



Erste Hilfe



Auffinden einer Person

Grundsätze

- Ruhe bewahren
- Unfallstelle sichern
- Eigene Sicherheit beachten



Person ggf. aus dem Gefahrenbereich retten

Notruf



- Wo ist der Notfall?
- Warten auf Fragen, zum Beispiel:
- Was ist geschehen?
- Wie viele Verletzte/Erkrankte?
- Welche Verletzungen/Erkrankungen?

Bewusstsein prüfen
laut ansprechen, anfassen, rütteln

nicht vorhanden

um Hilfe rufen

Atmung prüfen
Atemwege freimachen, Kopf nackenwärts beugen, Kinn anheben, sehen/hören/fühlen

keine normale Atmung

Notruf



AED* holen lassen

30 x Herzdruckmassage
Hände in Brustmitte
Drucktiefe 5 – 6 cm
Arbeitstempo 100 – 120/min

2 x Beatmung
im Wechsel mit
1s lang Luft in Mund oder Nase einblasen

vorhanden

normale Atmung

Situationsgerecht helfen
z.B. Wunde versorgen

Seitenlage



Notruf

Bewusstsein und Atmung überwachen

Rettungsleitstelle (Notruf):

Ersthelfer/Ersthelferin:

Betriebssanitäter/ Betriebssanitäterin:

Erste-Hilfe-Material bei:

Erste-Hilfe-Raum:

Nächste erreichbare Ärzte/Krztinnen:

Berufsgenossenschaftliche Durchgangsarzte/Durchgangsarztinnen:

Nächstgelegenes Krankenhaus:

Info: www.dguv.de/landesverbände



Lerne helfen – werde Ersthelfer/Ersthelferin

Info: www.dguv.de/fb-ersthelfe

Meldung zur Ausbildung bei:



* Sofern verfügbar – den Anweisungen des „Automatisierten Externen Defibrillators“ (AED) folgen.



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Mechatronik

Tabellenbuch Mechatronik

Tabellen – Formeln – Normenanwendungen

14. neu bearbeitete und aktualisierte Auflage

Bearbeitet von Lehrern und Ingenieuren an beruflichen Schulen
und Produktionsstätten (siehe Rückseite)

Vorwort

Das Tabellenbuch Mechatronik ist konzipiert für die handlungsorientierte Berufsbildung des Berufs Mechatroniker bzw. Mechatronikerin. Die Mechatronik unterliegt als Schlüsseltechnologie aus Elektrotechnik, Metalltechnik und Informationstechnik einem stetigen Wandel und unterstützt das Erfüllen der Anforderungen von Digitalisierung sowie Industrie 4.0/5.0.

Umfangreiche Tabellen, zahlreiche Formeln, didaktisch aufbereitete Grafiken sowie ein umfassendes Sachwortverzeichnis unterstützen den zielorientierten Einsatz des Buchs. Aktuelle Normen von DIN und VDE für die Berufsbildung des Berufs Mechatroniker bzw. Mechatronikerin sind berücksichtigt.

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG

Düsseldorf Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 45011

Autoren des Tabellenbuchs Mechatronik

Heiner Bröker	Studienrat	Klein Berßen
Hartmut Fritsche	Dipl.-Ing.	Massen
Gregor Häberle	Dr.-Ing.	Tettngang
Konstantin Häberle	MSc EEIT, MSc Math	Zürich
Verena Häberle	Dr. sc.	Zürich
Thomas Helmer	Dr.-Ing.	Gomadingen
Rudolf Krall	Dipl.-Päd. Ing., Berufsschuloberlehrer	Gartenau-St. Leonhard
Bernd Schiemann	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Durbach
Dietmar Schmid	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Biberach a.d. Riß
Claudius Scholer	Dipl.-Ing., Dipl.-Gewerbelehrer, Studiendirektor	Metzingen
Matthias Schultheiß	Dipl.-Ing., Dipl.-Gewerbelehrer Studiendirektor	Biberach a.d. Riss
Thomas Urian	Meister der Elektrotechnik	Vilshofen

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Leiter des Arbeitskreises:

Dr.-Ing. Gregor Häberle, Tettngang

Maßgebend für das Anwenden der Normen sind deren Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der VDE-VERLAG GmbH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin und der DIN Media GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin erhältlich sind.

14. Auflage 2026

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-4254-1

Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich bitte an produktsicherheit@europa-lehrmittel.de.

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2026 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten

www.europa-lehrmittel.de

Österreichische Normen, Gesetze und Verordnungen sind im Footer auf www.fs-fachbuch.at verlinkt.

Satz: PER MEDIEN & MARKETING GmbH, 38102 Braunschweig, www.per-mm.de

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: **SIEMENS AG**, 80333 München

Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

Aktualisiert: z. B. technische Daten, viele Darstellungen von mathematischen und physikalischen Formeln, Formeln wurden ergänzt

M

Mathematik,
Technische Physik

11

Aktualisiert: z. B. Referenzkennzeichnung, Schaltzeichen, technische Daten.

K

Technische
Kommunikation

69

Neu: z. B. Verbundwerkstoffe, Lasertechnik, Hauptnutzungszeiten für Reiben und Bohren.

Aktualisiert: z. B. Leitungen, Bezeichnungsschlüssel von Leitungen, technische Daten.

WF

Chemie, Werkstoffe,
Leitungen, Fertigung

129

Neu: z. B. Schaltungen mit Operationsverstärkern, Messgeräte, Leuchtsymbole, IK-Code, LED-Beschaltungen, LOGO!-Reglerbaustein, Zähler und Zeitglieder bei SPS.

Aktualisiert: z. B. Leitungen, Bezeichnungsschlüssel von Leitungen, technische Daten.

BM

Bauelemente, Messen,
Steuern, Regeln

213

Neu: z. B. Aufgaben und Verantwortung von Elektrofachkräften, Transformatorarten, IP-Schutz in Arbeitsstätten, Sicherheitsbeleuchtung, EC-Motor.

Aktualisiert: z. B. Schutzmaßnahmen, Prüfungen, Sicherheits-Stromversorgungen, Motorschutz, Asynchronmotoren, Mechatronische Systeme.

A

Elektrische Anlagen
und Antriebe, mecha-
tronische Systeme

313

Neu: z. B. Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed reality, Digitale Signatur, IT-Netzwerkschutz, IT-Netzwerk-Dienstprogramme, Modbus, PROFINET-Funktionen, Embedded Systeme, Python.

Aktualisiert: z. B. Vernetzung, Ethernet-Netzwerke, KNX, Roboter.

D

Digitalisierung,
Informationstechnik

451

Neu: z. B. Welle-Nabe-Verbindungen.

Aktualisiert: z. B. TAE-Anschluss, Steckverbinder, Schnittstellen, technische Daten.

V

Verbindungstechnik

523

Neu: z. B. Industriespionage, Recycling-Symbole, Recycling-Codes, Risikomanagement.

Aktualisiert: z. B. Normenverzeichnis, Kurzformen von Fachbegriffen.

B

Betrieb und Umwelt

571

Nachfolgend nicht genannte Bilder/Fotos sind Bilder/Fotos der Autoren. Ergänzend hierzu haben die nachfolgend aufgeführten Unternehmen und Institutionen mittels Fotos und Grafiken die Ausgestaltung des Buches unterstützt. Dabei sind für diese alle Rechte vorbehalten. Kein Teil darf ohne vorherige schriftliche Genehmigung weitergegeben, in einem Datensystem gespeichert oder in irgendeiner Form, weder elektronisch noch mechanisch, durch Fotokopie, Aufnahme noch durch andere Art übertragen werden. Gleiches gilt auch für die Bilder und Fotos der Autoren.

