



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für elektrotechnische
und elektronische Berufe

Elektrotechnik-Elektronik Grundwissen

Grundbildung für Elektroberufe

18. Auflage

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

Ihre Meinung interessiert uns!

Teilen Sie uns Ihre Verbesserungsvorschläge, Ihre Kritik aber auch Ihre Zustimmung zum
Buch mit.

Schreiben Sie uns an die E-Mail-Adresse: lektorat@europa-lehrmittel.de

Die Autoren und der Verlag Europa-Lehrmittel

Sommer 2023

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 31789

Autoren:

Günther Buchholz	Dipl.-Ing. (FH), Oberstudienrat	Stuttgart
Patricia Burgmaier	Dipl.-Ing. (BA)	Melsungen
Elmar Dehler	Studiendirektor	Laupheim, Ulm
Bernhard Grimm	Oberstudienrat	Leonberg, Sindelfingen
Gregor Häberle	Dr.-Ing., Abteilungsleiter	Tett nang
Bernd Schiemann	Dipl.-Ing.	Durbach

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel GmbH & Co. KG, Ostfildern

Lektorat:

Bernd Schiemann, Durbach/Ortenau

18. Auflage 2023

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-7585-3248-1

Diesem Buch wurden die neuesten Ausgaben der DIN-Blätter und der VDE-Bestimmungen zugrunde gelegt. Verbindlich sind jedoch nur die DIN-Blätter und VDE-Bestimmungen selbst.

Die DIN-Blätter können von der Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstraße 4–7, 10787 Berlin 30, und Kamekestraße 2–8, 50672 Köln, bezogen werden.

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

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Dipl. Des. Susanne Beckmann, 59514 Welper

Umschlag: Atelier PmbH, Beat Hodel, 35088 Battenberg
Umschlagfoto: Monacor International GmbH & Co KG, Bremen
Umschlagidee: Bernd Schiemann

Druck: UAB BALTO print, 08217 Vilnius (LT)

Vorwort zur Auflage 18 „Elektrotechnik-Elektronik Grundwissen“

Das **Fachbuch** ist in der 17. Auflage um Grundlagen der Elektrotechnik ergänzt und an die technische Entwicklung angepasst worden. **In die 18. Auflage wurden einige Aktualisierungen eingearbeitet.**

Der Wandel im Ausbildungs- und Lehrbereich hin zu mehr Schülerelbstständigkeit im Bearbeiten von Projekten lässt sich nur durch fundiertes Grundlagenwissen der Elektrotechnik-Elektronik umsetzen. Nach wichtigen Abschnitten finden Sie die Seiten „**Testen Sie Ihre Kompetenz!**“ zum Prüfen der eigenen Fachkompetenzen. Viele Abschnitte schließen mit Wiederholungs- und Ergänzungsfragen ab, die sich gut zur Vorbereitung auf Tests und Klassenarbeiten eignen.

Das Buch ist fachsystematisch aufgebaut und erleichtert das Nachschlagen, Wiederholen und Vertiefen. Es enthält Erklärungen und Darstellungen der Formeln und Gesetze der elektrotechnischen und elektronischen Grundlagen und das Basiswissen zur Elektronik. Die übersichtliche Darstellung in Text- und Bildspalte wurde beibehalten. Für die Darstellung von Stromkreisen wird auch die Bezugsrichtung von Strömen nach DIN EN 60375:2003 verwendet.

Praxisnaher Bezug und viele Beispiele erleichtern die Anwendung und den Transfer des Gelernten. Mit zahlreichen Beispielen dient es als Mittler zwischen Theorie und Praxis.

Der Umgang mit PC-gestützter Software für weite Bereiche der Elektronik sowie der Simulation elektronischer Schaltungen setzt Kenntnisse in Aufbau und Arbeitsweise von PC-Systemen voraus. Die Kenntnis entsprechender, meist englischer Fachbegriffe erleichtert die Suche im Internet. **Deshalb enthält das Buch auch Seiten mit englischen Fachbegriffen,** sowie ein umfangreiches Sachwortverzeichnis. Berücksichtigt wurden außerdem geänderte Vorschriften und Normen.

Neu:

Referenzkennzeichen (Betriebsmittelkennzeichen) in Schaltplänen der Elektrotechnik, Vorsätze, Größen und Einheiten der IT-Technik, Wichtige Normen

Hinweise auf Bücher des Verlags mit ergänzenden Inhalten werden im Buch abgekürzt verwendet, z. B. **TabIGSA** für das Tabellenbuch „Tabellenbuch Informations-, Geräte-, System- und Automatisierungstechnik“ oder **MEL GS/AT** für Mathematik für Elektroniker.

Das Buch eignet sich bestens für die Berufsausbildung zum **Elektroniker für Betriebstechnik** und für den **Elektroniker für Geräte- und Systeme**. Darüber hinaus vermittelt es das Rüstzeug für die ersten zwei Jahre in den Ausbildungsberufen **Elektroniker für Automatisierungstechnik, IT-Systemelektroniker** und **Mechatroniker**.

Umschüler finden hier ergänzende Erklärungen zur Verwendung aller gängigen Bauelemente und eine Einführung in die Denkweise moderner Elektronik mit vielen Übungsbeispielen.

Durch seine Praxisnähe ist es auch gut geeignet für die **Fachschulen für Technik**, z.B. für Mechatronik und Elektrotechnik sowie **Elektrotechnische und Kommunikationstechnische Berufskollegs** und **IT-Berufskollegs**.

Kapitel	Elektrotechnik – Elektronik Grundwissen		Lernfelder			
			LF 1	LF 2	LF 3	LF 4
1	Grundlagen	Basics electronics	■			
2	Anwendung der Grundlagen	Rectifiers, Amplifiers	■	■		
3	Grundlagen der Digitaltechnik	Digital circuitry			■	
4	Einführung in die Computertechnik	Computer basics				■
5	Automatisierungstechnik	Control Engineering			■	
6	Fertigungstechnik		■			
7	Kundenorientierung			■		
8	Betriebswirtschaft und Geschäftsprozesse			■		

