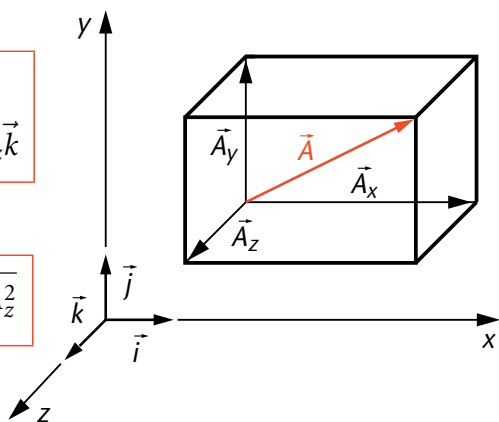
\vec{k} Einheitsvektor in Richtung der z -Achse,

dann gilt

$$(G 1.8) \quad \begin{aligned} \vec{A} &= \vec{A}_x + \vec{A}_y + \vec{A}_z \\ &= A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k} \end{aligned}$$

und für den Betrag des Vektors \vec{A}

$$(G 1.9) \quad A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$



Ortsvektor (Radiusvektor)

Der Ortsvektor \vec{r} bestimmt die Lage eines beliebigen Punktes P im Raum. Er reicht vom Koordinatenursprung bis zum Punkt P .

Wenn

\vec{r} Radiusvektor, Ortsvektor,

x, y, z Koordinaten des Punktes P ,

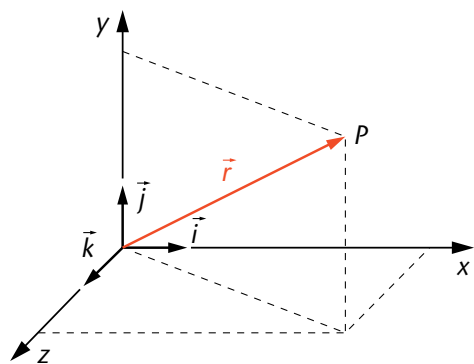
$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ Einheitsvektoren,

dann gilt für den Ortsvektor \vec{r} analog zu (G 1.8) und (G 1.9)

$$(G 1.10) \quad \vec{r} = \overrightarrow{OP} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

und für seinen Betrag $|\vec{r}|$

$$(G 1.11) \quad r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$



2 Gleichungen physikalischer Größen

Die Verknüpfung physikalischer Größen erfolgt mit mathematischen **Gleichungen** (allgemein „Formeln“ genannt). Es ist zwischen drei Arten zu unterscheiden:

- ▶ Größengleichungen → [2.1],
- ▶ zugeschnittene Größengleichungen → [2.2] und
- ▶ Zahlenwertgleichungen → [2.3].

2.1 Größengleichungen

Grundsätzlich sollten nur Größengleichungen verwendet werden. In ihnen stellt jedes Formelzeichen → [1.3] die Kurzbezeichnung einer physikalischen Größe dar, deren Wert das Produkt Zahlenwert \times Einheit ist. Größengleichungen sind deshalb **unabhängig von den benutzten Einheiten**. Es können alle Einheiten verwendet werden, ohne dass die Gültigkeit einer Größengleichung eingeschränkt wird. Auch in diesem Buch sind alle Gleichungen als Größengleichung geschrieben.

2.2 Zugeschnittene Größengleichungen

Muss häufig mit derselben Gleichung gerechnet werden oder enthält diese Konstanten oder Materialwerte, so ist es zweckmäßig, die Einheiten zusammenzufassen und auch die wiederkehrenden Zahlenwerte bereits auszurechnen. Natürlich können dann die Einheiten der restlichen Größen nicht mehr frei gewählt werden. Man erhält eine Größengleichung, die für den konkreten Fall „zugeschnitten“ ist. Die Angabe der Einheit erfolgt direkt am Formelzeichen unter einem (meist schrägen) Bruchstrich, z. B.

U/V Spannung in Volt,

$v / \frac{\text{km}}{\text{h}}$ Geschwindigkeit in Kilometer je Stunde, oder auch $\frac{v}{\text{km/h}}$,

P/W Leistung in Watt u. Ä.

Auch in zugeschnittenen Größengleichungen bedeutet jedes Formelzeichen eine physikalische Größe, deren Wert ebenfalls das Produkt aus Zahlenwert und Einheit ist. Nach dem Einsetzen eines Wertes lässt sich die Einheit kürzen.

Beispiel:

Für die Endgeschwindigkeit eines Elektrons im elektrischen Feld gilt nach [33.4.1]

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} \quad \text{mit } e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C und } m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg.}$$

Erweitert man die Größen mit den gewünschten Einheiten und setzt die gegebenen Konstanten ein, so erhält man

$$\frac{v}{\text{km/s}} \cdot \text{km/s} = \sqrt{0,352 \cdot 10^{12} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{U}}{\text{V}} \cdot \text{V.}}$$

Mit $\text{C} = \text{A} \cdot \text{s} = \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{V}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{V}}$ und $1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$ folgt nach Umstellung

$$\frac{v}{\text{km/s}} = \sqrt{0,352 \cdot 10^{12} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2 \cdot \text{V}}{\text{s}^2 \cdot \text{V} \cdot \text{kg} \cdot 10^6 \text{ m}^2} \cdot \frac{\text{U}}{\text{V}}.}$$

Kürzen führt zur zugeschnittenen Größengleichung

$$v / \frac{\text{km}}{\text{s}} = 593 \sqrt{U/V}.$$

Die *übersichtlichste* Schreibweise erhält man nach Umstellung

$$v = 593 \sqrt{U/V} \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Nach Einsetzen einer Spannung U in V(olt) ergibt sich mit dieser zugeschnittenen Größengleichung die Geschwindigkeit v direkt in km/s.

2.2.1 Tabellen

Zahlenangaben in Tabellen bilden zusammen mit den Angaben im Tabellenkopf ebenfalls eine zugeschnittene Größengleichung, denn Zahlenwerte haben natürlich nur bei gleichzeitiger Angabe der entsprechenden Einheit einen Sinn.

Beispiel:

Schallgeschwindigkeit	$c / \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Luft (0 °C)	332
Blei	1 200
Stahl	5 100
usw.	

A

- ABBE'sche Zahl 393, 658
- Abbildungsfehler 378
- Abbildungsgesetz 376
- Abbildungsgleichung 376
- Abbildungsmaßstab 376
- Aberration, chromatische 378
- abgeleitete Größenart 28
- Abklingkoeffizient 209, 533
- Abklingzeit 212
- Ablösearbeit 502, 525, 670
- absolute Feuchte 281
- Absorption 185, 331, 580
- Absorptionsgesetz 581
- Absorptionsgrad 331
- Absorptionsspektrum 391 f.
- Achse, freie 132
- , parallele 133
- Adhäsion 179
- Adhäsionskraft 179
- Adiabate 294
- Adiabatensexponent 266
- Adsorption 180
- Aggregatzustand 272
- Aggregatzustandsänderung 272
- Ähnlichkeitsgesetz 178
- Akkommodation 382
- Akkumulator 515
- Aktivität, optische 405
- , spezifische 579
- Akzeptor 507
- allgemeine Gaskonstante 260 f.
- α -Strahlung 573
- Ampere, Definition 419
- Amplitude 195
- Amplitudenverhältnis 211
- Analysator 402
- ANDREWS-Diagramm 284
- Anion 513
- anisotrop 403
- Anode 513
- Anodenstrom 527
- Anregung 568
- , elektrische 569
- , Foto- 569
- , thermische 569
- Anstieg 67
- Antibaryon 597
- Antineutrino 575
- Antiquark 596
- Antiteilchen 594
- Antrieb 121
- Antriebsmoment 142
- aperiodische Bewegung 213
- aperiodischer Grenzfall 213, 215
- Apertur, numerische 401
- Äquipartitionsprinzip 319
- Äquivalentdosis 586
- Äquivalentdosisleistung 587
- Äquivalenz von Energie und Masse 607
- Arbeit 109
- bei der Rotation 138
- , elektrische 432
- im Gravitationsfeld 147
- Archimedisches Prinzip 157
- arithmetischer Mittelwert 610
- astronomisches Fernrohr 386
- Asynchronmotor 484
- atomare Masseneinheit 550
- Atommasse 550
- , relative 550
- Atomradius 555
- Aufenthaltswahrscheinlichkeit 571
- Auflösungsgrenze 400
- des Auges 401
- des Fernrohres 401
- eines Mikroskops 401