ABB LTD, CH-Zürich: 413/5

Adobe Systems Software Irland Ltd., Adobe Stock, IRL-Dublin: 175/2 © thongchuea, 271/3 © Ne Mariya, 271/4 © krishna, 271/5 © Box Milk, 271/6 © aperturesound, 271/7 © mipan, 356/3 © Tanakorn, 375/2 © OZTOCOOL, 410/1 © Hhc, 410/2 © Hhc, 410/3 © Hhc

Advanced Energy Industries, Inc, Frankfurt: 248/5

Benning Elektrotechnik und Elektronik GmbH & Co. KG, Bocholt: 416/1, 570/5

Bihl+Wiedemann GmbH, Mannheim: 451/2 b, 488/1, 488/2

BMW AG, München: 436/2

Bohinec s.p., SLO-Ljutomer: 175/4

Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH, Köln: 597/2

Doepke Schaltgeräte GmbH, Norden: 350/4

Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG, Schönaich: 404/3, 404/4

Dätwyler IT Infra AG, CH-Altendorf: 564/3

E. Zoller GmbH & Co. KG, Pleidelsheim: 516/1

Eisenmenger Zerspanungstechnik GmbH, Ransbach-Baumbach: 175/1 unten

EU-Kommission, BEL-Brüssel: 341/3, 343/1 links, 450/2, 571/3, 597/1

European Bioplastics e.V. (EUBP), Berlin: 597/3

Festo, Esslingen: 309/1

Fluke Deutschland GmbH, Glotttartal: 230/3, 230/4, 235/2, 333/1

Gavazzi GmbH, Darmstadt: 234/4

Geovision GmbH & Co. KG, Wagenhofen: 176/6

GIRA Giersiepen GmbH & Co. KG, Radevormwald: 272/3

Glendinning Products LLC., USA-Conway: 253/5

Hager Vertriebsgesellschaft mbH & Co. KG, Blieskastel: 240/3

Hahn+Kolb Werkzeuge GmbH, Ludwigsburg: 201/1, 201/2, 201/3, 201/4, 201/5, 201/6, 201/7

Harting Stiftung & Co KG, Espelkamp: 523/2, 563/9

Hermann ZANDER GmbH & Co. KG, Aachen: 417/11

Heunisch-Guss, Bad Windsheim: 174/2

Hoffmann GmbH, München: 175/3

Index-Werke GmbH & Co KG, Esslingen: 508/2

Infineon Technologies AG, Neubiberg: 221/18, 253/1

KNIPPEX-WERK, Wuppertal: 374/2, 570/2

KUKA SE & Co. KGaA, Augsburg: 519/10, 519/11

maxon international Ltd., CH-Sachseln: 400/3, 400/4, 401/1, 401/2, 401/3, 403/2

MYVOLT.DE, Frankfurt/Oder: 570/6

National Instruments, Austin, TX, USA: 237/1

PCE Deutschland GmbH, Meschede: 570/4

PHOENIX CONTACT Deutschland GmbH, Blomberg: 473/4, 486/1

Physik Instrumente (PI) SE & Co. KG, Karlsruhe: 404/5

Pollin Elektronik GmbH, Pförring: 570/3

Presswerk Krefeld GmbH&Co. KG, Krefeld: 174/4

Profiflex s.a., L-Troisvierges: 405/3

Rohde und Schwarz GmbH & Co. KG, München: 235/1

S. Schmitt, Bad Bergzabern: 570/1, 570/7

Sandvik Tooling Deutschland GmbH, Düsseldorf: 194/1, 194/2

Schulte-Wiese Gesenkschmiede GmbH & Co. KG, Plettenberg: 174/3

Seneca S.r.l., IT-Padua: 239/1

Sick AG, Waldkirch: 436/1, 436/3, 436/4, 436/5

Siemens AG, München: 213/3 unten, 241/2, 284/1, 339/5, 422/3 rechts, 422/4 rechts, 453/1

Siemon Company LLC, Troisdorf: 564/4

Sumitomo Electric Hartmetall GmbH, Willich: 175/1 oben

Theben Smart Energy GmbH, Haigerloch: 240/4

U.I. Lapp GmbH, Stuttgart: 157/2, 157/3, 158/1, 158/2, 158/3

United Nations Economic Commission for Europe, CH-Genf: 591/1, 591/2, 591/3, 591/4, 591/5, 591/6, 591/7, 591/8, 591/9, 595/1, 595/2, 595/2, 595/4, 595/5, 595/6, 595/7, 595/8

VDE Verlag GmbH, Berlin: 109/1 2-4, 5-7, 268/1, 268/2, 268/3, 268/4, 268/5, 268/6, 268/7, 268/8, 268/9, 268/10, 268/11, 268/12, 268/13, 268/14, 268/15

Verlag Europa-Lehrmittel/Autorenfoto: 40/2, 166/10, 166/11, 183/1, 183/2, 183/3, 183/4, 183/5, 217/1, 362/4, 374/1, 455/1, 567/3, 569/1, 569/2, 569/3, 569/4, 569/5, 569/6, 569/7, 569/8, 569/9, 605/5

WAGO, GmbH&Co.KG, Minden: 563/5 a+b

Western Digital UK Limited, GB-Guildford: 472/4, 472/5

Inhaltsverzeichnis

Erste Hilfe bei Unfällen	U2
Bildquellenverzeichnis	4

Teil M: Mathematik, Technische Physik 9

Formelzeichen dieses Buches	10
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches	11
Formelzeichen für drehende elektrische Maschinen	12
Größen und Einheiten	13
Bruchrechnen, Vorzeichen, Klammern	15
Klammerrechnung, Potenzieren	16
Radizieren, Gleichungen	17
Zahlensysteme, Dualzahlen	18
Dualzahlen, Hexadezimalzahlen, Binär-codes	19
Logarithmen, Zehnerpotenzen, Vorsätze, Prozentrechnung	20
Verstärkung, Dämpfung, Pegel	21
Dreisatz, Mischungsrechnung	22
Rechtwinkliges Dreieck	23
Winkelfunktionen, Steigung	24
Längen	25
Flächen	26
Flächen, Volumen, Oberflächen	28
Volumen, Oberfläche, Masse	30
Kräfte	31
Drehmoment, Hebel, Fliehkraft	32
Rollen, Keile, Winden, Schrauben	33
Bewegungslehre	34
Geschwindigkeiten an Maschinen	35
Wärmetechnik	36
Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie	38
Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand	39
Elektrische Leistung, elektrische Arbeit	40
Elektrisches Feld, Kondensator	41
Strom im Magnetfeld, Induktion	43
Schaltungen von Widerständen	44
Bezugspfeile, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler	45
Grundsaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten	46
Komplexe Rechnung für Grundsaltungen von L und C	47
Schalten von Kondensatoren und Spulen	48
Wechselgrößen, Oberschwingungen	49
Zeigerdiagramme von Wechselstromgrößen	50
Leistungen bei Sinuswechselstrom, Impuls	51
Reihenschaltung, Parallelschaltung von R , L , C	52
Einfache Filter	54
Drehstrom, Blindleistungskompensation	55
Zahnradberechnungen	56
Übersetzungen	57
Reibung, Auftrieb	58
Belastungsfälle, Beanspruchungsarten	59
Abscherung, Knickung	61
Biegung, Torsion	62
Momente der Festigkeitslehre	63
Momente von Profilen	64

Druck in Flüssigkeiten und Gasen	65
Pneumatikzylinder	66
Berechnungen zur Hydraulik und Pneumatik	67
Berechnungen zur Hydraulik	68

Teil K: Technische Kommunikation 69

Grafische Darstellung von Kennlinien	70
Arten von Diagrammen	71
Allgemeines technisches Zeichnen	72
Zeichnerische Anordnung von Körpern	73
Maßeintragung, Schraffur	74
Maßpfeile, besondere Darstellungen	75
Maßeintragung	76
Toleranzen in Zeichnungen	77
Geometrische Produktspezifikation	78
Gewinde, Schraubverbindungen, Zentrierbohrungen	82
Getriebedarstellung	83
Darstellung von Wälzlagern, Dichtungen	84
Symbole für Schweißen und Löten	86
Weitere mechanische Verbindungen, Federn	87
Funktionsbezogene Schaltpläne	88
Weitere funktionsbezogene Dokumente	89
Ortsbezogene und verbindungsbezogene Dokumente	90
Kennzeichnungen in Schaltplänen	91
Kontaktkenzeichnung in Stromlaufplänen	94
Stromkreise und Schaltzeichen	96
Allgemeine Schaltzeichen	97
Transformatoren, Spulen, drehende elektrische Maschinen	98
Vergleich von Schaltzeichen	99
Zusatzschaltzeichen, Schalter in Energieanlagen	101
Messgeräte und Messinstrumente, Messkategorien	102
Halbleiterbauelemente	103
Analoge Informationsverarbeitung, Zähler und Tarifsaltgeräte	104
Binäre Elemente	105
Schaltzeichen für Installationsschaltpläne und Installationspläne	107
Schaltzeichen für Übersichtsschaltpläne	108
Bildzeichen an elektrischen Betriebsmitteln	109
Einphasenwechselstrommotoren und Anlasser	110
Drehstrommotoren und Anlasser	111
Motoren mit Stromrichterspeisung	112
Ablaufsteuerungen, GRAFCET	113
Grundformen von Ablaufsteuerungen	114
Elemente für Ablaufsteuerungen GRAFCET	115
Ablauf-Funktionspläne	117
Symbole zur Dokumentation in der Computertechnik	118
Schaltzeichen der Pneumatik und Hydraulik	119
Pneumatik Grundsaltungen	121
Kennzeichnung von steuerungstechnischen Systemen	122
Schaltpläne der Pneumatik und Hydraulik	123
Fließbilder	124
Beispiele von Fließbildern	125
Symbole der Verfahrenstechnik	126

Erstellen einer Dokumentation über Geräte und Anlagen	127
Aufbau und Inhalt einer Betriebsanleitung	128