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	7	1.8.E	Capacitors and capacitance	73
Kapitelwegweiser	8	1.8.E1	Capacitors	73
1 Grundlagen		1.8.E2	Types of capacitors	73
1.1 Physikalische Größen	9	1.8.E3	Properties and characteristic values of capacitors	73
1.1.1 Kraftfelder	9	1.9 Strom und Magnetfeld	74	
1.1.2 Masse und Kraft	9	1.9.1	Magnetisches Feld	74
1.1.3 Basisgrößen, Einheiten und abgeleitete Einheiten	10	1.9.1.1	Pole des Magneten	74
1.1.4 Kraft	11	1.9.1.2	Weiß'sche Bezirke	74
1.1.5 Arbeit	11	1.9.1.3	Arten magnetischer Stoffe	75
1.1.6 Energie	12	1.9.1.4	Magnetostraktion	75
1.2 Elektrotechnische Grundgrößen	13	1.9.1.5	Magnetische Feldlinien	76
1.2.1 Ladung	13	1.9.1.6	Anwendung der Dauermagnete	76
1.2.2 Spannung	13	1.9.1.7	Magnetfeld um den Strom	77
1.2.3 Elektrischer Strom	14	1.9.1.8	Magnetfeld einer vom Strom durchflossenen Spule	78
1.2.4 Elektrischer Widerstand	16	1.9.1.9	Magnetische Größen	79
1.2.5 Ohm'sches Gesetz	16	1.9.1.10	Eisen im Magnetfeld einer Spule	81
1.2.6 Widerstand und Temperatur	17	1.9.2	Elektromagnetische Baugruppen	83
1.2.7 Stromdichte	18	1.9.2.1	Elektromagnete	83
1.2.8 Bauformen der Widerstände	18	1.9.2.2	Relais	83
1.2.8.1 Festwiderstände	18	1.9.2.3	Schütz	84
1.2.8.2 Veränderbare Widerstände	20	1.9.E Electricity and magnetism	86	
1.2.8.3 Heißleiterwiderstände NTC	20	1.9.E1	Magnetic fields	86
1.2.8.4 Kaltleiterwiderstände PTC	21	1.9.E2	Electricity makes magnetism	86
1.2.8.5 Spannungsabhängige Widerstände	22	1.9.E3	Electromagnetic induction	86
1.3 Grundschaltungen	24	1.9.E4	Generators	86
1.3.1 Bezugspfeile	24	1.9.3	Strom im Magnetfeld	87
1.3.2 Reihenschaltung	25	1.9.4	Induktion	90
1.3.3 Parallelschaltung	27	1.9.5	Spule im Gleichstromkreis	96
1.3.4 Gemischte Schaltungen	28	1.9.6	Bauformen der Spulen	96
1.3.4.1 Spannungsteiler	29	1.9.E2 Technical uses of magnetism	99	
1.3.4.2 Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung	30	1.9.E2	Contactors and relays	99
1.3.E Basic electronics	32	1.10 Halbleiter	100	
1.3.E1 Electricity and electric charge	32	1.10.1	Bändermodell	100
1.3.E2 Voltage	32	1.10.2	Eigenleitung	101
1.3.E3 Current	32	1.10.3	Störstellenleitung	101
1.3.E4 Ohm's Law	33	1.10.4	Halbleiterdioden	102
1.3.E5 Simple circuits	33	1.10.4.1	Sperrschicht	102
1.3.E6 Resistance and conductivity	34	1.10.4.2	Sperrschichtkapazität	102
1.3.E7 Resistors	34	1.10.4.3	Rückwärtsrichtung und Vorwärtsrichtung	102
1.4 Gefahren des elektrischen Stromes und Überstrom-Schutzeinrichtungen	35	1.10.4.4	Elektrischer Durchbruch	104
1.4.1 Gefahren des elektrischen Stromes	35	1.10.4.5	Bauformen und Kennzeichnung	105
1.4.2 Die 5 Sicherheitsregeln	35	1.10.4.6	Fotodioden, Fotowiderstände und Fotoelemente	107
1.5 Leistung, Arbeit, Wärme	38	1.10.4.7	LED und Optokoppler	109
1.5.1 Elektrische Leistung	38	1.10.4.8	Arbeitspunkt	111
1.5.2 Elektrische Arbeit	40	1.10.4.9	Z-Dioden	114
1.5.3 Mechanische Leistung	41	1.10.4.10	Kapazitätsdioden	115
1.5.4 Wirkungsgrad	41	1.10.4.11	PIN-Dioden	115
1.5.5 Temperatur und Wärme	43	1.10.4.12	Schottkydioden	116
1.5.6 Wärmeübertragung	44	1.10.4.13	Leistungsdioden	116
1.5.7 Leistungshyperbel	45	1.10.4.14	Halbleiterlaser	116
1.6 Spannungserzeuger	47	1.10.E Semiconductor diodes	118	
1.6.1 Arten der Spannungserzeugung	47	1.10.E1	Rectifier diode	118
1.6.2 Belastungsfälle einer Spannungsquelle	48	1.10.E2	Zener diode	118
1.6.3 Anpassung	49	1.10.E3	Variable capacitance diode	119
1.6.4 Schaltungen von Spannungserzeugern	50	1.10.E4	Schottky diode	119
1.6.5 Ersatzspannungsquelle	51	1.11 Schaltungstechnik und Funktionsanalyse	120	
1.7 Wechselspannung und Wechselstrom	53	1.11.1	Schaltungsunterlagen	120
1.7.E Dangers from electric current	60	1.11.2	Referenzkennzeichnung in der Elektrotechnik	121
1.7.E1 Effects	60	1.11.2	Schaltungen mit Installationsschaltern	122
1.7.E2 Circuit breakers and RCDs	60	1.11.3	Schaltfunktion	122
1.8 Spannung und elektrisches Feld	61	1.11.4	Schützsicherungen	124
1.8.1 Elektrisches Feld	61	1.11.5	Schaltungen mit Zeitschaltern	126
1.8.2 Kondensator	63	1.12 Werkstoffe	127	
1.8.3 Schaltungen von Kondensatoren	66	1.12.1	Atommodell	127
1.8.4 Kondensator im Gleichstromkreis	67	1.12.2	Periodensystem	128
1.8.5 Bauformen der Kondensatoren	68	1.12.3	Chemische Bindungen	128

1.12.4 Säuren, Basen und Salze 130
 1.12.5 Normung von Eisenmetallen 130
 1.12.6 Elektrochemie 131
 1.12.6.1 Stromleitung in Flüssigkeiten 131
 1.12.6.2 Elektrolytische Elemente 131
 1.12.7 Korrosion 134
 1.12.8 Leiterwerkstoffe 135
 1.12.9 Leitungen 135
 1.12.9.1 Leitungen der Energietechnik 135
 1.12.9.2 Leitungen der Informationstechnik 137

1.12.E Transmission media in computer networks 138

1.12.E1 Coaxial cables 138
 1.12.E2 Twisted-pair cables 138
 1.12.E3 Fiber-optic cables 138