- Auflösungsvermögen, des Auges 383
 – optischer Geräte 400
 Auftrieb 156
 – in Gasen 163
 Auftriebskraft 156
 Auge 382
 –, Auflösungsvermögen 383
 Ausbreitungsgeschwindigkeit 536
 Ausdehnung, der Gase 251
 – fester Körper 247
 – von Flüssigkeiten 250
 äußerer fotoelektrischer Effekt 526
 Ausfluss aus Gefäßen 164
 Ausflusszahl 165
 Auslenkung 195
 Auslöschung 239, 349, 395
 Ausschaltvorgang 469
 Ausstrahlung, spezifische 408
 Austrittsarbeit 502, 525
 AVOGADRO-Konstante 40, 312
 axialer Vektor 63
- B**
- Bahngeschwindigkeit 86, 557
 Bahngleichung des waagerechten Wurfs 83
 Bandenspektrum 392
 BARKHAUSEN-Gleichung 529
 Barometer 162
 barometrische Höhenformel 161
 Baryon 597
 Basis 509
 Basiseinheit 39
 Basisgrößenart 28
 Basisschaltung 510
 Basisstrom 510 f.
 Beamer 380
 Beleuchtungsstärke 415
 –, Messung 418
 –, natürliche 416
 Belichtung 416
 Belichtungszeitenreihe 382
 BERNOULLI, Gesetz von 167
 BERNOULLI'sche Gleichung 168
 Berührungsspannung 502
 Beschleunigung 198
 –, konstante 73
 –, mittlere 79
 Beschleunigungsarbeit 112, 116
 Bestrahlung 407
 Bestrahlungsstärke 408
 Bestrahlungsverfahren 593
 β -Strahlung 573
 β^+ -Strahlung 573
 Betatron 589
 β^+ -Zerfall 575
 Beugung 240, 396
 – am Doppelspalt 398
 – am engen Spalt 397
 – an kreisförmiger Öffnung 399
 Beugungsgitter 398
 Beugungsspektrum 399
 Beweglichkeit, von Ladungsträgern 499, 667
 Bewegung, aperiodische 213
 –, krummlinige 98
 –, Parallelogramm 82
 –, zusammengesetzte 82
 Bewegungsgröße 120
 Bezugsschalldruck 355
 Bezugsschallintensität 355
 Bild, reelles 367
 –, virtuelles 365
 Bildfeldwölbung 379
 Binnendruck 283
 bipolarer Transistor 509
 Bleiakkumulator 515
 Blende 381
 Blendenreihe 381
 Blendenzahl 381
 Blindleistung 494
 Blindwiderstand 486, 489
 BOHR'scher Radius 559
 BOHR'sches Postulat 556
 –, 1. 556
 –, 2. 557
 BOLTZMANN-Beziehung 310
 BOLTZMANN-Konstante 40, 313
 BOURDON'sche Röhre 160
 BOYLE-MARIOTTE, Gesetz von 159, 252

- BRAUN'sche Röhre 519
Brechung 239, 368
Brechungsgesetz 240, 368
Brechungswinkel 368
Brechwert 373
Brechzahl 368, 656
Bremsstrahlung 520, 570
Brennpunkt 365
Brennpunktstrahl 366, 375
Brennweite 365
Brennwert, spezifischer 269
BREWSTER'sches Gesetz 402
BRINELL-Verfahren 194
BROWN'sche Bewegung 183
- C**
- Candela 411
CARNOT-Prozess 303
CARNOT'scher Kreisprozess 302
ČERENKOV-Strahlung 348
charakteristische Strahlung 520, 570
Chemolumineszenz 389
chromatische Aberration 378
chromatische Tonleiter 339
COMPTON-Effekt 542, 580
COMPTON-Wellenlänge 544
CORIOLIS-Beschleunigung 129
CORIOLIS-Kraft 128 f.
COULOMB'sches Gesetz 446
CURIE-Temperatur 461, 666
- D**
- Dampf 278
–, gesättigter 278
–, überhitzter 279
–, ungesättigter 279
Dämpfung 208
Dämpfungskonstante 209
Dämpfungsverhältnis 211
Dauermagnetismus 451
Defektelektron 505
Dehnung 187
Dehnungsgröße 188
Dehnungszahl 188
Dekrement, logarithmisches 212
diamagnetisch 461
Diaskop 380
Dichroismus 404
Dichte 104, 617 f.
–, Berechnung 257
– des Wassers 632
– fester Körper 157
–, mittlere 105
–, Umrechnung 257
– von Flüssigkeiten 158
Dichteänderung 251
Dielektrikum 439, 442
Dielektrizitätskonstante 440
Differenzialflaschenzug 66
diffuse Strahlen 363
Dimension 30
Diode 508, 527
Dioptrie 374
Dipol 532
disperses System 184
Dispersion 393
–, Haupt- 658
Dissonanz 341
Dissoziation 513
divergente Strahlen 363
Donator 506
Doppel-T-Anker 481
DOPPLER-Effekt 345
Dosimetrie 584
Dosisgrenzwert 587
Dosisleistungskonstante 587, 693
Dotierung 506
Drall 141
Drehbewegung 87
Dreheiseninstrument 430
Drehfeld 484
Drehimpuls 141
Drehimpulserhaltungssatz 143
Drehimpulsquantenzahl 564
Drehmasse 132
Drehmoment 62
Drehmomentenstoß 142
Drehschwingung 202
Drehspulinstrument 430
Drehstrom 481
Drehstromgenerator 481

Drehstrommotor 484
 Drehung, spezifische 406
 Drehwinkel 88
 Drehzahl 89
 –, kritische 220
 –, mittlere 95
 Dreieckschaltung 481
 Dreiphasenstrom 481
 Dreipolröhre 528
 Driftgeschwindigkeit 501
 Drillung 192
 Drillwinkel 193
 dritte astronautische Geschwindigkeit 150
 drittes NEWTON'sches Axiom 104
 Drossel 518
 Druck, dynamischer 166
 –, hydrostatischer 155
 – in Flüssigkeiten 154
 – in Strömungen 166
 –, kritischer 284, 646
 –, statischer 166, 168
 Druckänderung 253
 Durchflussgleichung 166
 Durchflutung 454
 Durchflutungsgesetz 454
 Durchgriff 528
 Durchlassstrom 508
 Durchschnittsbeschleunigung 79
 Durchschnittsgeschwindigkeit 75 f., 78
 Durchschnittsleistung 118
 Durchschnittswinkelgeschwindigkeit 92 f.
 Durchstrahlungsverfahren 593
 Dynamik 101
 – der Drehbewegung 127
 –, Grundgesetz 102
 –, relativistische 604
 – starrer Körper 127
 dynamische Viskosität 171, 624 f.
 dynamischer Druck 166
 dynamisches Gleichgewicht 109
 dynamisches Grundgesetz, der Rotation 129
 Dynamometer 107