Teil WF: Chemie, Werkstoffe, Leitungen, Fertigung 129

Chemie	130
Stoffwerte	132
Übersicht von Werkstoffen	134
Bezeichnungssysteme für Stähle	135
Stahl	139
Stahlprofile	142
Bezeichnungssysteme für Gusseisenwerkstoffe ..	143
Gusseisen	144
Nichteisenmetalle	145
Aluminiumprofile	148
Verbundwerkstoffe	149
Kunststoffe	150
Kabel und Leitungen	155
Starkstromleitungen	156
Leitungen zum Anschluss ortsveränderlicher Betriebsmittel	158
Leitungen und Kabel für Melde- und Signalanlagen	159
Elektroinstallationsrohre	160
Leitungen in Datennetzen	161
Kupferlitzenleiter der Informationstechnik	162
Trennklassen der Kommunikationsverkabelung ..	163
Lasertechnik	164
Strahlenoptik	165
Lichtwellenleitungen	166
Kennzeichnungen von Lichtwellenleitern LWL	167
Korrosion und Korrosionsschutz	168
Lote und Flussmittel	169
Druckflüssigkeiten (Hydraulikflüssigkeiten)	170
Werkstoffprüfung	171
Fertigungsverfahren	174
Rapid Prototyping RP (3D-Druck)	178
Wärmebehandlung von Stahl	179
Montage und Demontage	181
Schneidstoffe	183
Drehzahlnomogramm	185
Kräfte und Leistungen beim Zerspanen	186
Bohren	188
Reiben und Gewindebohren	189
Drehen	191
Drehwerkzeuge	194
Fräsen	195
Schleifen	198
Spanende Formung der Kunststoffe	200
Lehren	201
Biegeumformen	202
Schweißen	203
Druckgasflaschen, Gasverbrauch	205
Schutzgasschweißen	206
Lichtbogenschweißen	208
Schmierstoffe	210
Kühlschmierstoffe für die spanende Bearbeitung von Metallen	212

Teil BM: Bauelemente, Messen, Steuern, Regeln 213

Widerstände und Kondensatoren	214
Batterien, Akkumulatoren	217
Von physikalischen Größen abhängige Halbleiter-Bauelemente	218
Elektrischer Widerstand bei Temperaturänderung, Wärmewiderstand	219
Dioden	220
Feldeffekttransistoren FET, IGBTs	221
Bipolare Transistoren und HEMT	222
Transistoren als Schalter	223
Thyristoren und Triggerdiode	224
Fotoelektronische Bauelemente	225
Bauelemente für Überspannungsschutz	226
Grundlagen des Operationsverstärkers	227
Elektrische Messgeräte	230
Messen mit Multimeter	232
Schaltungen zur Bestimmung von U , I und R	233
Messwandler	234
Oszilloskop	235
Messwerterfassung mit dem PC	237
Leistungsmessgeräte	239
Energieüberwachung in Smart-Grid-Anlagen	241
Smart Grid, Smart Meter, Smart Home	242
Sensoren	243
Kraftmessung und Druckmessung	244
Schaltungen mit Dehnungsmessstreifen DMS	245
Bewegungsmessung, Wegmessung, Winkelmessung	246
Temperaturmessung	248
Durchfluss-, Ultraschall-, Radar-, Lidarsensoren ..	249
Näherungsschalter (Sensoren)	250
Smarte Sensorik und Aktorik, optoelektronische Sensoren	253
Arten von Aktoren	254
Elektromagnetische Schütze	256
Gebrauchskategorien und Antriebe von Schützen ..	257
Vakuumschütze, Halbleiterschütze	258
Hilfsstromkreise	260
Überstromschutz für Steuerstromkreise	261
Motorschutzschalter	262
Ausschaltung, Serienschaltung, Wechselschaltung, Kreuzschaltung	264
Ausführung von Installationsschaltungen	265
Stromstoßschaltungen	266
Farbkennzeichnung von Leuchtmitteln	267
Leuchtsymbole, IK-Code	268
Leuchtstofflampenersatz	269
Dimmen von LED-Lichtquellen	270
Steuerung mittels Funk	272
Steuerungs- und Regelungstechnik	275
Reglereinstellungen, Regelstrecken	279
Bode-Diagramm	281
Digitale Regelung	282
Lageregelung bei Arbeitsmaschinen	285
Logikmodul LOGO!	286
Binäre Verknüpfungen der Steuerungs- und Regelungstechnik	291
Speicherprogrammierbare Steuerung SPS	292

TIA-Portal	293
Visualisierung mit TIA-Portal HMI	294
SPS-Programmierung (nach DIN EN 61131-3)	298
Programmiersprachen, Strukturierter Text (ST), Ablaufsprache AS	300
Programmieren von Zählern und Zeitgliedern in SPS S7	301
Technologieobjekt PID-Regler	303
Regelung mittels SPS	309

Teil A: Elektrische Anlagen und Antriebe, mechatronische Systeme

313

Elektrotechnische Qualifikationen	314
Arbeiten in elektrischen Anlagen	315
Netze der Energietechnik	316
Regelung der Netzspannung und Netzfrequenz ..	318
Transformatorarten	319
Berechnungsformeln für Transformatoren	322
Leitungsberechnung	323
Verlegearten von Leitungen für feste Verlegung ..	326
Strombelastbarkeiten	327
Oberschwingungen OS	332
Überlastschutz, Kurzschlusschutz, Leitungslängen	334
Mindest-Leiterquerschnitte, Leitungsschutzschalter	335
Niederspannungs-Schmelzsicherungen	336
Überstrom-Schutzeinrichtungen für Geräte	337
Schutz gegen thermische Auswirkungen	339
Schutzarten IP elektrischer Betriebsmittel, ENEC-Zeichen	341
IP-Schutzarten in industriellen Arbeitsstätten planen	342
Stromgefährdung, Berührungsarten, Fehlerarten ..	344
Schutzmaßnahmen, Schutzklassen	346
Verteilungssysteme und Fehlerschutz mit Schutzleiter	347
Basisschutz und Fehlerschutz	348
Differenzstromschutzschalter RCD	349
Differenzstromüberwachungsgerät RCM	350
Messungen in elektrischen Anlagen	354
Prüfung der Schutzmaßnahmen	357
Wiederkehrende Prüfungen	359
Spezielle Niederspannungs-Anlagen	361
Elektroinstallation in Unterrichtsräumen mit Experimentiereinrichtungen	362
Stromversorgung elektronischer Geräte	363
Sicherheits-Stromversorgungsanlagen	365
Akkumulatorenräume	368
Laden von Elektrofahrzeugen	370
Elektromagnetische Verträglichkeit EMV	371
Schaltschrankaufbau, Klimatisierung von Schaltschränken	373
Instandsetzung, Wiederholungsprüfung	377
Elektronische Steuerungen von Verbrauchsmitteln ..	378
Stromrichter, Gleichrichter	379
Alphanumerische Kennzeichnung der Anschlüsse ..	385
Betriebsarten S1 bis S10	386
Isolierstoffklassen, Bemessungsleistungen	387
Betriebsdaten von Käfigläufermotoren	388
Bauformen von drehenden elektrischen Maschinen	389

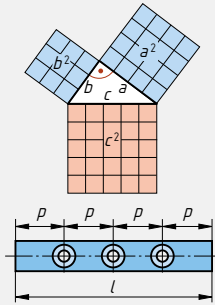
Berechnungsformeln für drehende elektrische Motoren	390
Einphasen-Wechselstrommotoren	391
Drehstrommotoren, Gleichstrommotoren	392
Servomotoren, EC-Motor, Schrittmotoren, Kleinstantriebe	396
Getriebe	402
Linearantriebe	403
Effizienz von elektrischen Antrieben	407
Wahl des Antriebsmotors	408
Prüfung elektrischer Maschinen	409
Fehlerarten bei Motoren, Motorschutz	410
Anlassen von Kurzschlussläufermotoren, Sanftanlasser	412
Elektrische Ausrüstung von Maschinen	414
Prüfung der elektrischen Ausrüstung von Maschinen	416
Sicherheits-NOT-AUS-Relais	417
Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen	418
Mechatronische Systeme	423
Funktionsdiagramme, Ablaufsteuerung	425
Inbetriebnahme, Instandhaltung mechatronischer Systeme	442
Energieeffizienz in der Produktion	450

Teil D: Digitalisierung, Informationstechnik

451

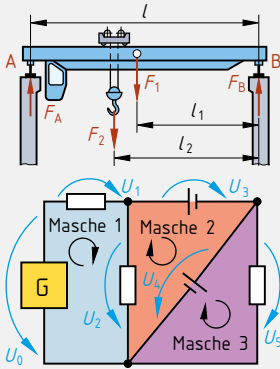
Datenschutzgrundverordnung DSGVO	452
Digitalisierung und Industrie 4.0	453
Künstliche Intelligenz	454
Virtual Reality VR, Augmented Reality AR, Mixed Reality MR	455
Digitale Signatur	456
Internet der Dinge	457
Prozessleittechnik	458
PLM, ERP, MES	459
Offene Kommunikationsplattformen für IoT/IIoT ...	460
Begriffe der Computertechnik	461
Binäre Funktionen	463
KV-Diagramme	464
Code-Umsetzer	465
ASCII-Code und Unicode	466
Bistabile Kipperschaltungen (Flipflops)	467
Digitale Zähler und Schieberegister	468
DA-Umsetzer und AD-Umsetzer	469
Komparatoren, S & H-Schaltungen	470
Halbleiterspeicher	471
Mobile Datenspeicher	472
PC-Hauptplatine und PC-Anschlüsse	474
Betriebssysteme	475
Windows-Tasten-Kürzel	476
Arbeiten mit Excel	477
Gefahren der Computersabotage	478
Maßnahmen gegen Computerviren	479
Netzformen der Informationstechnik	480
Komponenten für Datennetze	481
IT-Netzwerkschutz	482
IT-Netzwerk-Dienstprogramme	483
Ethernet-Netzwerke	484
AS-i-Bussystem	487