2 Anwenden der Grundlagen

2.1 Blindwiderstände an sinusförmiger Wechselspannung 139

2.1.1 Blindwiderstände an Wechselspannung 139
 2.1.1.1 Wechselstromwiderstand des Kondensators 139
 2.1.2 Wechselstromwiderstand der Spule 140
 2.1.3 Schaltungen von nicht gekoppelten Spulen 141

2.2 RC-Schaltungen und RL-Schaltungen 142

2.2.1 Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand 142
 2.2.2 Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand 143
 2.2.3 Verluste im Kondensator 145
 2.2.4 Verluste in der Spule 146
 2.2.5 Impulsverformung 148
 2.2.6 Passive Filterschaltungen 150

2.3 Schwingkreise 154

2.3.1 Schwingung und Resonanz 154
 2.3.2 Reihenschwingkreis 155
 2.3.3 Parallelschwingkreis 156
 2.3.4 Eigen- und Resonanzfrequenz 157
 2.3.5 Bandbreite und Güte 158
 2.3.6 Mechanische Bandfilter 159

2.3.E Filters 161

2.4 Leistungen bei Wechselstrom 162

2.4.1 Wirkleistung 162
 2.4.2 Blindleistung, Scheinleistung 162
 2.4.3 Leistungsreiecke 163
 2.4.4 Leistungsfaktor 164
 2.4.5 Kompensation von Blindleistung 165

2.5 Transformatoren 166

2.5.1 Wirkungsweise und Begriffe 166
 2.5.2 Aufbau von Transformatoren 166
 2.5.3 Idealer Transformator 167
 2.5.4 Realer Transformator im Leerlauf 169
 2.5.5 Realer Transformator unter Last 170
 2.5.6 Besondere Transformatorarten 171

2.6 Dreiphasenwechselspannung, Drehstrom 173

2.6.1 Entstehung der Dreiphasenwechselspannung 173
 2.6.2 Sternschaltung 174
 2.6.3 Dreieckschaltung 175

2.6.E Transformers and three-phase system 177

2.6.E1 Generation 177
 2.6.E2 Star connection and delta connection 177
 2.6.E3 Transformers 177

2.7 Transistoren 178

2.7.1 Bipolare Transistoren 178
 2.7.2 Feldeffekttransistoren FET 185
 2.7.3 Bauelemente der Leistungselektronik 190
 2.7.3.1 Thyristoren 190
 2.7.3.2 Triac und Diac 192
 2.7.4 Integrierte Schaltungen IC 193

2.7.E Bipolar transistors 195

2.8 Bildausgabegeräte 196

2.8.1 Beamer 196
 2.8.2 LC-Bildschirme (Liquid Crystal Display) 197
 2.8.3 Aufbau eines LC-Bildschirms 199
 2.8.4 Pixeldichte und Betrachtungsabstand 199
 2.8.5 Monitorbildschirme 200
 2.8.6 TV-Geräte 200
 2.8.7 Sehbereich und Farbäume von LCD 201

2.9 Stromversorgung elektronischer Schaltungen 202

2.9.1 Netzgeräte 202
 2.9.2 Prinzip der Gleichrichtung 202
 2.9.3 Gleichrichterschaltungen 203
 2.9.4 Gleichrichter mit einstellbarer Spannung 206
 2.9.5 Glättung der gleichgerichteten Spannung 207
 2.9.6 Stabilisieren 209
 2.9.6.1 Stabilisierungsfaktor 209
 2.9.6.2 Lineare Spannungsregler 210
 2.9.6.3 Schaltregler für Festspannungen 213
 2.9.7 Unterbrechungsfreie Stromversorgung USV 215

2.9.E Rectifier circuits 216

2.9.E1 Half-wave rectifier circuit E1 216
 2.9.E2 Full-wave rectifier circuit B2 216

2.10 Verstärker 217

2.10.1 Grundbegriffe 217
 2.10.2 Verstärker mit bipolaren Transistoren 221
 2.10.2.1 Verstärkergrundschaltungen 221
 2.10.2.2 Arbeitspunkt 222
 2.10.2.3 Emitterschaltung 223
 2.10.2.4 Verstärker für den D-Betrieb 225
 2.10.2.5 Gegenkopplung 226
 2.10.2.6 Gegentakt-schaltungen 227
 2.10.3 Verstärker mit Feldeffekttransistoren 228
 2.10.4 Operationsverstärker 232
 2.10.4.1 Schaltungen mit Operationsverstärkern 234

2.10.E Amplifiers 240

2.10.E1 Transistor as amplifier 240
 2.10.E2 Operational amplifier (OpAmp) 240
 2.10.E3 Operational amplifier as inverting amplifier 240

2.11 Generatoren und Kippschaltungen 241

2.11.1 Sinusgeneratoren 241
 2.11.2 Elektronische Schalter 243
 2.11.3 Astabile Kippschaltung (Rechteckgenerator) 244
 2.11.4 Sägezahn-generator 245
 2.11.5 Bistabile Kippschaltung 245
 2.11.6 Monostabile Kippschaltung 245
 2.11.7 Schwellwert-schalter 246
 2.12 Messgeräte 248
 2.12.1 Zeigermesswerke 248
 2.12.2 Digitalmultimeter 250
 2.12.3 Digitales Speicheroszilloskop DSO 251
 2.12.4 Scopemeter 255
 2.12.5 PC-Oszilloskop 256
 2.12.6 PC-Messtechnik 257