E

Ebene, geneigte 66
 ebullioskopische Konstante 276, 645
 echte Lösung 184
 Effekt, äußerer fotoelektrischer 526
 –, lichtelektrischer 542
 Effektivwert 485
 Eigendiffusion 184
 Eigenfrequenz 212
 Eigeninduktivität 467
 Eigenkreisfrequenz 531, 533
 Eigenleitung 504
 Einfallswinkel 364, 368
 eingeprägte Kraft 104
 Einschaltvorgang 469
 EINSTEIN'sche Gleichung 540
 Einzelmessung, Standardabweichung 610
 elastischer Stoß 122
 Elastizität 187
 Elastizitätsmodul 188, 627 f.
 elektrische Anregung 569
 elektrische Arbeit 432
 elektrische Elementarladung 420
 elektrische Energie 270
 elektrische Feldkonstante 439
 elektrische Feldstärke 435
 elektrische Flussdichte 438
 elektrische Kraftlinie 435
 elektrische Ladung 419, 434
 elektrische Leistung 433
 elektrische Leitfähigkeit 423
 elektrische Leitung 498
 elektrische Maschine 478
 elektrische Spannung 420
 elektrische Stromstärke 419
 elektrischer Leitwert 422
 elektrischer Widerstand 421
 elektrisches Feld 434
 –, Energie 447
 –, Kraftwirkung 446
 elektrisches Potenzial 436
 elektrisches Wärmeäquivalent 270
 elektrochemische Spannungsreihe 515, 669

- elektrochemisches Äquivalent 514, 669
 Elektrolumineszenz 389
 Elektrolyse 513
 Elektrolyt 513
 elektromagnetische Induktion 464
 elektromagnetische Schwingungen 530
 –, gedämpfte 533
 –, ungedämpfte 530
 elektromagnetische Wellen 534
 –, freie 536
 –, Spektrum 538
 Elektromagnetismus 452
 Elektrometer 434
 Elektron, freies 419, 520
 Elektronenanordnung 671 ff.
 Elektronenbewegung 523
 Elektronenemission 524
 –, thermische 525
 Elektronengas 501
 Elektronenmasse 522, 543, 559 f., 562
 Elektronenradius, klassischer 554
 Elektronenröhre 527
 Elektronvolt 436
 Elektrostriktion 362
 Element, galvanisches 515
 Elementarladung, elektrische 40, 420
 Elementarteilchen 594 f.
 –, zusammengesetzte 596
 Elongation 195, 197, 210, 217, 234
 Emission 332
 –, γ - 576
 –, induzierte 570
 –, spontane 569
 Emissionsgrad 332, 651 f.
 Emissionsspektrum 391
 Emitter 509
 Emitterschaltung 511
 Emitterstrom 510
 EMK 420
 Emulsion 186
 Endergebnis, Darstellung 615
 Energie 114
 – der Bewegung 116
 – des Feldes 447, 475
 –, elektrische 270
 –, innere 289, 320
 –, kinetische 116, 561
 –, kinetische, eines Moleküls 318
 –, mittlere kinetische 318
 –, potenzielle 114, 560
 –, wahrscheinlichste 318
 Energiebändermodell 500
 Energiedichte 241, 448, 476, 538
 Energiedosis 584
 Energiedosisleistung 584
 Energieerhaltungssatz der Mechanik 117
 Energie-Masse-Relation 540
 Energieniveau 500, 561
 Energiestrom 241
 Enthalpie 290
 Entladen 449
 Entladung 517
 –, selbstständige 518
 –, unselbstständige 517
 Entropie 307 f.
 – des idealen Gases 309
 – und Wahrscheinlichkeit 310
 Entropieänderung 308
 – des idealen Gases 310
 Entropiedifferenz 308
 Episkop 380
 Erdbeschleunigung 80, 103
 Erde, Magnetfeld 451
 Erdfernröhre 387
 Ersatzkraft 58
 Ersatzmasse 136
 Erstarren 272
 erste astronautische Geschwindigkeit 147
 erstes NEWTON'sches Axiom 101
 erzwungene Schwingungen 216
 Exzentrizität, numerische 151
- F**
- Führungskraft 104
 Fahrwiderstand 108

- Fahrwiderstandszahl 108
 Fall, freier 80
 Fallbeschleunigung 80, 103, 145
 FARADAY-Effekt 406
 FARADAY-Konstante 514
 FARADAY'sches Gesetz, 1. 514
 –, 2. 514
 Farben dünner Schichten 394
 Farbfehler 378
 Farbmischung 390
 –, additive 390
 –, subtraktive 391
 Farbtemperatur 335
 Federkonstante 106
 Federkraft 106
 Federschwingungen, lineare 201
 Federwaage 107
 Fehler, mittlerer (quadratischer) 610
 –, mittlerer, des Funktionswertes 613
 –, mittlerer, des Mittelwertes 611
 –, sphärischer 379
 –, systematischer 608
 –, zufälliger 608 f.
 Fehlerbegriff 608
 Fehlerfortpflanzung 612
 Fehlerfortpflanzungsgesetz, lineares 614
 –, quadratisches 613
 Fehlergrenze 614
 Fehlerrechnung 608
 Fehlerschätzung 615
 Feld, elektrisches 434
 –, elektrisches, Energie 447
 –, elektrisches, Kraftwirkung 446
 –, magnetisches 451
 –, magnetisches, Energie 475
 –, magnetisches, Kraftwirkung 469
 Feldeffekt-Transistor 512
 Feldkonstante, elektrische 439
 –, magnetische 457
 Feldlinie 435
 Feldstärke, elektrische 435
 –, magnetische 452
 Feldstecher 387
 Fernpunkt 382
 Fernrohr 386
 –, astronomisches 386
 –, Erd- 387
 –, GALILEI'sches 388
 –, holländisches 388
 –, KEPLER'sches 386
 –, terrestrisches 387
 ferromagnetisch 461
 feste Rolle 65
 fester Körper, Dichte 157
 Feuchte, absolute 281
 –, maximale 281
 –, relative 281
 Fläche, Einheit 54
 –, scheinbare 412
 Flächenänderung 248
 Flächenladungsdichte 438
 Flächenwellen 233
 Flankenkraft 67
 Flaschenzug 65
 Fliehkraft 128
 Fluchtgeschwindigkeit 149
 Fluidität 172
 Fluoreszenz 389
 Fluss, magnetischer 458
 Flussdichte, elektrische 438
 –, magnetische 457, 459
 Flüssigkeit, Dichte 158
 –, Druck 154
 –, ideale 164
 –, ruhende 153
 Flüssigkeitsschwingungen 206
 Flüssigkeitsthermometer 246
 Formelzeichen 29
 Fotoanregung 569
 Fotoapparat 381
 Fotodiode 509
 Fotoeffekt 580
 –, innerer 506
 fotoelektrischer Effekt, äußerer 526
 Fotoelement 509
 Fotoemission 526
 Fotometer 417
 Fotometrie 409
 fotometrisches Strahlungsäquivalent 40, 410