Mathematik



Formelzeichen dieses Buches 10
 Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches 11
 Formelzeichen für drehende elektrische Maschinen 12
 Größen und Einheiten 13
 Bruchrechnen, Vorzeichen, Klammern 15
 Klammerrechnung, Potenzieren 16
 Radizieren, Gleichungen 17
 Zahlensysteme, Dualzahlen 18
 Dualzahlen, Hexadezimalzahlen, Binärcodes 19
 Logarithmen, Zehnerpotenzen, Vorsätze, Prozentrechnung 20
 Verstärkung, Dämpfung, Pegel 21
 Dreisatz, Mischungsrechnung 22
 Rechtwinkliges Dreieck 23
 Winkelfunktionen, Steigung 24

Technische Physik



Längen 25
 Flächen 26
 Flächen, Volumen, Oberflächen 28
 Volumen, Oberfläche, Masse 30
 Kräfte 31
 Drehmoment, Hebel, Fliehkraft 32
 Rollen, Keile, Winden, Schrauben 33
 Bewegungslehre 34
 Geschwindigkeiten an Maschinen 35
 Wärmetechnik 36
 Mechanische Arbeit, mechanische Leistung, Energie 38
 Ladung, Spannung, Stromstärke, Widerstand 39
 Elektrische Leistung, elektrische Arbeit 40
 Elektrisches Feld, Kondensator 41
 Strom im Magnetfeld, Induktion 43
 Schaltungen von Widerständen 44
 Bezugspfeile, Kirchhoff'sche Regeln, Spannungsteiler 45
 Grundschaltungen von Induktivitäten und Kapazitäten 46
 Komplexe Rechnung für Grundschaltungen von L und C 47
 Schalten von Kondensatoren und Spulen 48
 Wechselgrößen, Oberschwingungen 49
 Zeigerdiagramme von Wechselstromgrößen 50
 Leistungen bei Sinuswechselstrom, Impuls 51
 Reihenschaltung, Parallelschaltung von R, L, C 52
 Einfache Filter 54
 Drehstrom, Blindleistungskompensation 55
 Zahnradberechnungen 56
 Übersetzungen 57
 Reibung, Auftrieb 58
 Belastungsfälle, Beanspruchungsarten 59
 Abscherung, Knickung 61
 Biegung, Torsion 62
 Momente der Festigkeitslehre 63
 Momente von Profilen 64
 Druck in Flüssigkeiten und Gasen 65
 Pneumatikzylinder 66
 Berechnungen zur Hydraulik und Pneumatik 67
 Berechnungen zur Hydraulik 68

Weitere Seiten mit Formeln:

Akkumulator 368
 Arbeitsvorbereitung 579
 Binäre Verknüpfungen 291, 463
 Drehzahlnomogramm 185
 Elektrische Motoren 390
 Fehlerschutz 351 ff.
 Fräsen, Schleifen 196 ff.
 Gasverbrauch 205
 Getriebe 402
 Kalkulationen 607 ff.
 Leitungsberechnung 323 ff.
 Messen, Messwandler 233 ff.
 Oberschwingungen 332 ff.
 Operationsverstärker 227 ff.
 Oszilloskop 236
 Regelungstechnik 278 ff.
 Softanlasser 413
 Statistische Auswertungen 586 ff.
 Strahlenoptik 165
 Transformator 322 ff.
 Transistor 222 ff.
 Überlastschutz, Kurzschlusschutz 334
 Wärmewiderstand 219
 Zerspanen 186 ff.
 Zuverlässigkeit 589

Formelzeichen	Bedeutung	Formelzeichen	Bedeutung	Formelzeichen	Bedeutung
Kleinbuchstaben		Großbuchstaben		Griechische Kleinbuchstaben	
<i>a</i>	1. Beschleunigung 2. Wärmeleitfähigkeit	<i>A</i>	1. Fläche, Querschnitt 2. Bruchdehnung 3. Dämpfungsmaß	α (Alpha)	1. Winkel 2. Freiwinkel 3. Temperaturkoeffizient 4. Zündwinkel
<i>b</i>	Breite, auch <i>a</i>	<i>B</i>	1. magn. Flussdichte	β (Beta)	1. Winkel 2. Keilwinkel
<i>c</i>	1. spez. Wärmekapazität 2. Kopfspiel, 3. Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen, 4. Schnittgeschwindigkeit	<i>C</i>	1. Kapazität 2. Wärmekapazität	γ (Gamma)	1. Winkel, 2. Spanwinkel 3. Leitfähigkeit
<i>d</i>	1. Durchmesser 2. Abstand	<i>D</i>	1. elektr. Flussdichte 2. Dämpfungsfaktor, 3. Federrate, 4. Durchmesser	δ (Delta)	Verlustwinkel
<i>e</i>	1. Elementarladung 2. Regeldifferenz 3. Dehnung	<i>E</i>	1. elektr. Feldstärke 2. Elastizitätsmodul, 3. Energie	ϵ_0 ϵ (Epsilon)	elektr. Feldkonstante 1. Permittivität 2. Dehnung 3. Spitzenwinkel
<i>f</i>	1. Frequenz, 2. Vorschub 3. Durchbiegung 4. Rollreibungszahl 5. Faktor, 6. Brennweite	<i>F</i>	1. Kraft, 2. Faktor 3. Fehler, 4. Fasenbreite	ζ (Zeta)	Arbeitsgrad, Nutzungsgrad
<i>g</i>	1. Fallbeschleunigung 2. Tastgrad, 3. Anzahl 4. Ortskoeffizient	<i>G</i>	1. Leitwert, Wirkleitwert 2. Verstärkungsmaß 3. Höchstmaß, Mindestmaß	η (Eta)	Wirkungsgrad
<i>h</i>	1. Höhe, 2. Tiefe, 3. Dicke 4. relative Häufigkeit	<i>H</i>	1. magnetische Feldstärke 2. Heizwert	θ (Theta)	Temperatur in °C
<i>i</i>	1. zeitabhängige Stromstärke 2. Übersetzungsverhältnis 3. Anzahl Schnitte	<i>I</i>	1. Stromstärke 2. Flächenmoment	λ (Lamba)	1. Wellenlänge 2. Neigungswinkel 3. Leistungsfaktor
<i>j</i>	Ruck	<i>J</i>	1. Stromdichte 2. Trägheitsmoment	μ (My)	1. Permeabilität 2. Reibungszahl
<i>k</i>	1. Konstante, 2. Faktor	<i>K</i>	Koeffizient	μ_0	magn. Feldkonstante
<i>l</i>	1. Länge, 2. Abstand	<i>L</i>	1. Induktivität, 2. Pegel	ν (Ny)	1. Sicherheitszahl 2. Ordnungszahl 3. Querdehnzahl
<i>m</i>	1. Masse, 2. Modul (der) 3. Konstante 4. Gesamtanzahl	<i>M</i>	1. Drehmoment, siehe <i>T</i> 2. Speicherkapazität	π (Pi)	Zahl 3,141 592 6...
<i>n</i>	1. Drehzahl, Umdrehungsfrequenz 2. ganze Zahl 1, 2, 3 ... 3. Brechzahl	<i>N</i>	Windungszahl	ρ (Rho)	1. spezifischer Widerstand 2. Dichte, 3. Zugspannung
<i>p</i>	1. Polpaarzahl, 2. Druck 3. Flächenpressung	<i>P</i>	1. Leistung, Wirkleistung 2. Spiel, Übermaß 3. Gewindesteigung 4. Wahrscheinlichkeit	σ (Sigma)	1. Streufaktor 2. mechanische Spannung
<i>q</i>	1. spez. Schmelzwärme 2. spez. Luftverbrauch	<i>Q</i>	1. Ladung, 2. Wärme 3. Blindleistung 4. Verbrennungswärme 5. Volumenstrom	τ (Tau)	1. Zeitkonstante 2. mechanische Spannung
<i>r</i>	1. Radius, 2. Rate 3. differentieller Widerstand, 4. spezifische Verdampfungswärme	<i>R</i>	1. Wirkwiderstand 2. Federrate, 3. Festigkeit 4. Rautiefe	φ (Phi)	Winkel, Phasenverschiebungswinkel
<i>s</i>	1. Strecke, Dicke 2. Hublänge 3. Standardabweichung	<i>S</i>	1. Scheinleistung 2. Schlupf (absolut) 3. Signal, 4. Querschnitt	ω (Omega)	1. Winkelgeschwindigkeit 2. Kreisfrequenz
<i>t</i>	Zeit, Dauer, Tiefe	<i>T</i>	1. Periodendauer, 2. Temperatur in K, 3. Toleranz 4. Drehmoment 5. Übertragungsfaktor	Griechische Großbuchstaben	
<i>u</i>	zeitabhängige Spannung	<i>THD</i>	Spannungsverzerrung	Δ (Delta)	Differenz
<i>ü</i>	Übersetzungsverhältnis	<i>U</i>	Spannung	Θ (Theta)	elektrische Durchflutung
<i>v</i>	Geschwindigkeit	<i>V</i>	1. Volumen 2. Verstärkungsfaktor	Σ (Sigma)	Summe
<i>w</i>	1. Energiedichte 2. Führungsgröße	<i>W</i>	1. Arbeit, 2. Energie 3. Widerstandsmoment	Φ (Phi)	1. magnetischer Fluss 2. Lichtstrom 3. Wärmestrom
<i>x</i>	Regelgröße	<i>X</i>	Blindwiderstand	Ψ (Psi)	1. elektrischer Fluss 2. Querschnittenwinkel
<i>y</i>	Stellgröße	<i>Y</i>	Scheinleitwert	Ω (Omega)	Raumwinkel
<i>z</i>	ganze Zahl, z. B. Zähne-, Schneidenzahl, Lagenzahl	<i>Z</i>	Impedanz, Scheinwiderstand		