2.12.E Measuring equipment 258

2.12.E1 Multimeters 258
 2.12.E2 Oscilloscopes 258

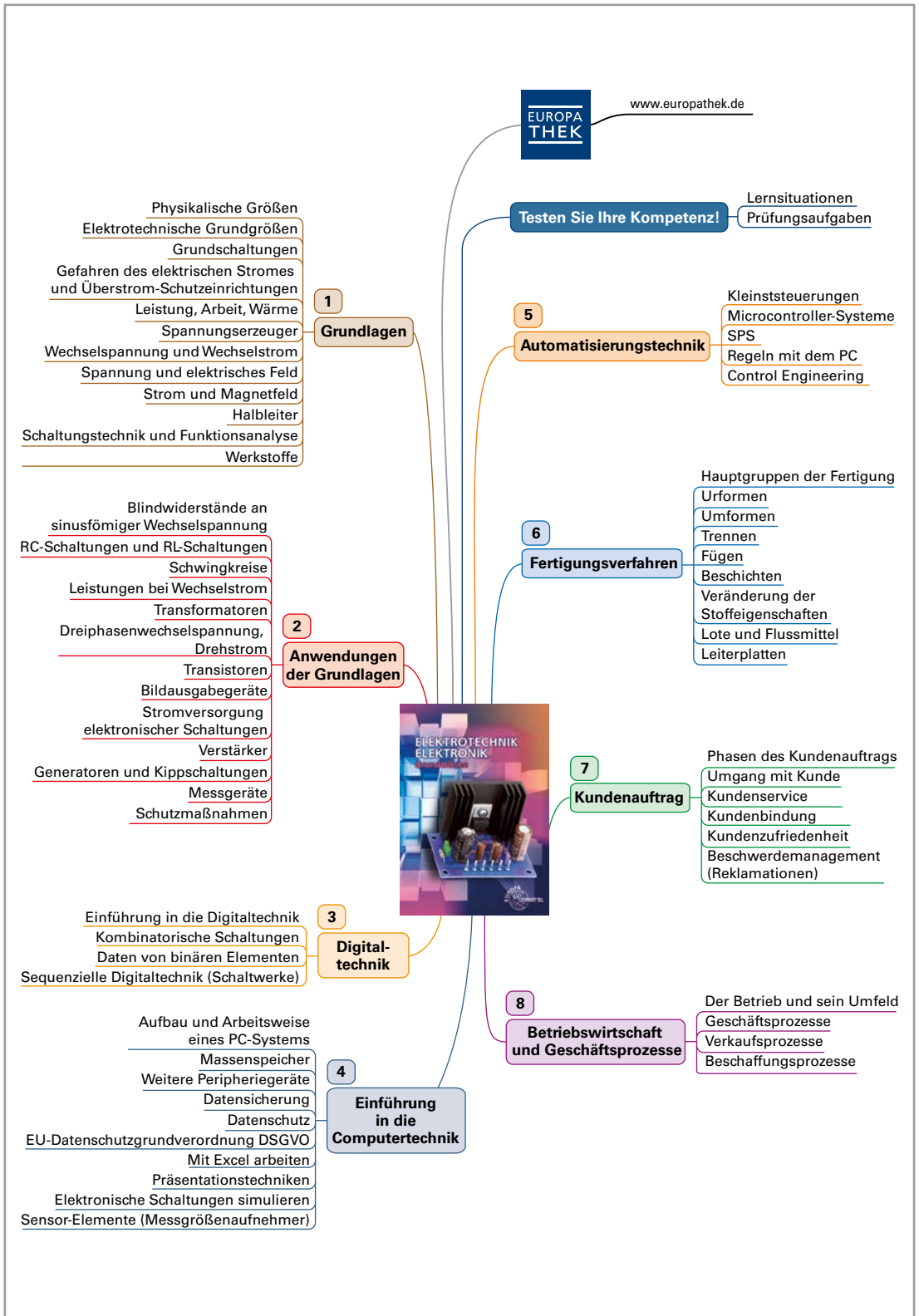
2.13 Schutzmaßnahmen 259

2.13.1 Sicherheitsbestimmungen 259
 2.13.2 Schutzarten elektrischer Betriebsmittel 261
 2.13.3 Systemunabhängige Schutzmaßnahmen 261
 2.13.4 Systemabhängige Schutzmaßnahmen 263
 2.13.5 Prüfung von Schutzmaßnahmen 266
 2.13.6 Unfallverhütung und Brandbekämpfung 266
 2.13.7 Weitere Qualitätskennzeichnungen 267
 2.13.8 EU-Maschinenrichtlinie 268
 2.13.9 Funktionale Sicherheit nach SIL 268
 2.13.10 Performance-Level 269

2.13.E	Protective Measures	270	5.E	Control Engineering	334
2.13.E1	Important terms and definitions.	270	5.E1	Open-loop control system	334
2.13.E2	Protective measures against excessive contact voltages	270	5.E2	Closed-loop control system	334
3	Digitaltechnik	271	6	Fertigungsverfahren	335
3.1	Einführung in die Digitaltechnik.	271	6.1	Hauptgruppen der Fertigung	335
3.1.1	Dualcode.	271	6.2	Urformen	335
3.1.2	Binäre Elemente.	272	6.3	Umformen	336
3.1.3	Grundlagen der Schaltalgebra	274	6.4	Trennen	336
3.2	Kombinatorische Schaltungen	276	6.5	Fügen	338
3.2.1	Weitere binäre Elemente.	276	6.6	Beschichten	340
3.2.2	Analyse und Synthese von Schaltungen.	277	6.7	Veränderung der Stoffeigenschaften	340
3.3	Daten von binären Elementen	281	6.8	Lote und Flussmittel	342
3.3.1	Binäre Elemente mit besonderen Ausgängen	281	6.9	Leiterplatten	343
3.3.2	Digitale Schaltkreisfamilien	282	6.9.1	Basismaterial	343
3.4	Sequenzielle Digitaltechnik (Schaltwerke)	284	6.9.2	Leiterplattenherstellung	344
3.4.1	Binärspeicher	284	7	Kundenauftrag	347
3.4.2	Asynchrone Kippglieder (Flipflops)	286	7.1	Phasen des Kundenauftrags.	347
3.4.3	Synchrone Kippglieder (Flipflops)	287	7.2	Umgang mit Kunden.	349
3.4.4	Zeitgeber mit dem Timer NE555	289	7.3	Kundenservice	351
3.2.E	Digital technology	290	7.4	Kundenbindung	351
3.2.E1	Fundamentals of digital technology.	290	7.5	Kundenzufriedenheit.	352
3.2.E2	Basic logic functions	290	7.6	Beschwerdemanagement (Reklamationen).	353
3.2.E3	Working with datasheets.	291	8	Betriebswirtschaft und Geschäftsprozesse	356
4	Einführung in die Computertechnik	292	8.1	Der Betrieb und sein Umfeld	356
4.1	Aufbau und Arbeitsweise eines PC-Systems	292	8.1.1	Betrieb und Unternehmen	356
4.2	Massenspeicher	295	8.1.2	Marktwirtschaft und Staat	357
4.3	Weitere Peripheriegeräte	296	8.1.3	Interessenvertretungen	357
4.4	Datensicherung	297	8.2	Geschäftsprozesse.	357
4.5	Datenschutz	298	8.2.1	Wertschöpfungsprozesse	357
4.6	EU-Datenschutzgrundverordnung DSGVO	299	8.2.2	Ablauf von Geschäftsprozessen	358
4.7	Mit Excel arbeiten	300	8.2.3	Geschäftsprozesse und betriebliche Organisation.	359
4.8	Präsentationstechniken.	302	8.2.4	Informationsbeschaffung.	360
4.9	Elektronische Schaltungen simulieren	303	8.3	Verkaufsprozesse	361
4.9.1	Analoge Schaltungen simulieren mit Multisim	303	8.3.1	Verkaufskalkulation	361
4.9.2	Analoge Schaltungen mit PSpice simulieren.	306	8.3.2	Erstellung eines Angebots	361
4.9.3	Digitale Schaltungen mit PSpice simulieren	309	8.3.3	Verträge.	361
4.9.E	Computer basics	310	8.3.3.1	Kaufvertrag	362
4.9.E1	Data processing with a PC	310	8.3.3.2	Servicevertrag	362
4.9.E2	Basic parts of a PC system	310	8.3.3.3	Leasingvertrag und Mietvertrag.	362
4.10	Sensor-Element (Messgrößenaufnehmer)	311	8.3.3.4	Allgemeine Geschäftsbedingungen (AGB)	362
4.10.1	Sensorarten	311	8.3.4	Rechnungsstellung	363
4.10.2	Anschlusstechniken von Sensoren.	312	8.4	Beschaffungsprozesse.	363
4.10.3	Sensoren/Aktoren an Feldbus und IO-Link	313	8.4.1	Bestellmengenplanung	363
4.10.4	Wichtige Sensoren	314	8.4.2	Anfrage	363
5	Automatisierungstechnik	315	8.4.3	Pflichtenheft	364
5.1	Kleinsteuerungen	315	8.4.4	Bestellung.	365
5.2	Mikrocontroller-Systeme	318	8.4.5	Überwachung des Beschaffungsprozesses	365
5.2.1	ARDUINO	318	8.4.6	Produkthaftung.	365
5.2.2	Raspberry Pi	319	8.4.7	Technische Dokumentation.	366
5.3	SPS	320	Fachwortliste Englisch – Deutsch.	368	
5.3.1	Funktionseinheiten	321	Verzeichnis der Firmen und Dienststellen.	370	
5.3.2	Sensorik und Aktorik	322	Sachwortverzeichnis	371	
5.3.3	Programmierung	323	Referenzkennzeichen.	381	
5.3.4	Sicherheitsaspekte.	325	Vorsätze	382	
5.3.5	Programm-Entwurfsverfahren	326	Wichtige Normen.	383	
5.4	Regeln mit dem PC	329	Bildquellenverzeichnis.	384	
5.4.1	Der Regelkreis	329			
5.4.2	Der PC im Regelkreis	330			
5.4.3	Regeln mit un stetigen Reglern.	331			
5.4.4	Digitalregler	332			