- FOURIER-Analyse 223
 FRAUNHOFER'sche Linien 392
 freie Achse 132
 freie Schwingungen 216
 freier Fall 80
 freier Vektor 63
 freies Elektron 419, 520
 Freiheitsgrad 319
 Fremddiffusion 184
 Frequenz 196, 225
 Frequenzbedingung 557
 Fundamentalschwingungen 230
 Funktionswert, Größtfehler 614
 –, Mittelwert 612
- G**
- GALILEI'sches Fernrohr 388
 GALILEI-Transformation 598
 galvanisches Element 515
 Galvanometer 430
 γ -Emission 576
 γ -Strahlung 573
 Gas, ideales 251
 –, ideales, Entropie 309
 –, ideales, Entropieänderung 310
 –, ideales, Zustandsgleichung 255
 –, reales 283
 –, reales, Zustandsgleichung 283
 –, ruhendes 159
 –, Verflüssigung 285
 Gasdichte 256
 Gasdruck 314
 Gasgemisch 258
 Gasgesetz 255
 Gaskonstante, allgemeine 260 f.
 –, mittlere 258
 –, spezielle 256, 631
 GAUSS'sche Normalverteilung 610
 gedämpfte Schwingungen 195, 208
 Gefälle 67
 Gefäß, Ausfluss 164
 –, verbundenes 153
 GEIGER-MÜLLER-Zählrohr 588
 gekoppelte Schwingungen 229
 Gel 186
 geneigte Ebene 66
 Generator 478
 Geräusch 336
 Gesamtdruck 169
 Gesamtlichtstrom 659 f.
 –, Messung 418
 Gesamtwirkungsgrad 120
 Geschwindigkeit 72, 198
 –, dritte astronautische 150
 –, erste astronautische 147
 –, kritische 176
 –, Mittelwert 317
 –, mittlere 75 f., 78
 –, mittlere quadratische 317
 –, wahrscheinlichste 316
 –, zweite astronautische 149
 Geschwindigkeitsgefälle 171
 Geschwindigkeitsgradient 171
 Gesetz, 1. FARADAY'sches 514
 –, 1. KIRCHHOFF'sches 427
 –, 2. FARADAY'sches 514
 –, 2. KIRCHHOFF'sches 426
 –, BREWSTER'sches 402
 –, COULOMB'sches 446
 –, HOOKE'sches 106, 188
 –, KIRCHHOFF'sches Strahlungs- 332
 –, OHM'sches 422
 –, POISSON'sches 295
 –, STOKES'sches 175
 –, Strahlungsgesetz von PLANCK 334
 –, Strahlungsgesetz von STEFAN und
 BOLTZMANN 333
 –, Verschiebungsgesetz von WIEN
 335
 – von BERNOULLI 167
 – von BOYLE-MARIOTTE 159, 252
 – von DALTON 280
 – von der Erhaltung der Energie
 116, 268
 – von der Erhaltung der Masse 607
 – von GAY-LUSSAC 253 f.
 – von HAGEN-POISEUILLE 174
 –, WIEDEMANN-FRANZ-LORENZ'sches
 327
 gesetzliche Einheit 42
 Gewicht 103
 –, spezifisches 105
 Gewichtskraft 68, 103, 143

- Gitterkonstante 398
 gleichförmige Rotation 90
 gleichförmige Translation 72
 Gleichgewicht 68
 –, dynamisches 109
 Gleichgewichtsart 70
 Gleichgewichtsbedingung 63
 gleichmäßig beschleunigte Rotation 90
 gleichmäßig beschleunigte Translation 73
 Gleichspannung, pulsierende 480
 Gleichstromgenerator 480
 Gleichstrommotor 483
 Gleichung physikalischer Größen 36
 Gleichverteilungssatz 319
 Gleitmodul 191
 Gleitreibung 107
 Glimmentladung 518
 Goldene Regel der Mechanik 64
 Grad Celsius 245
 Grad Fahrenheit 245
 Gravitation 143
 Gravitationsfeld 146
 –, Arbeit 147
 Gravitationsgesetz 144
 Grenzfall, aperiodischer 213, 215
 Grenzfrequenz 570
 Grenzwinkel 369, 657
 Größe, lichttechnische 409
 –, physikalische 28
 –, skalare 30
 –, strahlungsphysikalische 407
 –, vektorielle 31
 Größenart, abgeleitete 28
 Größengleichung 36
 –, zugeschnittene 36
 Größtfehler des Funktionswertes 614
 Grundfarbe 390
 Grundgesetz der Dynamik 102
 Gütefaktor 220
- H**
- Haarhygrometer 282
 Haarröhrchen 182
 Hadron 596
 Haftreibung 107
 HAGEN-POISEUILLE, Gesetz von 174
 Halbleiter 504
 Halbschatten 363
 Halbwertshöhe 161
 Halbwertsschicht 583
 Halbwertsschichtdicke 581, 692
 Halbwertszeit 212, 577, 689 f.
 HALL-Effekt 474
 HALL-Spannung 474
 Hangabtriebskraft 66
 harmonische Schwingungen 195
 harmonische Tonleiter 339
 Härte 193
 Härteskala nach MOHS 193
 Hauptdispersion 658
 Hauptebene 372, 377
 Hauptmaximum 397
 Hauptquantenzahl 564
 Hauptsatz, 1. 287
 –, 2. 306, 309
 Hauptschlussmaschine 481
 Hauptschlussmotor 484
 Hauptstrahl 366, 375
 Hauptträgheitsachse 132
 Hebel 64
 Hebelgesetz 64
 Hefnerkerze 411
 HEISENBERG'sche Unschärferelation 547
 Heizwert, spezifischer 269, 636
 Hellempfindlichkeitsgrad, spektraler 409
 Hitzdrahtinstrument 430
 Höhenformel, barometrische 161
 –, internationale 162
 Hohlspiegel 365
 holländisches Fernrohr 388
 HOOKE'sches Gesetz 106, 188
 HÖPPLER-Viskosimeter 175
 Hörbereich 336
 hören 357
 Hörfläche 357
 Hörschwelle 357
 Hubarbeit 111, 115

HUYGENS'sches Prinzip 232
 hydrostatische Waage 157
 hydrostatischer Druck 155
 Hyperfeinübergangsfrequenz 40
 Hyperschall 336
 Hysterese 462

I

ideale Flüssigkeit 164
 ideale Strömung 164
 ideales Gas 251
 –, Entropie 309
 –, Entropieänderung 310
 –, Zustandsgleichung 255
 Impuls 120
 –, relativistischer 606
 Impulserhaltungssatz 122
 Impulssatz 122
 Indikatormethode 593
 Induktion, elektromagnetische 464
 Induktionsgesetz 464
 induktiver Widerstand 486
 Induktivität 467
 –, Schaltung 468
 induzierte Emission 570
 Inertialsystem 598
 Influenz 434
 Infraschall 336
 Innenpolmaschine 480
 Innenwiderstand 424, 528
 innere Energie 289, 320
 innerer Spannungsabfall 425
 Intensität 242
 Intensitätsmaximum 397 f.
 Intensitätsminimum 397 f.
 Interferenz 238, 394
 internationale Höhenformel 162
 internationale Stimmung 340
 Internationales Einheitensystem 39
 Intervall 341
 Inversionstemperatur 286
 Ion 513
 Ionendosis 585
 Ionisationskammer 588
 Ionisierungsenergie 564

irreversibel 307
 irreversibler Prozess 306
 Isentrope 294, 296
 isentrope Volumenänderungsarbeit 296
 isentrope Zustandsänderung 294
 Isentropenexponent 266, 295
 Isobare 291, 549
 isobare Zustandsänderung 291
 isobares Nuklid 549
 isochore Zustandsänderung 290
 Isochromaten 404
 Isotherme 292
 isotherme Volumenänderungsarbeit 292
 isotherme Zustandsänderung 292
 Isotone 550
 isotones Nuklid 550
 Isotop 549, 674–688
 –, Halbwertszeit 689 f.
 –, Zerfallsenergie 689 f.
 isotopes Nuklid 549

J

JOULE-THOMSON-Effekt 286

K

Kalorimetergefäß 264
 Kältemaschine 305
 –, Leistungszahl 305
 –, Prinzip 306
 Kältemischung 275
 Kamera 381
 Kammerton 340
 Kanalstrahlen 520
 Kapazität 441
 kapazitiver Widerstand 488
 Kapillare 182
 Kapillarität 182
 Kathode 513
 Kathodenstrahlen 519
 Kation 513
 Keil 67
 Kelvin, Definition 281
 Kennlinie 511