Spezielle Formelzeichen werden gebildet, indem man an die Formelzeichen-Buchstaben einen Index oder mehrere Indizes anhängt oder sonstige Zeichen dazu setzt.

Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches

Subscripts and Signs for Formula Symbols in this Book



Index, Zeichen	Bedeutung	Index, Zeichen	Bedeutung	Index, Zeichen	Bedeutung
Ziffern, Zeichen		mec	mechanisch	E	1. Emitter
0	1. Leerlauf 2. im Vakuum 3. Bezugsgröße	min	minimal, mindestens		2. Entladen 3. Erde
1	1. Eingang, 2. Reihenfolge	n	Nenn-	F	1. Vorwärts- (forward) 2. Fläche, 3. Fehler-
2	1. Ausgang, 2. Reihenfolge	o	1. Oszillator-, 2. oben	G	1. Gate, 2. Gewicht
3, 4, ...	Reihenfolge	p	1. parallel, 2. Pause 3. Puls, 4. potenziell 5. Druck, 6. Prozess	H	3. Glättung
$\hat{}$, z.B. \hat{u}	Maximalwert, Höchstwert	r	1. in Reihe 2. Bemessungs- (rated) 3. Anstiegs- (rise) 4. Resonanz, 5. rechts 6. resultierend	I	1. Hysterese, 2. Hall-, 3. höchst- 4. Hub-
$\check{}$, z.B. \check{u}	Tiefstwert, Kleinstwert (\check{u})	s	1. Sieb-, 2. Signal-, 3. Serie 4. in Wegrichtung 5. Stoß-, 6. Soll- 7. oberhalb, 8. senkrecht	K	Initial
$\hat{}$, z.B. \hat{u}	1. Spitze-Tal-Wert 2. Schwingungsbreite	sch	Schritt	L	1. Katode 2. Kopplung (Gegen-) 3. Kühlkörper 4. Kippen 5. Kanal, Strecke
' , z.B. u'	1. bezogen auf, 2. Hinweis, 3. Ableitung	t	1. tief, unten, 2. Torsion, 3. triggering	M	1. induktiv, 2. Last 3. links, 4. Laden 5. höchstzulässige Berüh- rungsspannung 6. Lorentz-
Δ	in Dreieckschaltung	th	1. thermisch, Wärme- 2. theoretisch	N	Mitkopplung
Y	in Sternschaltung	tot	total, gesamt	Q	1. Bemessungs-, 2. Nutz- 3. Normal-
Kleinbuchstaben		u	1. Spannungs- 2. unten 3. Umfang	R	Quer-
a	1. Abschalten 2. Ausgang, 3. außen 4. Ableit-, 5. Anker	v	1. Vor-, 2. Verlust 3. Vergleich 4. Verdampfungs-	S	1. Rückwärts- (reward) 2. Wirkwiderstand 3. rechts, 4. Regel- 5. Rot, 6. Reibung
ab, out, 2	abgegeben	w	1. Wirk-, wirksam 2. Führungsgröße 3. Wellen- 4. Werkstück-	T	1. Source, 2. Schleifen- 3. Sattel-, 4. Schalt- 5. Schleusen- 6. Sektor
auf, in, 1	aufgenommen	x	1. unbekannte Größe 2. in x-Richtung	U	1. Transformator- 2. Träger 3. Spur (track)
b	1. Betrieb, 2. Bit-, 3. Blindgröße, 4. Biege-	y	1. Stellgröße 2. in y-Richtung	Ü	Umgebung
c	1. Grenz- (cut-off) 2. Form (crest), 3. Schnitt-	z	1. Zwischen-, 2. Zentripetal- 3. Zahn	V	Übermaß
d	1. Gleichstrom betreffend 2. Dauer-, 3. Digit-, 4. Dämpfung	zu, in, 1	zugeführt	W	1. Spannungsmesser 2. Verstärkungs- 3. Video- 4. Vertikal-
e	1. Eingang, 2. Empfang 3. Über-, 4. Eingriffs-	zul	zulässig	W	Welle
eff	Effektivwert	Großbuchstaben		X	am X-Eingang
f	1. Frequenz, 2. Fuß- 3. Vorschub	A	1. Strommesser 2. Abstimm-, 3. Anode 4. Anzug, Anlauf 5. Anlagenerdung 6. Abtast-	Y	1. am Y-Eingang 2. Luminanz-
ges	Gesamt-	B	1. Basis 2. Betriebserdung (Netz) 3. Festigkeit 4. Bohrung	Z	1. Zener-, 2. Zeile 3. zulässig, 4. Zünd-
h	1. hoch, oben, 2. Haupt-	C	1. Kollektor, 2. kapazitiv 3. Takt, 4. koerzitiv	Griechische Kleinbuchstaben	
i	1. innen, 2. induziert 3. Strom-, 4. ideell, 5. Ist-, 6. Impuls	D	1. Drain, 2. Daten	α (Alpha)	in Richtung des Winkels α
j	Sperrschicht (von junction)			σ (Sigma)	Streuung
k	1. Kurzschluss- 2. kinetisch, 3. Knick-			φ (Phi)	Phasenverschiebung betreffend
l	links				
m	1. magnetisch 2. Messwerk 3. gemessen				
max	maximal, höchstens				

Die Indizes können kombiniert werden, z.B. bei U_{CE} für Kollektor-Emitter-Spannung. Indizes, die aus mehreren Buchstaben bestehen, können bis auf den Anfangsbuchstaben gekürzt werden, wenn keine Missverständnisse zu befürchten sind. Zur Kennzeichnung von Werkstoffen können die Symbole für das Material verwendet werden, z.B. P_{Cu} für Kupferverlustleistung.

Größe	Formelzeichen	internationales Formelzeichen		Einheit, Einheitenzeichen	
		Vorzugszeichen	Ausweichzeichen		
Leistungen und verwandte Größen					
Bemessungsleistung	P_N	P_{rat}	P_N	Watt, W	
Bemessungsscheinleistung	S_N	S_{rat}	S_N	Voltampere, VA	
Nennleistung	P_n	P_n oder P_{nom}	keines	Watt, W	
Eingangsleistung	P_1 oder P_e	P_{in}			
Ausgangsleistung	P_2 oder P_a	P_{out}			
mechanische Leistung	P	P_{mec}			
Verlustleistung	P_v	P_t			
Leistungsfaktor, siehe unten	$\cos \varphi$	λ (Lamda)			eins (keine Einheit)
Wirkfaktor, siehe unten	–	$\cos \varphi$			
Drehmomente, Kraftmomente					
Drehmoment, Kraftmoment	M	T (von Torsion)	M	Newtonmeter, Nm	
Nennmoment	M_n	T_{nom}	keines		
Bemessungsmoment	M_N	T_{rat}	M_{rat} oder M_r		
Kippdrehmoment	M_K	T_b	M_b		
Haltemoment	M_H	T_H	M_H		
Sattelmoment	M_S	T_u	M_u		
Anzugsmoment	M_A	T_l	M_l		
Stromstärken und verwandte Größen					
Bemessungsstrom	I_N	I_{rat}	I_N	Ampere, A	
Nennstrom	I_n	I_n oder I_{nom}	–		
Dauerkurzschlussstrom	I_{kd}	I_k	I_{SC}		
Stoßkurzschlussstrom	I_s	\hat{I}_k	\hat{I}_s		
Stoßkurzschlusswechselstrom	\dot{i}_s	I_{k0}	$I_{\text{SC}0}$		
transienter Strom (kurzzeitiger Strom)	i	I'_k	I'_{SC}		
subtransienter Strom (sehr kurzzeitiger Strom)	\dot{i}_s	I''_k	I''_{SC}		
Strombelag	I'	A	keines	Ampere je Meter, A/m	
Spannungen und verwandte Größen					
Bemessungsspannung	U_N	U_{rat}	U_N	Volt, V	
Nennspannung	U_n	U_n oder U_{nom}	keines		
induzierte Spannung	U_i	U_g			
Leerlaufspannung	U_0	U_0			

nom von nominal = Nenn-, **rat** von rated = bewertet, **T** von torque = Drehmoment.