Formelzeichen dieses Buches					
Formelzeichen	Bedeutung	Formelzeichen	Bedeutung	Formelzeichen	Bedeutung
Kleinbuchstaben		Großbuchstaben		Griechische Kleinbuchstaben	
<i>a</i>	1. Beschleunigung 2. Dämpfungsmaß	<i>A</i>	1. Fläche, Querschnitt 2. Ablenkkoeffizient 3. Dämpfungsmaß	α (alpha)	1. Winkel 2. Temperaturkoeffizient
<i>b</i>	1. Ladungsträgerbeweglichkeit	<i>B</i>	1. Magnetische Flussdichte 2. Blindleitwert 3. Gleichstromverhältnis 4. Bandbreite 5. Zahlenbasis	β (beta)	1. Winkel 2. Kurzschluss-Stromverstärkungsfaktor
<i>c</i>	1. spez. Wärmekapazität 2. elektrochemisches Äquivalent 3. Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen	<i>C</i>	1. Kapazität 2. Wärmekapazität 3. Taktanzahl	γ (gamma)	1. Winkel 2. Leitfähigkeit
<i>d</i>	1. Durchmesser 2. Abstand 3. Verlustfaktor 4. Differenztonfaktor 5. Klirrfaktor (früher <i>k</i>)	<i>D</i>	1. Elektrische Flussdichte 2. Dämpfungsfaktor 3. Dynamikbereich	δ (delta)	1. Verlustwinkel 2. Modulationsindex
<i>e</i>	Elementarladung	<i>E</i>	1. Elektrische Feldstärke 2. Beleuchtungsstärke	ϵ_0	Elektrische Feldkonstante
<i>f</i>	1. Frequenz 2. Umdrehungsfrequenz	<i>F</i>	1. Kraft, 2. Rauschfaktor, 3. Faktor, 4. Fehler	ϵ (epsilon)	Permittivität
<i>g</i>	1. Fallbeschleunigung, Ortsfaktor 2. Tastgrad 3. Übertragungsmaß	<i>G</i>	1. Leitwert, Wirkleitwert 2. Verstärkungsmaß	ζ (zeta)	Arbeitsgrad
<i>h</i>	Höhe	<i>H</i>	Magnetische Feldstärke	η (eta)	Wirkungsgrad
<i>i</i>	zeitabhängige Stromstärke	<i>I</i>	Stromstärke	ϑ (theta)	Temperatur in °C
<i>k</i>	1. Verkürzungsfaktor 2. Konstante	<i>J</i>	1. Stromdichte 2. Trägheitsmoment	λ (lambda)	1. Wellenlänge 2. Leistungsfaktor
<i>l</i>	1. Länge, 2. Abstand	<i>K</i>	1. Konstante 2. Kopplungsfaktor	μ (müh)	Permeabilität
<i>m</i>	1. Masse 2. Modulationsgrad 3. Strangzahl 4. Zahl der Stufen	<i>L</i>	1. Induktivität 2. Pegel	μ_0	Magnetische Feldkonstante
<i>n</i>	1. Drehzahl, Umdrehungsfrequenz 2. ganze Zahl 1, 2, 3 ... 3. Brechzahl	<i>M</i>	1. Drehmoment (Kraftmoment) 2. Gleichwert 3. Speicherkapazität	π (pi)	Kreiszahl
<i>p</i>	1. Polpaarzahl, 2. Druck	<i>N</i>	1. Zahl, z. B. Windungszahl 2. Nachrichtenmenge	ρ (rho)	1. spez. Widerstand 2. Dichte
<i>q</i>	Querstromverhältnis	<i>P</i>	Leistung, Wirkleistung	σ (sigma)	1. Streufaktor 2. Rauschabstand
<i>r</i>	1. Radius 2. Rate 3. differentieller Widerstand	<i>Q</i>	1. Ladung 2. Wärme 3. Blindleistung 4. Gütefaktor, Güte	τ (tau)	1. Zeitkonstante 2. Impulsdauer 3. Pausendauer
<i>s</i>	1. Strecke, Dicke 2. Siebfaktor 3. bezogener Schlupf 4. Korrektur 5. Welligkeitsfaktor	<i>R</i>	Widerstand, Wirkwiderstand	φ (phi)	Winkel, insbesondere Phasenverschiebungswinkel
<i>t</i>	Zeit	<i>S</i>	1. Scheinleistung 2. Steilheit 3. Schlupf (absolut) 4. Übertragungsgröße, Übertragungskoeffizient 5. Schlankheitsgrad 6. Signal	ω (omega)	1. Winkelgeschwindigkeit 2. Kreisfrequenz
<i>u</i>	zeitabhängige Spannung	<i>T</i>	1. Periodendauer 2. Übertragungsfaktor 3. Temperatur in K	Griechische Großbuchstaben	
<i>ü</i>	1. Übersetzungsverhältnis 2. Übersteuerungsfaktor	<i>U</i>	Spannung	Δ (Delta)	Differenz, Änderung z. B. Δf Bandbreite, Frequenzhub, $\Delta\varphi$ Phasenhub
<i>v</i>	1. Geschwindigkeit 2. Verstärkungsmaß	<i>V</i>	1. Volumen 2. Verstärkungsfaktor 3. Verlustleistung	Θ (Theta)	Durchflutung
<i>w</i>	1. Energiedichte	<i>W</i>	1. Arbeit, 2. Energie	Φ (Phi)	1. Magnetischer Fluss 2. Lichtstrom
<i>z</i>	Ganze Zahl, z. B. Lagenzahl, Leiterzahl	<i>X</i>	Blindwiderstand	Ψ (Psi)	Elektrischer Fluss
		<i>Y</i>	Scheinleitwert	Ω (Omega)	Raumwinkel
		<i>Z</i>	1. Impedanz, Scheinwiderstand 2. Wellenwiderstand 3. Schwingungswiderstand		