- KEPLER'sches Fernrohr 386
 KEPLER'sches Gesetz, 1. 150
 –, 2. 150
 –, 3. 150
 Kernbindungsenergie 553
 Kernfusion 592
 Kernradius 555
 Kernreaktion 589
 Kernschatten 363
 Kernspurenemulsion 588
 Kernstrahlung 573
 Kernumwandlung, künstliche 589
 KERR-Effekt 403, 405
 Kettenreaktion 591
 Kilogramm, Definition 57
 Kinematik, relativistische 601
 kinematische Viskosität 172, 624 f.
 kinetische Energie 116, 318, 561
 – eines Moleküls 318
 –, mittlere 318
 Kippkante 70
 Kippmoment 70
 KIRCHHOFF'sches Gesetz, 1. 427
 –, 2. 426
 KIRCHHOFF'sches Strahlungsgesetz 332
 Klang 336
 klassischer Elektronenradius 554
 Klemmenspannung 425
 Knall 336
 Knotenpunktsatz 427
 Koerzitivfeldstärke 462
 Kohäsion 179
 Kohäsionskraft 179
 Kolbendruck 154
 Kollektor 481, 509
 Kollektorstrom 510
 Kolloid 185
 kolloiddisperses System 185
 kolloide Lösung 185
 Kommutator 480
 Komplementärfarbe 390
 Kompressibilität 191, 622
 Kompression 190
 Kompressionsmodul 190, 627 f.
 Kondensator 442
 –, Parallelschaltung 445
 –, Reihenschaltung 445
 Kondensieren 275
 Kondensor 380
 Konkavlinse 373
 Konkavspiegel 365
 Konsonanz 341
 Konstante, definierende 40
 kontinuierliches Spektrum 391
 Kontinuitätsgleichung 166
 Konvektion 324
 konvergente Strahlen 363
 Konvexlinse 372
 Konvexspiegel 367
 Konzentration 185
 Kopplungsgrad 231
 Korkenzieherregel 452
 Körper, schwarzer 332
 Körperfarbe 391
 korpuskulardisperses System 185
 Kovolumen 283
 Kraft 102
 –, eingeprägte 104
 –, parallele 60
 –, relativistische 606
 –, Zusammensetzen 58
 Krafteck 59
 Kräftepaar 62
 Kräftepolygon 59
 Kräftezug 59
 Kraftgesetz, lineares 200
 Kraftlinie, elektrische 435
 Kraftmesser 107
 Kraftstoß 120
 Kraftwirkung, im Feld 446, 469
 Kreisbahngeschwindigkeit 147
 Kreisfrequenz 196, 479
 Kreisprozess 301
 –, CARNOT'scher 302
 Kriechfall 213, 215
 kritische Drehzahl 220
 kritische Geschwindigkeit 176
 kritische Masse 591
 kritische Temperatur 646
 kritischer Druck 646

- krummlinige Bewegung 98
kryoskopische Konstante 273, 645
Kupplungsvorgang 143
Kurven gleicher Lautstärke 359
Kurzsichtigkeit 383
- L**
- Laden 449
Ladung, elektrische 419, 434
Ladungsdichte, räumliche 499
Ladungsträger 499
Lageenergie 114
LAMBERT-Strahler 411
laminare Strömung 170, 172, 175
Länge, Einheit 53
Längenänderung 247
Längenausdehnungskoeffizient 248, 628 f.
Längenkontraktion 602
Längswellen 233
Läufer 480
Lautstärke, Kurven gleicher 359
Lautstärkepegel 358, 655
Lebensdauer, mittlere 577
Leistung 117, 242
– bei der Rotation 139
–, elektrische 433
–, mittlere 118
Leistungsfaktor 494
Leistungszahl, der Kältemaschine 305
– der Wärmepumpe 306
Leiter, metallischer 501
Leiterspannung 482
Leiterstrom 482
Leitungsband 501
LENZ'sche Regel 464
Lepton 595
Leuchtdichte 412
Leuchtdiode 509
Licht, Zerlegung 388
Lichtausbeute 410, 659 f.
Lichtausbreitung 363
Lichtausstrahlung, spezifische 414
lichtelektrischer Effekt 542
Lichtgeschwindigkeit 363, 655
Lichtmenge 414
Lichtquant 540
Lichtquelle 388
Lichtstärke 410
–, Messung 417
Lichtstärkeverteilungskurve 411
Lichtstrom 413
lichttechnische Größen 409
Lichtzerlegung 389
lineare Federschwingungen 201
lineare Sinuswelle 234
lineare Wellen 233
lineares Fehlerfortpflanzungsgesetz 614
lineares Kraftgesetz 200
Linienspektrum 391
Linke-Hand-Regel 471
Linse 372
–, asphärische 378
–, dicke 377
–, dünne 372, 374 f.
–, sphärische 372
Linsenart 372, 374
LISSAJOUS-Figur 226
Lithium-Ionen-Akkumulator 517
logarithmisches Dekrement 212
longitudinale Wellen 233
LORENTZ-Kraft 469, 474
LORENTZ-Transformation 600
LORENZ-Konstante 327
LOSCHMIDT-Konstante 312
lose Rolle 65
Lösung 184
–, echte 184
–, kolloide 185
Lösungswärme 275
Luftdichte 631
Luftdruck 160, 623
Luftdruckmessung 162
Luftfeuchtigkeit 281
–, Messung 282
Luftsäule, schwingende 338
Lumineszenz 388
Lupe 384
Luxmeter 418

M

- MACH'scher Kegel 347
 MACH-Zahl 347
 Magnetfeld, der Erde 451
 magnetische Feldkonstante 457
 magnetische Feldstärke 452
 magnetische Flussdichte 457, 459
 magnetische Polarisierung 459
 magnetische Quantenzahl 565
 magnetische Spannung 455
 magnetische Suszeptibilität 460
 magnetischer Fluss 458
 magnetischer Nordpol 451
 magnetischer Südpol 451
 magnetisches Feld 451
 –, Energie 475
 –, Kraftwirkung 469
 Magnetisierung 460
 Magnetisierungskurve 461
 Magnetismus, permanenter 451
 Magnetorotation 406
 Magnetostriktion 362, 463
 Majoritätsträger 507
 Mangelhalbleiter 507
 Manometer 160
 Markierungsverfahren 593
 Masche 426
 Maschensatz 426
 Maschine, thermische 304
 Masse 101
 – der Erde 151
 – der Sonne 151
 – des Mondes 151
 – eines Moleküls 313
 –, Einheit 57
 –, kritische 591
 –, molare 260
 –, reduzierte 136
 –, relativistische 605
 Massenanziehung 143
 Massendefekt 552
 Masseneinheit, atomare 550
 Massenkonzentration 185
 Massenmittelpunkt 68
 Massenschwächungskoeffizient 582
 Massenzuwachs, relativistischer 102
 Materiewelle 544
 Materiewellenlänge 544
 mathematisches Pendel 203
 maximale Feuchte 281
 MAXWELL, Verteilungsgesetz nach 316
 Mechanik, relativistische 598
 mechanisches Wärmeäquivalent 271
 Meson 596
 Messabweichung 608
 Messbrücke 429
 Messreihe, Mittelwert 609
 Messung der Motorleistung 140
 Messunsicherheit 608
 metallischer Leiter 501
 Metallthermometer 247
 metastabiler Zustand 569
 Meter, Definition 53
 Mikroskop 385
 Minoritätsträger 507
 Mischungsregel, RICHMANN'sche 267
 Mittelpunktstrahl 366, 375
 Mittelwert, arithmetischer 610
 – der Messreihe 609
 – des Funktionswertes 612
 –, Standardabweichung 611
 mittlere Gaskonstante 258
 mittlere Lebensdauer 577
 mittlere Stoßzahl 321
 Moderator 592
 Mol 259
 molare Masse 260
 molares Normvolumen 260
 molares Volumen 260
 Molekül, kinetische Energie 318
 –, Masse 313
 molekulardisperses System 184
 Molekularkraft 179
 Momentanbeschleunigung 78
 Momentangeschwindigkeit 77, 79, 84
 Momentanleistung 118
 Momentanspannung 479, 531
 Momentanstrom 531