Leistungsfaktor = Verhältnis Wirkleistung P zu Scheinleistung S (mit Oberschwingungen),

Wirkfaktor = Verhältnis P zu S (Kosinus der Grundschwingung, ohne Oberschwingungen)

Größe, Formelzeichen	SI-Einheit (sonst. Einheit)	Einheitenzeichen, Einheiten-gleichung	Größe, Formelzeichen	SI-Einheit (sonst. Einheit)	Einheitenzeichen, Einheiten-gleichung
Länge, Fläche, Volumen, Winkel			Elektrizität		
Länge <i>l</i>	Meter (Seemeile) (Meile) (Zoll, Inch)	m 1 sm = 1852 m 1 m = 1609,34 m 1" = 25,4mm	el. Ladung <i>Q</i> , el. Fluss Ψ	Coulomb	1 C = 1 A · s = 1 As
Fläche <i>A</i>	Quadratmeter	m ²	Flächenladungs-dichte σ , el. Flussdichte <i>D</i>	Coulomb je Quadratmeter	C/m ²
Volumen <i>V</i>	Kubikmeter (Liter)	m ³ = 1000 L (l) 1 L = 1 dm ³	Raumladungs-dichte ρ	Coulomb je Kubikmeter	C/m ³
Winkel (ebener)	Radian, RAD (Grad, DEG)	rad 1° = $\frac{\pi}{180}$ rad	el. Spannung <i>U</i> , el. Potenzial φ , <i>V</i>	Volt	1 V = 1 J/C
Raumwinkel Ω	Steradian	sr	el. Feldstärke <i>E</i>	Volt je Meter	1 V/m = 1 N/C
Zeit, Frequenz, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Ruck			el. Kapazität <i>C</i>	Farad	1 F = 1 As/V = 1 C/V
Zeit <i>t</i>	Sekunde (Minute) (Stunde) (Tag)	s 1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s 1 d = 24 h	el. Strombelag <i>A</i>	Ampere je Meter	A/m
Frequenz <i>f</i>	Hertz	1 Hz = 1/s = 1 c/s	Permittivität, Dielektrizitäts-konstante ϵ	Farad je Meter	1 F/m = 1 C/(Vm)
Drehzahl, Um-drehungs-frequenz <i>n</i>	je Sekunde (je Minute)	1/s = 60/min (1/min)	el. Stromstärke <i>I</i>	Ampere	1 A = 1 C/s
Kreisfrequenz ω	je Sekunde	1/s	el. Stromdichte <i>J</i>	–	A/m ²
Geschwindigkeit <i>v</i>	Meter je Sekunde	m/s 1 km/h = $\frac{1}{3,6}$ m/s	el. Widerstand, Wirkwiderstand <i>R</i> , Blindwiderstand <i>X</i> , Scheinwiderst. <i>Z</i>	Ohm	1 Ω = 1 V/A
Winkel-geschwindigkeit ω	Radian je Sekunde	rad/s	el. Wirkleitwert <i>G</i> , Blindleitwert <i>B</i> , Scheinleitwert <i>Y</i>	Siemens	1 S = $\frac{1}{1 \Omega}$
Beschleunigung <i>a</i>	–	m/s ²	spezifischer elektr. Widerstand <i>ρ</i>	Ohmmeter	1 Ω m = 100 Ω cm 1 Ω mm ² /m = 1 $\mu\Omega$ m
Ruck <i>j</i>	–	m/s ³	elektrische Leitfähigkeit γ	Siemens je Meter	1 Sm/mm ² = 1 MS/m
Mechanik			Leistung <i>P</i>	Watt	1 W = 1 V · 1 A
Masse <i>m</i>	Kilogramm (Karat) (Tonne) (Unze)	kg 1 Kt = 0,2 g 1 t = 1000 kg 1 oz = 28,35 g	Blindleistung <i>Q</i>	var	1 var = 1 V · 1 A
Dichte ρ	–	kg/m ³ , kg/dm ³	Scheinleistung <i>S</i>	VA	1 VA = 1 V · 1 A
Widerstands-moment <i>W</i>	–	m ³ , cm ³	Induktivität <i>L</i>	Henry	1 H = 1 Vs/A
Trägheits-moment <i>J</i>	–	kg · m ²	Arbeit <i>W</i> , Energie <i>E</i> , <i>W</i>	Joule (Wattstunde) (Elektronvolt)	1 J = 1 Ws 1 Wh = 3,6 kNm 1 eV = 1,602 · 10 ⁻¹⁹ J
Kraft <i>F</i>	Newton	1 N = 1 kg · m/s ²	Magnetismus		
Kraftmoment, Drehmoment <i>M</i>	–	Nm	magn. Durchflut-ung θ , magn. Spannung U_m	Ampere	A
Impuls <i>p</i>	Newtonsek.	1 Ns = 1 kg · m/s	magn. Feldstärke <i>H</i>	Ampere je Meter	A/m
Druck <i>p</i>	Pascal (Bar)	1 Pa 1 bar = 0,1 MPa = 10 N/cm ²	Magnetisierung	Weber	1 Wb = 1 T · 1 m ²
Flächenpressung ρ	–	N/mm ²	magn. Fluss Φ	Tesla	1 T = 1 Wb/m ² = 1 Vs/m ²
Festigkeit R_p, R_e	–	N/mm ²	mg. Flussdichte <i>B</i> , mg. Polarisation <i>J</i>	Henry	1 H = 1 Vs/A = 1 Ω s
Elastizitätsmodul <i>E</i>	–	N/mm ²	Induktivität <i>L</i>	Henry je Meter	1 H/m = 1 Vs/(Am)
Arbeit <i>W</i> , Energie <i>E</i> , <i>W</i>	Joule	1 J = 1 Nm = 1 Ws	Permeabilität μ	–	1/H
Leistung <i>P</i>	Watt	1 W = 1 J/s = 1 VA = 1 Nm/s	mg. Widerstand R_m	Henry	H
Volumenstrom <i>Q</i>	–	m ³ /s, l/min	magn. Leitwert G_m	–	A · m ²
			elektromagneti-sches Moment <i>m</i>	–	