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



1 Grundlagen

1.1 Physikalische Größen

Zur Beschreibung der elektrotechnischen Vorgänge sind physikalische Begriffe unentbehrlich.

1.1.1 Kraftfelder

Auf einen Körper kann durch unmittelbare Berührung eine Wirkung ausgeübt werden, z. B. eine Kraft. Die Wirkung kann aber oft auch aus der Ferne erfolgen, z. B. durch die Anziehungskraft der Erde auf einen Satelliten (**Bild 1**). Ohne diese Anziehungskraft würde der Satellit mit gleichbleibender Geschwindigkeit in den Weltraum fliegen.

Tritt eine Wirkung aus der Ferne ein, so sagt man, dass ein **Feld** zwischen der Ursache der Wirkung und dem Körper ist. Ist mit der Wirkung eine Kraft verbunden, so spricht man von einem **Kraftfeld**.

Körper üben aufeinander eine Anziehungskraft aus, die auch aus der Ferne wirkt. Diese Anziehungskraft ist um so größer, je größer die Massen der Körper sind und je kleiner ihr Abstand voneinander ist. Bei kleinen Massen ist diese Anziehungskraft sehr klein, bei großen Massen, z. B. Himmelskörpern, aber recht groß.

Jeder Raum kann von Feldern erfüllt sein.

Bekannt ist das **Schwerefeld** der Erde. Es bewirkt, dass es sehr schwierig ist, die Erde und ihre Umgebung zu verlassen.

In der Nähe von elektrischen Leitungen tritt ein **elektrisches Feld** auf (Abschnitt 1.8). In der Nähe von Magneten ist ein **magnetisches Feld** wirksam (Abschnitt 1.9). Sich rasch ändernde elektrische bzw. magnetische Felder sind immer miteinander verknüpft. Man nennt sie deshalb elektromagnetische Felder. Beim Satelliten Bild 1 sind gleichzeitig mehrere elektromagnetische Felder wirksam. Die verschiedenen Antennen empfangen diese Felder oder strahlen sie ab. Die Flächen mit Solarzellen (von lat. sol = Sonne) nehmen die elektromagnetischen Felder der Lichtstrahlung auf und versorgen den Satelliten mit elektrischem Strom. Außerdem ist natürlich das Schwerefeld der Erde wirksam.

1.1.2 Masse und Kraft

Die Angabe der **Masse** eines Körpers gibt Auskunft darüber, ob es leicht oder schwer ist, die Bewegung des Körpers zu ändern. Die Masse ist unabhängig

! Ein Körper mit der Masse 1 kg hat auf der Erde eine Gewichtskraft von etwa 10 N.



Bild 1: Satellit im Schwerfeld der Erde

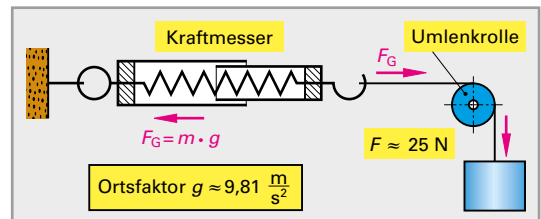


Bild 2: Kraftmessung

von Ort und Umgebung. Die Einheit der Masse ist das Kilogramm (kg). Ihre Messung erfolgt z. B. auf einer Balkenwaage durch Vergleich mit geeichten Massen.

Die Masse ist an jedem Punkt der Erde und außerhalb der Erde gleich groß.

Infolge des Schwerfeldes der Erde wirkt auf jede Masse auf der Erde oder nahe der Erde eine Kraft. Diese Gewichtskraft kann mit einem Kraftmesser gemessen werden. Beim Kraftmesser tritt unter der Wirkung der Kraft eine Verformung ein, deren Größe ein Maß für die Kraft ist (**Bild 2**). Die Einheit der Kraft ist das Newton¹ mit dem Einheitenzeichen N.

¹ Sir Isaac Newton (sprich Njutn), engl. Physiker, 1643 bis 1727

1.1.3 Basisgrößen, Einheiten und abgeleitete Einheiten

Physikalische Größen sind messbare Eigenschaften von Körpern, physikalischen Zuständen oder physikalischen Vorgängen, z. B. Masse, Länge, Zeit, Kraft, Geschwindigkeit, Stromstärke, Spannung oder Widerstand. Jeder spezielle Wert einer Größe kann durch das Produkt von Zahlenwert und Einheit angegeben werden, z. B. zu 10 kg. Der spezielle Wert einer Größe wird **Größenwert** und in der Messtechnik **Messwert** genannt.