Momentensatz 68
Motor 482
Motorleistung, Messung 140
Multiplikationsfaktor 591

N

Nachtsehen 383
Nahpunkt 382
Nebelkammer, WILSON'sche 588
Nebenmaximum 397
Nebenquantenzahl 564
Nebenschlussmaschine 481
Nebenschlussmotor 484
negative Vorspannung 528
Neigung 67
Neue Kerze 411
Neukurve 462
Newton, Definition 102
NEWTON'sche Ringe 395
NEWTON'sches Axiom, 1. 101
–, 2. 101
–, 3. 104
Nickel-Cadmium-Akkumulator 516
Nickel-Metallhydrid-Akkumulator 517
NICOL'sches Prisma 404
n-Leiter 507
n-Leitung 506
Nordpol, magnetischer 451
Normalbeleuchtungsstärke 416
Normalbeschleunigung 99
Normalkraft 66
Normalspektrum 399
Normalvergrößerung 385, 387
Normalverteilung 610
Normdichte 105, 256 f., 619
Normfallbeschleunigung 103
Normort 103
Normstimmton 340
Normvolumen 258
–, molares 260
Normzustand 105, 258
Nuklid, isobares 549
–, isotones 550
–, isotopes 549
–, radioaktives 593

Nullleiterstrom 482
Nullphasenwinkel 196 f.
Nullpunkt, absoluter 245
Nullvektor 33
numerische Apertur 401
numerische Exzentrizität 151

O

Oberflächenenergie 180
Oberflächenenergiedichte 180
Oberflächenspannung 180, 626
Objektiv 385 f.
offener Schwingkreis 532
Öffnung, relative 381
Öffnungsverhältnis 381
Öffnungszahl 381
Ohm, Definition 422
ohmscher Wirkwiderstand 486
OHM'sches Gesetz 422
Okular 385 f.
optische Aktivität 405
optische Geräte 379
–, Auflösungsvermögen 400
Orbital 572
Ortsvektor 35
Osmose 184
Oxidation 269

P

Paarbildung 581, 594
Paarvernichtung 594
Parabolspiegel 365
parallele Achse 133
parallele Kräfte 60
Parallelogramm der Bewegungen 82
Parallelschaltung 428
– von Kondensatoren 445
Parallelstrahl 366, 375
Parallelverschiebung 370
paramagnetisch 461
Partialdruck 279
PAULI-Prinzip 567
PELTIER-Effekt 503
Pendel, mathematisches 203
–, physisches 204

Pendellänge, reduzierte 205
Pendelschwingungen 203
Periodendauer 89, 195, 225
permanenter Magnetismus 451
Permeabilitätszahl 459, 664 ff.
Permittivität 440
Permittivitätszahl 440, 663
Perpetuum mobile 287
– 2. Art 306
Phase 481
Phasengeschwindigkeit 235
Phasenkonstante 196 f.
Phasensprung 236
Phasenverschiebung 486
Phasenwinkel 196
Phon 358
Phosphoreszenz 389
Photon 541
physikalische Größe 28
–, Gleichungen 36
physikalische Stimmung 340
physisches Pendel 204
PITOT-Rohr 169
PLANCK'sches Wirkungsquantum
40, 540
planparallele Platte 370
Plasma 518
p-Leiter 507
p-Leitung 507
pn-Übergang 507
POISSON'sche Gleichungen 295
POISSON'sche Isentropengleichung
296
POISSON-Zahl 189, 627 f.
Polarisation 401, 439, 515
– durch Doppelbrechung 403
– durch Reflexion 402
–, magnetische 459
Polarisationsfolie 404
Polarisationswinkel 402, 657
Polarisator 402
Polytrope 297
polytrope Zustandsänderung 297
Polytropenexponent 297
Positron 573
Potenzial, elektrisches 436

potenzielle Energie 114, 560
PRANDTL'sches Staurohr 169
Presse, hydraulische 154
Primärelement 515
Prinzip von D'ALEMBERT 109
Prisma 371
Prismenfernglas 387
Projektor 379
Prozess, irreversibler 306
–, reversibler 306
Psychrometer 282
pulsierende Gleichspannung 480
Pyrometer 335

Q

quadratisches Fehlerfortpflanzungs-
gesetz 613
Qualitätsfaktor 586
Quant 540
Quantenbedingung 557
Quantenzahl 564
–, magnetische 565
Quark 594 ff.
Quellenspannung 420, 425
Querwellen 232

R

Radialbeschleunigung 99
radioaktive Umwandlung 573
radioaktives Nuklid 593
Radiocarbonatierung 579, 593
Radius, BOHR'scher 559
Radiusvektor 35
Randwinkel 182
räumliche Ladungsdichte 499
Raumwellen 233
Raumwinkel 413
Reaktionskraft 104
Reaktionsprinzip 104
reales Gas 283
–, Zustandsgleichung 283
Rechte-Hand-Regel 465
reduzierte Masse 136
reduzierte Pendellänge 205
reduzierte Wärmemenge 307

- reelles Bild 367
 Reflexion 239, 364
 Reflexionsgesetz 239, 364
 Reflexionsgrad 331
 Reflexionswinkel 364
 Regelstab 592
 Reibung, innere 170
 Reibungsarbeit 112
 Reibungskraft 107
 Reibungszahl 620 f.
 Reichweite 583, 692
 Reihenschaltung 427
 – von Kondensatoren 445
 Reizschwelle 357
 Rekombination 505
 relative Atommasse 550
 relative Feuchte 281
 relative Öffnung 381
 relativistische Dynamik 604
 relativistische Kinematik 601
 relativistische Kraft 606
 relativistische Masse 605
 relativistische Mechanik 598
 relativistischer Impuls 606
 relativistischer Massenzuwachs 102
 Remanenz 462
 Resonanz 218, 492
 Resonanzamplitude 219
 Resonanzfall 218
 Resonanzkatastrophe 220
 Resonanzkreisfrequenz 219
 Resonanzkurve 218
 Resonanzüberhöhung 220
 Resultierende 58
 reversibel 306
 reversibler Prozess 306
 Reversionspendel 205
 REYNOLDS'sche Zahl 177
 REYNOLDS'sches Ähnlichkeitsgesetz 177
 reziproke Sekunde 90
 RICHARDSON'sche Gleichung 525
 RICHMANN'sche Mischungsregel 267
 Richtgröße 106, 200
 ROCKWELL-Verfahren 194
 Rolle, feste 65
 –, lose 65
 Rollreibung 107
 Röntgenstrahlung 520, 570
 Rotation 87
 –, Arbeit 138
 –, dynamisches Grundgesetz 129
 –, gleichförmige 90
 –, gleichmäßig beschleunigte 90
 –, Leistung 139
 –, Trägheitskraft 128
 –, ungleichmäßig beschleunigte 94
 Rotationsenergie 140
 Rotor 480
 Rückkopplung 532
 Rücksteldrehmoment 202
 Rückstellkraft 199
 ruhende Flüssigkeit 153
 ruhendes Gas 159
 RYDBERG-Frequenz 562
 RYDBERG-Konstante 562
- ## S
- Saite, schwingende 337
 Sammellinse 372
 Sättigungsdampfdruck 279
 Sättigungsdruck 644
 Sättigungsmenge 279, 281, 644
 Sättigungsstrom 518
 Satz von STEINER 136
 Schalenmodell 556
 Schallausbreitung 343
 Schalldämmmaß 357, 654
 Schalldruck 352
 –, Effektivwert 353
 Schalldruckpegel 355
 Schallerzeugung 336
 Schallfeldgröße 351
 Schallgeschwindigkeit 343, 653 f.
 – in Festkörpern 343
 – in Flüssigkeiten 343
 – in Gasen 344
 – in Luft 344
 Schallimpedanz, spezifische 353
 Schallintensität 353