Größe, Formelzeichen	SI-Einheit (sonst. Einheit)	Einheiten- zeichen, Einheiten- gleichung	Größe, Formelzeichen	SI-Einheit (sonst. Einheit)	Einheiten- zeichen, Einheiten- gleichung
Elektromagnetische Strahlung (außer Licht)			Kernreaktionen, ionisierende Strahlung		
Strahlungs- energie Q_e	Joule	1 J = 1 Nm = 1 Ws	Aktivität einer radioaktiven Substanz A	Becquerel	1 Bq = 1/s
Strahlungs- leistung Φ_e	Watt	1 W = 1 J/s	Energiedosis D	Gray	1 Gy = 1 J/kg
Strahlstärke I	Watt/Steradian	W/sr	Energiedosisrate D'	Gray je Sekunde	Gy/s
Strahllichte L	–	W/(sr · m ²)	Äquivalentdosis H	Sievert	1 Sv = 1 J/kg
Bestrahlungs- stärke E	–	W/m ²	Äquivalentdosis- rate H'	Sievert je Sekunde	1 Sv/s = 1 J/(kg · s)
Licht, Optik			Ionendosis J	Coulomb je Kilogramm	C/kg
Lichtstärke I_v	Candela	cd	Ionendosisrate J'	Ampere je Kilogramm	1 A/kg = 1 C/(kg · s)
Leuchtdichte L_v	Candela je m ²	cd/m ²	Akustik		
Lichtstrom Φ_v	Lumen	lm	Schalldruck p	Pascal	1 Pa = 1 N/m ²
Lichtausbeute η_v	Lumen je Watt	lm/W	Schalldruckpegel desgl., bewertet L_p	Dezibel	dB dB(A)
Beleuchtungs- stärke E_v	Lux	1 lx = 1 lm/m ²	Lautstärkepegel L_s	Phon	phon \approx dB(A)
Brechwert von Linsen D	– (Dioptrie)	1/m 1 dpt = 1 m ⁻¹	Schallschnelle v	Meter je Sekunde	m/s
Wärme			Schallgeschwin- digkeit c_s (Ausbreitungs- geschwindigkeit)	Meter je Sekunde	m/s
Celsius- Temperatur ϑ	Grad Celsius	°C	Schallfluss q	–	1 m ³ /s = 1 m ² · 1 m/s
thermodynamische Temperatur T	Kelvin	K	Schallintensität I	–	W/m ²
Temperatur- differenz ΔT	Kelvin	K	spezifische Schall- kennimpedanz Z	–	N · s/m ³
Wärme Q , innere Energie U	Joule	1 J = 1 Ws	akustische (Feld-) Impedanz Z_F	–	N · s/m ³
Wärmestrom Φ, \dot{Q}	Watt	1 W = 1 J/s	mechanische Impedanz Z_M	–	1 N · s/m = 1 kg/s
Wärmewiderstand (Bauelemente) R_{th}	Kelvin je Watt	K/W	äquivalente Absorptionsfläche A	Quadratmeter	m ²
Wärmeleitfähigkeit λ	–	W/(K · m)	Sonstige Bereiche		
Wärmeübergangs- koeffizient h	–	W/(K · m ²)	Entfernung in der Astronomie l	(Astronomi- sche Einheit) Parsec	1 AE = 149,6 Gm ¹ 1 pc = 30,857 Pm ¹
Wärmekapazität C , Entropie S	Joule je Kelvin	J/K	Licht- geschwindigkeit c_0	km/s	$c_0 \approx 300\,000$ km/s
spezifische Wärmekapazität c	–	J/(kg · K)	Masse in der Atomphysik m	(Atomare Masseneinheit)	1 u = 1,66 · 10 ⁻²⁷ kg
Chemie, Molekularphysik			längenbezogene Masse textiler Fasern, Garnen Tt	Tex	1 tex = 1 g/km
Stoffmenge n	Mol	mol	Fläche von Grundstücken A	Ar Hektar	1 a = 100 m ² 1 ha = 100 a
Stoffmengen- konzentration c	–	mol/m ³	¹ Vorsätze G, P siehe Seite 21		
stoffmengenbez. Volumen (molares Volumen) V_m	–	m ³ /mol			
Molalität b	–	mol/kg			
molare Masse M	–	kg/mol			
molare Wärme- kapazität c_p, c_v	–	J/(mol · K)			
Diffusions- koeffizient D	–	m ² /s			

Bruchrechnen, Vorzeichen, Klammern

Fractional Arithmetic, Preceding Signs, Parenthetical Expressions

Regel	Algebraisches Beispiel	Zahlenbeispiel
Bruchrechnung		
Gleichnamige Brüche werden addiert oder subtrahiert, indem man die Zähler addiert oder subtrahiert und die Nenner unverändert lässt.	$\frac{5}{a} - \frac{3}{a} + \frac{7}{a} = \frac{5-3+7}{a} = \frac{9}{a}$	$\frac{5}{8} + \frac{2}{8} - \frac{1}{8} = \frac{5+2-1}{8}$ $= \frac{6}{8} = \frac{3}{4}$
Bei ungleichnamigen Brüchen muss zuerst der Hauptnenner gebildet werden, um sie addieren bzw. subtrahieren zu können. Der Hauptnenner ist der kleinste gemeinsame Nenner, in dem die Nenner aller Brüche ganzzahlig enthalten sind. Die Brüche werden durch Erweitern auf den Hauptnenner gebracht.	$\frac{a}{b} + \frac{c}{d}$ Hauptnenner ist $b \cdot d$ $= \frac{a \cdot d}{b \cdot d} + \frac{c \cdot b}{b \cdot d}$ $= \frac{a \cdot d + c \cdot b}{b \cdot d}$	$\frac{1}{2} + \frac{2}{3} - \frac{3}{4}$ Hauptnenner ist $3 \cdot 4 = 12$ $= \frac{1 \cdot 6}{2 \cdot 6} + \frac{2 \cdot 4}{3 \cdot 4} - \frac{3 \cdot 3}{4 \cdot 3}$ $= \frac{6}{12} + \frac{8}{12} - \frac{9}{12}$ $= \frac{6+8-9}{12} = \frac{5}{12}$
Ein Bruch wird mit einem anderen Bruch multipliziert, indem man Zähler mit Zähler und Nenner mit Nenner multipliziert.	$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$	$\frac{3}{5} \cdot \frac{2}{7} = \frac{3 \cdot 2}{5 \cdot 7} = \frac{6}{35}$
Ein Bruch wird durch einen anderen Bruch dividiert, indem man den Dividenden (Bruch im Zähler) mit dem Kehrwert des Divisors (Bruch im Nenner) multipliziert.	$\frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c} = \frac{a \cdot d}{b \cdot c}$	$\frac{3}{4} : \frac{3}{5} = \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{3} = \frac{3 \cdot 5}{4 \cdot 3}$ $= \frac{5}{4} = 1 \frac{1}{4}$
Vorzeichenregeln		
Haben zwei Faktoren gleiche Vorzeichen, so wird das Produkt positiv .	$a \cdot x = ax$ $(-a) \cdot (-x) = ax$	$2 \cdot 5 = 10$ $(-2) \cdot (-5) = 10$
Haben zwei Faktoren unterschiedliche Vorzeichen, so wird das Produkt negativ .	$a \cdot (-x) = -ax$ $(-a) \cdot x = -ax$	$3 \cdot (-8) = -24$ $(-3) \cdot 8 = -24$
Haben Zähler und Nenner bzw. Dividend und Divisor gleiche Vorzeichen, so ist der Bruch bzw. der Quotient positiv .	$\frac{-a}{-b} = \frac{a}{b}$	$\frac{15}{3} = 15 : 3 = 5$ $\frac{-15}{-3} = (-15) : (-3) = 5$
Haben Zähler und Nenner bzw. Dividend und Divisor unterschiedliche Vorzeichen, so ist der Bruch bzw. der Quotient negativ .	$\frac{a}{-b} = -\frac{a}{b}$ $\frac{-a}{b} = -\frac{a}{b}$	$\frac{15}{-3} = 15 : (-3) = -5$ $\frac{-15}{3} = (-15) : 3 = -5$
Punktrechnungen (\cdot und $:$) müssen vor Strichrechnungen ($+$ und $-$) ausgeführt werden.	$2a + 3a \cdot 2 - 6a : 3$ $= 2a + 6a - 2a = 6a$	$2 + 8 \cdot 4 - 18 : 3$ $= 2 + 32 - 54 = -20$ $4 + 8 : 4 + 20 : 5 - 9 : 3$ $= 4 + 2 + 4 - 3 = 7$
Klammerrechnung		
Klammern, vor denen ein Pluszeichen steht, können weggelassen werden. Die Vorzeichen der Glieder bleiben dann unverändert.	$a + (b - c) = a + b - c$	$16 + (9 - 5) = 16 + 9 - 5 = 20$
Klammern, vor denen ein Minuszeichen steht, können nur aufgelöst (weggelassen) werden, wenn alle Glieder in der Klammer entgegengesetzte Vorzeichen erhalten.	$a - (b - c) = a - b + c$	$16 - (9 - 5) = 16 - 9 + 5 = 12$