Formelzeichen verwendet man zur Abkürzung von Größen, insbesondere bei Berechnungen. Man verwendet als Formelzeichen Buchstaben des lateinischen oder des griechischen Alphabets.

Physikalische Größen, aus denen man die anderen Größen ableiten kann, nennt man Basisgrößen (**Tabelle 1**).

Vektoren nennt man Größen, zu denen eine Richtung und ein Betrag gehört, z. B. ist die Kraft ein Vektor. Vektoren werden grafisch als Pfeil \rightarrow dargestellt.

Formeln sind kurzgefasste Anweisungen, wie ein Größenwert zu berechnen ist. Wegen ihres Gleichheitszeichens spricht man auch von Gleichungen. Mithilfe der Berechnungsformel kann man meist auch die Einheit des berechneten Ergebnisses erhalten.

Beispiel 1: Geschwindigkeit berechnen

Für eine gleichbleibende Geschwindigkeit gilt die Formel $v = s/t$. Wie groß ist die Geschwindigkeit eines Autos, das in 10 s eine Strecke von 180 m zurücklegt?

Lösung:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{180 \text{ m}}{10 \text{ s}} = \mathbf{18 \frac{m}{s}} = 18 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \mathbf{64,8 \frac{\text{km}}{\text{h}}}$$

Einheiten

Die meisten physikalischen Größen haben Einheiten. Die Einheit ist oft aus einem Fremdwort entstanden, z. B. Meter vom griechischen Wort metron für Messen. Oft sind aber Einheiten auch zu Ehren von Wissenschaftlern benannt, z. B. das Ampere¹. Einheiten der Basisgrößen sind die Basiseinheiten (Tabelle 1). **Einheitenzeichen** sind die Abkürzungen für die Einheiten. Einheitenzeichen werden im Gegensatz zu den Formelzeichen senkrecht gedruckt.

¹ André Marie Ampère, franz. Physiker, 1775 bis 1836

² Charles A. de Coulomb, franz. Physiker, 1736 bis 1806

³ Heinrich Hertz, deutscher Physiker, 1857 bis 1894

! Formelzeichen werden in diesem Buch *kursiv* (schräg) gedruckt.

Tabelle 1: Basisgrößen

Größe	Formelzeichen	Einheit	Einheitenzeichen
Länge	<i>l</i>	Meter	m
Masse	<i>m</i>	Kilogramm	kg
Zeit	<i>t</i>	Sekunde	s
Stromstärke	<i>I</i>	Ampere	A
Temperatur	<i>T</i>	Kelvin	K
Lichtstärke	<i>I_v</i>	Candela	cd
Stoffmenge	<i>u</i>	Mol	N

Gewichtskraft und Geschwindigkeit

$$F_G = m \cdot g$$

$$v = \frac{s}{t}$$

F_G Gewichtskraft

g Ortsfaktor, Umrechnungskoeffizient (Fallbeschleunigung)

An der Erdoberfläche ist $g = 9,81 \text{ N/kg} \approx 10 \text{ N/kg}$.

m Masse

v Geschwindigkeit

s zurückgelegte Strecke

t Zeit für das Zurücklegen der Strecke

Tabelle 2: Abgeleitete Einheiten (Beispiele)

Einheit und Einheitenzeichen der Basisgröße	besonderer Einheitenname	Einheitenzeichen
Amperesekunde	A · s	Coulomb ²
Je Sekunde	1/s	Hertz ³
Meterquadrat	m · m	–
		C
		Hz
		m ²

Abgeleitete Einheiten sind aus Basiseinheiten zusammengesetzt oder auch aus anderen, abgeleiteten Einheiten. Oft haben derartige abgeleitete Einheiten einen besonderen Einheitennamen (**Tabelle 2**). Auch die besonderen Einheitennamen haben genommene Einheitenzeichen. Einheitennamen erinnern an Wissenschaftler und ermöglichen eine kurze Schreibweise der Größe.

Es ist zulässig, die besonderen Einheitennamen als Einheiten zu bezeichnen. Einheiten mit besonderem Einheitennamen sind z. B. Volt (V), Ohm (Ω), Watt (W), Farad (F) und Henry (H).

Die abgeleitete Einheit einer Größe erhält man, wenn man in die Berechnungsformel dieser Größe die Einheiten entsprechend einsetzt. Dafür gibt es eine besondere Schreibweise.

Beispiel 1: Einheit berechnen

Die Geschwindigkeit berechnet man aus der Strecke s und der Zeit t mit der Formel $v = s/t$. Zu berechnen ist $[v]$ (sprich: Einheit von v).

Lösung:

$$v = s/t \Rightarrow (\text{sprich: daraus folgt}) [v] = [s] / [t] = \text{m/s}$$

Vorsätze geben bei sehr kleinen oder sehr großen Zahlenwerten die Zehnerpotenz an, mit welcher der Zahlenwert einer Größe malzunehmen ist (**Tabelle 1**). Die Vorsätze Atto und Femto werden z. B. für kleinste Kapazitäten, die Vorsätze Tera und Peta z. B. für Kapazitäten von Datenspeichern verwendet.

Die Zehnerpotenzen der Zahlenwerte von Größen schreibt man als Vorsatzzeichen der Einheitenzeichen.

Tabelle 1: Vorsätze zu den Einheiten, Vorsatzzeichen, Bedeutung		
Atto	a	10^{-18}
Femto	f	10^{-15}
Piko	p	10^{-12}
Nano	n	10^{-9}
Mikro	μ	10^{-6}
Milli	m	10^{-3}
Zenti	c	10^{-2}
Dezi	d	10^{-1}
Kilo	k	10^3
Mega	M	10^6
Giga	G	10^9
Tera	T	10^{12}
Peta	P	10^{15}

1.1.4 Kraft

Ein beweglicher Körper kann durch eine Kraft beschleunigt werden, also seine Geschwindigkeit ändern. Als **Beschleunigung** bezeichnet man den Quotienten aus Geschwindigkeitsänderung durch Zeitabschnitt, in dem diese Änderung erfolgt.

Je größer bei einer Masse die Beschleunigung ist, desto größer ist die auf die Masse wirkende Kraft. Man bezeichnet diesen Zusammenhang als **Grundgesetz der Mechanik**.