- Schallintensitätspegel 354
Schallmauer 347
Schallmessung 351
Schallpegel 354, 360
–, relativer 357
Schallquelle 337
Schallschnelle 351
Schallstärke 353, 361
Schallwellen, Überlagerung 349
Schaltung, von Induktivitäten 468
– von Widerständen 427
Schaum 186
scheinbare Fläche 412
Scheinkraft 108
Scheinleistung 495
Scheinwiderstand 486, 490
Scheitelspannung 479
Scherung 191
Schiebung 192
Schlupf 484
Schmelzen 272
Schmelzpunkt 273
– von Legierungen 273
Schmelztemperatur 637 ff.
Schmelzwärme 274
–, spezifische 275, 637 ff.
Schmerzgrenze 358
Schraube 67
SCHRÖDINGER-Gleichung 572
Schubkoeffizient 192
Schubmodul 192, 627 f.
Schubspannung 192
Schubwinkel 191
Schubzahl 192
Schwächungskoeffizient 691 f.
–, linearer 581
schwarzer Körper 332
Schwebung 223, 230, 349
–, unreine 225
Schwebungsdauer 224
Schwebungsfrequenz 224
Schwellenwert 357
Schwere 102
Schwerebeschleunigung 80, 103
Schweredruck 155
Schwerkraft 143
Schwerpunkt 68
– einer Fläche 69
– einer Linie 69
– eines homogenen Körpers 69
Schwindmaß 274
schwingende Luftsäule 338
schwingende Saite 337
Schwingkreis 530
–, offener 532
Schwingungen, elektromagnetische 530
–, elektromagnetische, gedämpfte 533
–, elektromagnetische, ungedämpfte 530
–, erzwungene 216
–, freie 216
–, gedämpfte 195, 208
–, gekoppelte 229
–, harmonische 195
–, Überlagerung 221
–, ungedämpfte 195
–, ungedämpfte harmonische 200
– zirkulare 227
Schwingungsdauer 195
Schwingungsenergie 206
Schwingungsgleichung 200, 209, 216
–, THOMSON'sche 531
Schwingungsmittelpunkt 205
Schwungmoment 137
Sehwinkel 383
Sekundärelement 515
Sekundäremission 527
Sekunde, reziproke 90
Selbstdiffusion 184
Selbstinduktion 466
Selbstinduktionskoeffizient 467
Sicherheit, statistische 611
Siebkreis 493
Siedepunkt 276
– von Lösungen 276
Siedetemperatur 640 ff.
– des Wassers 643
SI-Einheit, abgeleitete 40
–, dezimale Vielfache und Teile 41
SIEMENS'sches Prinzip 481

- SI-fremde Einheit 41
Sinuswelle, lineare 234
skalare Größe 30
Skalarprodukt 33
Sol 186
Solarkonstante 268
Sonnenenergie 268
Sonnensystem, Daten 151
Spannarbeit 114
Spannung, magnetische 455
Spannungsabfall 421
–, innerer 425
Spannungsdoppelbrechung 404
Spannungsenergie 114
Spannungsmesser 431
Spannungsoptik 404
Spannungsresonanzkreis 493
Spannungsteiler 429
Spannungsverstärkung 529
Spektralanalyse 392
spektraler Hellempfindlichkeitsgrad 409
Spektralfarbe 389
Spektrum 389, 391
– elektromagnetischer Wellen 538
–, kontinuierliches 391
Sperrkreis 493
Sperrstrom 508
spezielle Gaskonstante 256, 631
spezifische Aktivität 579
spezifische Ausstrahlung 408
spezifische Drehung 406
spezifische Lichtausstrahlung 414
spezifische Schallimpedanz 353
spezifische Schmelzwärme 275, 637 ff.
spezifische Verdampfungswärme 277, 640 ff.
spezifische Wärmekapazität 262, 265, 320, 632–635
spezifischer Brennwert 269
spezifischer elektrischer Widerstand 423, 661
spezifischer Heizwert 269, 636
spezifischer Wärmewiderstand 326
spezifisches Gewicht 105
spezifisches Volumen 260
sphärische Linse 372
sphärischer Fehler 379
Spiegel, ebener 365
–, sphärischer 365
Spinquantenzahl 566
Spitzenentladung 441
spontane Emission 569
Sprungtemperatur 502, 668
Stabmagnet 451
Standardabweichung, der Einzelmessung 610
– des Mittelwertes 611
Standfestigkeit 70
Standmoment 70
statischer Druck 166, 168
statistische Sicherheit 611
Stator 480
Staudruck 166, 169
STEFAN-BOLTZMANN-Konstante 333
stehende Wellen 236
Steighöhe 87
Steigung 67
Steigzeit 86
Steilheit 528
Steradian 413
Sternschaltung 482
Steurgitter 528
Stimmung, internationale 340
–, physikalische 340
Stoßzahl, mittlere 321
Stoffgemisch 265
Stoffmengenkonzentration 185
STOKES'sches Gesetz 175
Störleitung 506
Stoß 120
–, elastischer 122
–, teilelastischer 125
–, unelastischer 124
Stoßionisation 518
Stoßmittelpunkt 205
Stoßzahl 126, 622
Strahldichte 408
Strahlen, diffuse 363
–, divergente 363
–, konvergente 363

Strahlennachweis 588
Strahlenoptik 363
Strahlenschutz 587
Strahlstärke 408
Strahlung, α - 573
–, β - 573
–, β^+ - 573
–, charakteristische 520, 570
–, γ - 573
Strahlungsäquivalent, fotometrisches 40, 410
Strahlungsdruck 542
Strahlungsemission 568
Strahlungsfluss 407
Strahlungsgesetz, KIRCHHOFF'sches 332
– von PLANCK 334
– von STEFAN und BOLTZMANN 333
strahlungsphysikalische Größen 407
Strahlungspyrometer 247
Strahlungsquant 540
Strang 481
Strangspannung 482
Streuung 610
Stromleitung, durch Festkörper 500
– im Vakuum 520
– in Flüssigkeiten 513
– in Gasen 517
Stromlinie 164
Strommesser 430
Stromresonanzkreis 493
Stromrichtung, technische 420
Stromstärke 419
Strömung 164
–, Druck 166
–, ideale 164
–, laminare 170, 172, 175
–, reibungsfreie 164
–, stationäre 164
–, turbulente 176
Strömungsfeld 164
Strömungsleistung 177
Strömungswiderstand 176
Stromverstärkungsfaktor 510 f.
Stromverzweigung 427
Sublimieren 278

Südpol, magnetischer 451
Supraleitung 423, 502
Suspension 186
Synchronmotor 483
Synchro-Phasotron 589
Synchro-Zyklotron 589
System, disperses 184
–, kolloiddisperses 185
–, korpuskulardisperses 185
–, molekulardisperses 184
Systeme dünner Linsen 375
systematischer Fehler 608
Szintillationszähler 588

T

Tagsehen 383
Taupunkt 282
Taupunktmesser 282
technische Stromrichtung 420
Teilchenbeschleuniger 589
teilelastischer Stoß 125
Temperatur 244
–, kritische 284, 646
Temperaturdifferenz 246
Temperaturkoeffizient 424, 662
Temperaturskala 245
Temperaturstrahler 388
Temperaturstrahlung 331
temperierte chromatische Tonleiter 340
Termschema 500, 568
terrestrisches Fernrohr 387
thermische Anregung 569
thermische Elektronenemission 525
thermische Maschine 304
thermischer Wirkungsgrad, des CARNOT-Prozesses 304
– von Wärmekraftmaschinen 303
Thermoelektrizität 502
Thermoelement 247
Thermometer 246
Thermospannung 502
Thermostrom 502
THOMSON'sche Schwingungsgleichung 531