Klammerrechnung, Potenzieren

Calculations with Parenthetical Expressions, Exponentiating

Regel	Algebraisches Beispiel	Zahlenbeispiel
Klammerrechnung		
Ein Klammerausdruck wird mit einem Faktor multipliziert, indem man jedes Glied des Klammerausdrucks mit dem Faktor multipliziert.	$a \cdot (b + c) = ab + ac$	$7 \cdot (4 + 5) = 7 \cdot 4 + 7 \cdot 5 = 63$ oder $7 \cdot (4 + 5) = 7 \cdot 9 = 63$
Ein Klammerausdruck wird mit einem Klammerausdruck multipliziert, indem man jedes Glied des einen Klammerausdrucks mit jedem Glied des anderen Klammerausdrucks multipliziert.	$(a + b) \cdot (c - d)$ $= ac - ad + bc - bd$	$(3 + 5) \cdot (10 - 7)$ $= 3 \cdot 10 + 3 \cdot (-7) + 5 \cdot 10 + 5 \cdot (-7)$ $= 30 - 21 + 50 - 35 = 24$ oder $(3 + 5) \cdot (10 - 7) = 8 \cdot 3 = 24$
Das Quadrieren von Summen bzw. Differenzen wird durch Anwendung der Binomischen Formeln vereinfacht. Gleiches gilt für die Multiplikation von $(a + b) \cdot (a - b)$.	$(a + b)^2 = a^2 + ab + ab + b^2$ $= a^2 + 2ab + b^2$ $(a - b)^2 = a^2 - ab - ab + b^2$ $= a^2 - 2ab + b^2$ $(a + b) \cdot (a - b) = a^2 - ab + ab - b^2$ $= a^2 - b^2$	$(4 + 5)^2 = 4^2 + 4 \cdot 5 + 4 \cdot 5 + 5^2$ $= 16 + 20 + 20 + 25 = 81$ oder $(4 + 5)^2 = 9^2 = 81$ $(7 - 2)^2 = 7^2 - 7 \cdot 2 - 7 \cdot 2 + 2^2$ $= 49 - 14 - 14 + 4 = 25$ oder $(7 - 2)^2 = 5^2 = 25$ $(4 + 3) \cdot (4 - 3) = 4^2 - 4 \cdot 3 + 4 \cdot 3 - 3^2$ $= 16 - 9 = 7$ oder $(4 + 3) \cdot (4 - 3) = 7 \cdot 1 = 7$
Ein Klammerausdruck wird durch einen Wert dividiert, indem man jedes Glied im Klammerausdruck durch diesen Wert dividiert.	$(a - b) : c = a : c - b : c$ $\frac{a - b}{b} = \frac{a}{b} - 1$	$(16 - 4) : 4 = 16 : 4 - 4 : 4$ $= 4 - 1 = 3$ oder $(16 - 4) : 4 = 12 : 4 = 3$
Ein Bruchstrich fasst Ausdrücke in gleicher Weise zusammen wie eine Klammer.	$\frac{a + b}{2} \cdot c = (a + b) \cdot \frac{c}{2}$	$\frac{3 + 4}{2} = (3 + 4) : 2 = 7 : 2 = \frac{7}{2}$
Bei gemischten Punkt- und Strichrechnungen mit Klammerausdrücken müssen zuerst die Klammern aufgelöst und danach die Punktrechnungen und dann die Strichrechnungen ausgeführt werden.	$a \cdot (3x - 5y) - b \cdot (12y - 2x)$ $= a \cdot (-2x) - b \cdot 10y$ $= -2ax - 10by$	$8 \cdot (3 - 2) + 4 \cdot (16 - 5)$ $= 8 \cdot 1 + 4 \cdot 11 = 8 + 44 = 52$ oder $8 \cdot (3 - 2) + 4 \cdot (16 - 5)$ $= (8 \cdot 3) - (8 \cdot 2) + (4 \cdot 16) - (4 \cdot 5)$ $= 24 - 16 + 64 - 20$ $= 52$
Potenzieren		
Potenzen mit gleicher Basis werden multipliziert, indem man die Exponenten addiert und die Basis beibehält.	$a^4 \cdot a^2 = a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a = a^6$ oder $a^4 \cdot a^2 = a^{(4+2)} = a^6$	$3^2 \cdot 3^3 = 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 3^5$ oder $3^2 \cdot 3^3 = 3^{(2+3)} = 3^5$
Potenzen mit gleicher Basis werden dividiert, indem man ihre Exponenten subtrahiert und die Basis beibehält.	$\frac{a^2}{a^3} = \frac{a \cdot a}{a \cdot a \cdot a} = \frac{1}{a} = a^{-1}$ oder $a^2 : a^3 = a^{(2-3)} = a^{-1} = \frac{1}{a}$	$\frac{4^3}{4^2} = \frac{4 \cdot 4 \cdot 4}{4 \cdot 4} = 4$ oder $4^3 : 4^2 = 4^{(3-2)} = 4^1 = 4$
Werden Potenzen mit einem Faktor multipliziert, so muss zuerst der Potenzwert berechnet werden. Potenzrechnung geht vor Punktrechnung.	$a \cdot 10^2 = a \cdot 100 = 100a$ $b \cdot 10^{-1} = b \cdot \frac{1}{10} = \frac{b}{10} = 0,1b$	$6 \cdot 10^3 = 6 \cdot 1000 = 6000$ $7 \cdot 10^{-2} = 7 \cdot \frac{1}{100} = 0,07$
Jede Potenz mit dem Exponenten Null hat den Wert 1. Ausnahme: 0^0 ist nicht eindeutig definiert.	$a^0 = 1$ $(a + b)^0 = 1$	$\frac{10^4}{10^4} = 10^{(4-4)} = 10^0 = 1$ $3^0 = 1$ $0^0 = 1$ oder $0^0 =$ nicht definiert

Regel	Algebraisches Beispiel	Zahlenbeispiel
Radizieren		
Ist der Radikand ein Produkt bzw. Quotient, so kann die Wurzel entweder aus dem Produkt bzw. Quotient oder aus jedem einzelnen Faktor gezogen werden.	$\sqrt[n]{a \cdot b} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b}$	$\sqrt{9 \cdot 16} = \sqrt{144} = 12$ oder $\sqrt{9 \cdot 16} = \sqrt{9} \cdot \sqrt{16} = 3 \cdot 4 = 12$
Ist der Radikand eine Summe oder eine Differenz, so kann nur aus dem Ergebnis die Wurzel gezogen werden.	$\sqrt[n]{a - b} = \sqrt[n]{a - b}$	$\sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5$ $\sqrt{5^2 - 4^2} = \sqrt{25 - 16} = \sqrt{9} = 3$
Eine Wurzel kann auch als Potenz geschrieben werden.	$\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}}$	$\sqrt[3]{27} = 27^{\frac{1}{3}} = 3^3 \cdot \frac{1}{3} = 3^{\frac{3}{3}} = 3^1 = 3$
Wurzeln mit gleicher Basis und gleichem Wurzelexponenten können addiert oder subtrahiert werden.	$a \cdot \sqrt[n]{y} + b \cdot \sqrt[n]{y} = (a + b) \cdot \sqrt[n]{y}$ $a \cdot \sqrt[n]{x} - b \cdot \sqrt[n]{x} = (a - b) \cdot \sqrt[n]{x}$	$3 \cdot \sqrt[3]{64} + 4 \cdot \sqrt[3]{64}$ $= 7 \cdot \sqrt[3]{64} = 7 \cdot 4 = 28$ $4 \cdot \sqrt{36} - 2 \cdot \sqrt{36}$ $= 2 \cdot \sqrt{36} = 2 \cdot 6 = 12$
Wurzeln mit gleichem Wurzelexponenten werden multipliziert oder dividiert, indem man das Produkt bzw. den Quotienten der Radikanden radiziert.	$\sqrt[n]{x} \cdot \sqrt[n]{y} = \sqrt[n]{x \cdot y}$ $\sqrt[m]{a} : \sqrt[n]{b} = \sqrt[\frac{m}{n}]{\frac{a}{b}}$	$\sqrt{4} \cdot \sqrt{49} = \sqrt{4 \cdot 49} = \sqrt{196} = 14$ $\sqrt{36} : \sqrt{4} = \sqrt{\frac{36}{4}} = \sqrt{9} = 3$
Eine Wurzel wird radiziert, indem man den Radikanden mit dem Produkt der Wurzelexponenten radiziert.	$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[m \cdot n]{a}$	$\sqrt[3]{\sqrt{64}} = \sqrt[2 \cdot 3]{64} = \sqrt[6]{64} = 2$
Umformen von Gleichungen		
Durch Addition der gleichen Zahl auf beiden Seiten steht die gesuchte Zahl allein auf der rechten Seite.	$y - c = d$ $y - c + c = d + c$ $y = d + c$	$y - 5 = 9$ $y - 5 + 5 = 9 + 5$ $y = 14$
Durch Subtraktion der gleichen Zahl auf beiden Seiten steht die gesuchte Zahl allein auf der rechten Seite.	$x + a = b$ $x + a - a = b - a$ $x = b - a$	$x + 7 = 18$ $x + 7 - 7 = 18 - 7$ $x = 11$
Durch Division der gleichen Zahl auf beiden Seiten steht die gesuchte Zahl allein auf der rechten Seite.	$a \cdot x = b$ $\frac{a \cdot x}{a} = \frac{b}{a}$ $x = \frac{b}{a}$	$6 \cdot x = 23$ $\frac{6 \cdot x}{6} = \frac{23}{6}$ $x = \frac{23}{6} = 3 \frac{5}{6}$
Durch Multiplikation der gleichen Zahl auf beiden Seiten steht die gesuchte Zahl allein auf der rechten Seite.	$\frac{y}{c} = d$ $\frac{y \cdot c}{c} = d \cdot c$ $y = d \cdot c$	$\frac{y}{3} = 7$ $\frac{y \cdot 3}{3} = 7 \cdot 3$ $y = 21$
Durch Potenzieren auf beiden Seiten steht die gesuchte Zahl allein auf der rechten Seite.	$\sqrt[n]{x} = a + b$ $(\sqrt[n]{x})^n = (a + b)^n$ $x = (a + b)^n$	$\sqrt{x} = 4$ $(\sqrt{x})^2 = 4^2$ $x = 16$
Durch Radizieren auf beiden Seiten steht die gesuchte Zahl allein auf der rechten Seite.	$x^n = a + b$ $\sqrt[n]{x^n} = \sqrt[n]{a + b}$ $x = \pm \sqrt[n]{a + b} \text{ f\u00fcr } n \text{ gerade}$ $x = \sqrt[n]{a + b} \text{ f\u00fcr } n \text{ ungerade}$	$x^2 = 36$ $\sqrt{x^2} = \sqrt{36}$ $x = \pm 6$