- Ton 336
 Tonleiter, chromatische 339
 –, harmonische 339
 –, temperierte chromatische 340
 Torsion 192
 Torsionsmodul 191
 Totalreflexion 369
 Trägheit 101
 Trägheitskraft 108
 – bei der Rotation 128
 Trägheitsmoment 131
 Trägheitsradius 137
 Transformator 496
 Transistor, bipolarer 509
 –, unipolarer 512
 Translation 71
 –, gleichförmige 72
 –, gleichmäßig beschleunigte 73
 –, ungleichmäßig beschleunigte 77
 Transmissionsgrad 331
 transversale Wellen 232
 Triode 528
 Tripelpunkt 280
 Trommelanker 481
 TSCHERENKOW-Strahlung 348
 turbulente Strömung 176
- U**
- Überdruck 160
 Überlagerung, von Schallwellen 349
 – von Schwingungen 221
 – von Wellen 238
 Überschallknall 347
 Überschusshalbleiter 507
 Uhrenparadoxon 602
 ULBRICHT'sche Fotometerkugel 418
 Ultraschall 336, 361
 –, Ausbreitung 361
 –, Erzeugung 362
 Umdrehungsfrequenz 89
 Umfangsbewegung 97
 Umlauffrequenz 89, 558
 Umwandlung, radioaktive 573
 unelastischer Stoß 124
 ungedämpfte harmonische Schwin-
 gungen 200
 ungedämpfte Schwingungen 195
 ungleichmäßig beschleunigte
 Rotation 94
 ungleichmäßig beschleunigte
 Translation 77
 unipolarer Transistor 512
 Universalmotor 483
 Unschärferelation 547
 Uranspaltung 590
 Urmeter 53
 Ursprung 420, 425
- V**
- Valenzband 501
 VAN-DER-WAALS-Konstante 645
 VAN-DER-WAALS'sche Zustandsglei-
 chung 284
 Vektor, axialer 63
 – der Momentangeschwindigkeit 84
 –, freier 63
 –, linienflüchtiger 58
 vektorielle Größe 31
 Vektorprodukt 34
 VENTURI-Rohr 169
 verbotene Zone 500
 Verbrennungsenergie 269
 Verbrennungswärme 269
 Verdampfen 275
 Verdampfungswärme 277
 –, spezifische 277, 640 ff.
 Verdichtung 233
 Verdrängungsarbeit 290
 Verdünnung 233
 Verdunsten 278
 Verformungsarbeit 113, 115, 125
 Vergrößerung 383
 Verlustwinkel 492
 Vermehrungsfaktor 591
 Verschiebungsgesetz von WIEN 335
 Verstärkung 349, 395
 Verstärkungsfaktor, maximaler 529
 Verteilungsgesetz nach MAXWELL
 316
 Vertrauensbereich 612
 Vertrauensniveau 611

Verzeichnung 379
 Verzögerung 74
 Vickers-Verfahren 194
 Videoprojektor 380
 virtuelles Bild 365
 Viskosität, dynamische 171, 624 f.
 –, kinematische 172, 624 f.
 Volt, Definition 421
 Volumen, Einheit 55
 –, kritisches 284
 –, molares 260
 –, spezifisches 260
 Volumenänderung 249 ff., 274, 276
 Volumenänderungsarbeit 288
 –, isentrope 296
 –, isotherme 292
 Volumenausdehnungskoeffizient 630
 Volumenausdehnungskoeffizient 250
 Volumenstrom 165, 170
 Vorspannung, negative 528
 Vorzeichenkonvention 288

W

Waage, hydrostatische 157
 Wärmeäquivalent, elektrisches 270
 –, mechanisches 271
 Wärmedurchgang 328
 Wärmedurchgangskoeffizient 329, 650
 Wärmeenergie 262
 Wärmehalt 263
 Wärmekapazität 263
 –, spezifische 262, 265, 320, 632–635
 Wärmekraftmaschine, Prinzip 306
 –, thermischer Wirkungsgrad 303
 Wärmeleitfähigkeit 325, 647 f.
 Wärmeleitung 324
 Wärmeleitwert 326
 Wärmemenge 262
 –, reduzierte 307
 Wärmemischung 267
 Wärmepumpe 305
 –, Leistungszahl 306

Wärmequelle 268
 Wärmestrahlung 332
 Wärmestrom 325
 Wärmeströmung 324
 Wärmetransport 324
 Wärmeübergang 327
 Wärmeübergangskoeffizient 328, 649
 Wärmewiderstand 326
 –, spezifischer 326
 Wasserstoffatom 557
 Wasserwert 264
 Wechselspannung 479
 Wechselstrom 479
 Wechselstromgenerator 478
 Wechselstromkreis 485
 Wechselstromleistung 493
 Wechselstrommotor 483
 Wechselstromwiderstand 486
 Wechselwirkungsprinzip 104
 Weglänge, mittlere freie 322 f.
 WEISS-Bezirk 462
 Weitsichtigkeit 382
 Wellen, elektromagnetische 534
 –, elektromagnetische, freie 536
 –, elektromagnetische, Spektrum 538
 –, Flächen- 233
 –, Längs- 233
 –, lineare 233
 –, longitudinale 233
 –, Quer- 232
 –, Raum- 233
 –, stehende 236
 –, transversale 232
 –, Überlagerung 238
 Wellenart 232
 Wellenbauch 237
 Wellenfront 233
 Wellenfunktion 572
 Wellengleichung 234, 572
 Wellenknoten 237
 Wellenlänge 233, 658
 Wellenoptik 394
 Wellenstrahl 233
 Wellenwiderstand 243, 353, 535, 537

- Wellenzahl 562
 WHEATSTONE'sche Messbrücke 429
 Wichte 105
 Widerstand, elektrischer 421
 –, induktiver 486
 –, Innen- 424, 528
 –, kapazitiver 488
 –, Schaltung 427
 –, spezifischer elektrischer 423, 661
 Widerstandsbeiwert 176, 625
 Widerstandsthermometer 247
 WIEDEMANN-FRANZ-LORENZ'sches
 Gesetz 327
 WIEN-Konstante 335
 WILSON'sche Nebelkammer 588
 Windungszahlverhältnis 496
 Winkel, Einheit 55
 Winkelbeschleunigung 91
 –, mittlere 96
 –, momentane 95 f.
 Winkelfrequenz 196
 Winkelgeschwindigkeit 90
 –, mittlere 92 f., 95
 –, momentane 94
 Winkelhebel 64
 Winkelrichtgröße 202
 Winkelverzögerung 91
 Wirkleistung 493
 Wirkung 119
 Wirkungsgrad 119
 – des CARNOT-Prozesses 304
 – von Wärmekraftmaschinen 303
 Wirkungsquantum, PLANCK'sches
 40, 540
 Wirkungssphäre 179
 Wirkwiderstand 486
 Wölbspiegel 367
 Wurf, nach oben 81
 – nach unten 81
 –, schräger 85
 –, schräger, Bahngleichung 85
 –, senkrechter 81
 –, waagerechter 83
 –, waagerechter, Bahngleichung 83
 Wurfweite, maximale 87
 Wurfzeit 87
- Z**
- Zähigkeit 171
 Zahlenwertgleichung 38
 Zählrohr, GEIGER-MÜLLER- 588
 Zehntelwertdicke 582
 Zeigerdiagramm 222, 487
 Zeit, Einheit 56
 Zeitdilatation 601
 Zentrifugalkraft 127 f.
 Zentripetalkraft 127
 Zerfall, radioaktiver 573
 Zerfallsenergie 575, 689 f.
 Zerfallsgesetz 576
 Zerfallskonstante 576
 Zerfallsreihe 579
 Zerlegung des Lichts 388
 Zerstrahlung 594
 Zerstreulinse 373
 Zerstreupunkt 367
 zirkulare Schwingungen 227
 zufälliger Fehler 608
 zusammengesetzte Bewegung 82
 Zusammensetzen von Kräften 58
 Zustand, metastabiler 569
 Zustandsänderung, isentrope 294
 –, isobare 291
 –, isochore 290
 –, isotherme 292
 –, polytrope 297
 –, quasistatische 294
 Zustandsgleichung, des idealen Gases
 255
 – realer Gase 283
 –, stoffmengenbezogene 261
 –, VAN-DER-WAALS'sche 284
 Zustandsgröße 244, 287
 Zwangskraft 104
 Zweipolröhre 527
 zweite astronautische Geschwindig-
 keit 149
 zweites NEWTON'sches Axiom 101
 Zyklotron 589