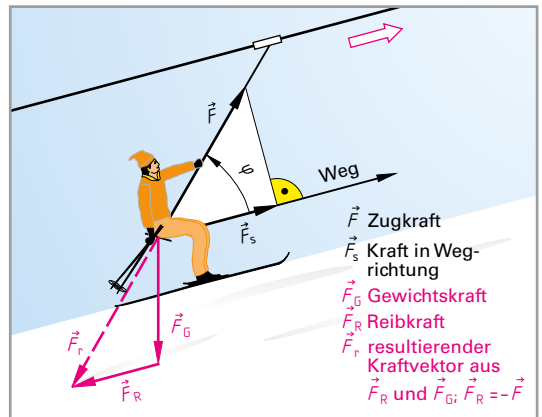


Bild 1: Kräfte bei einem Schlepplift

Darstellung von Kräften. Die Kraft ist ein Vektor, der durch die Pfeilstrecke \vec{F} (sprich: Vektor F) dargestellt wird (**Bild 1**). Die Länge der Pfeilstrecke gibt $|\vec{F}| = F$ (sprich: Betrag des Vektors F) an, die Pfeilrichtung die Wirkungsrichtung. Bei der Addition hängt man die Kraftvektoren unter Berücksichtigung ihrer Richtung aneinander (siehe **MEL GS/AT**).

1.1.5 Arbeit

Eine Arbeit wird aufgewendet, wenn infolge einer Kraft ein Wegstück zurückgelegt wird, z. B. von einem Hubstapler gegen die Gewichtskraft der Last. Der Größenwert der mechanischen Arbeit ist also das Produkt aus Kraft und Weg. Die Einheit der Arbeit ist das Newtonmeter (Nm) mit dem besonderen Einheitennamen Joule¹ (J). Liegen Kraft und Weg nicht auf derselben Geraden, so wird zur Berechnung der Arbeit nur die Teilkraft in Wegrichtung berücksichtigt (Bild 1).

Beschleunigung, Kraft und Arbeit

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	$F = m \cdot a$
$[a] = (\text{m/s}) / \text{s} = \text{m/s}^2$	$[F] = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{N}$
$W = F_s \cdot s$	$W = F \cdot s \cdot \cos \varphi$
$[W] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{Nm} = \text{J}$	

a Beschleunigung
 Δv Geschwindigkeitsänderung (Δ griech. Buchstabe Delta)
 Δt Zeitabschnitt
F Kraft **F_s** Kraft in Wegrichtung
m Masse **s** Weg
W Arbeit **φ** Winkel zwischen \vec{F} und \vec{F}_s

¹ James Joule (sprich: Dschul), engl. Physiker, 1818 bis 1889

1.1.6 Energie

Die Fähigkeit zum Verrichten einer Arbeit nennt man Arbeitsvermögen oder **Energie**. Die Energie hat dasselbe Formelzeichen und dieselbe Einheit wie die Arbeit. Arbeit und Energie stellen also dieselbe physikalische Größe dar. Jedoch drückt der Begriff Arbeit den Vorgang aus, der Begriff Energie dagegen den Zustand eines Körpers oder eines Systems aus mehreren Körpern. Meist ändert sich die Energie durch Arbeitsaufwand (**Bild 1**). Die beim Heben einer Last aufgewendete Arbeit steckt nach dem Heben in der Last. Diese Arbeit kann wieder freigesetzt werden, wenn die Last gesenkt wird, z. B. bei einem Baukran.

Energie ist Arbeitsvermögen. Arbeit bewirkt Energieänderung.

Außer der mechanischen Energie gibt es weitere Energiearten. In brennbaren Stoffen ist chemische Energie gespeichert. Diese lässt sich durch Verbrennung in Wärmeenergie umwandeln. Die in Atomkernen gespeicherte Energie nennt man Kernenergie oder auch Atomenergie. Die von der Sonne als Wärmestrahlung oder als Lichtstrahlung ausgesandte Energie nennt man Sonnenenergie.

Energie lässt sich nicht erzeugen, sondern nur umwandeln.

Potenzielle Energie (von lat. potentia = Vermögen, Macht) oder Energie der Lage (**Bild 1**) ist die in einem System gespeicherte Energie, z. B. in einer Masse, die sich im Schwerfeld der Erde befindet. Potenzielle Energie bedeutet hier das in Lage 1 gespeicherte Arbeitsvermögen gegenüber einer Lage 0 (Bezugslage). Für die Größe der potenziellen Energie ist also vor allem die Bezugslage (Ausgangslage) maßgebend.

Die potenzielle Energie gegenüber der Bezugslage ist so groß wie die erforderliche Arbeit zur Bewegung der Masse aus der Bezugslage in die neue Lage.

Potenzielle Energie kann auch anders gespeichert werden, z. B. in einer gespannten Feder.

Beispiel 1: Potenzielle Energie berechnen

In einem Stausee befinden sich 1 Million m^3 Wasser (Dichte 1 Mg/m^3) 600 m über dem Turbinenhaus. Wie viel potenzielle Energie ist gegenüber der Lage des Turbinenhauses vorhanden?

Lösung:

$$W_p = m \cdot g \cdot \Delta h \approx 10^6 \text{ m}^3 \cdot \frac{1 \text{ Mg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{10 \text{ N}}{\text{kg}} \cdot 600 \text{ m}$$

$$= 10^9 \cdot 10 \cdot 600 \text{ Nm} = 6 \cdot 10^{12} \text{ Nm} = \mathbf{6 \text{ TJ}}$$

! Energie = Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.

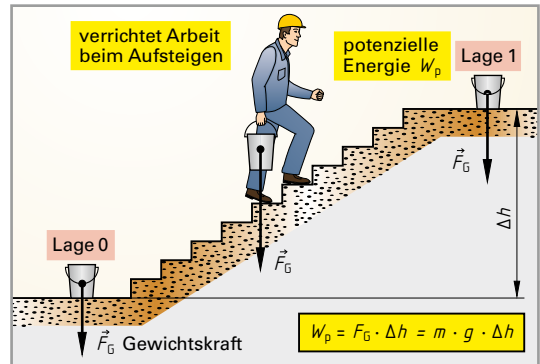


Bild 1: Änderung der Energie durch Arbeit

potenzielle Energie

$$W_p = F_G \cdot \Delta h$$

$$W_p = m \cdot g \cdot \Delta h$$

$$[W_p] = \text{Nm} = \text{J}$$

W_p potenzielle Energie

F_G Gewichtskraft

Δh Höhendifferenz

g Ortsfaktor ($g \approx 10 \text{ N/kg}$)

kinetische Energie

$$W_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$[W_k] = \text{Nm} = \text{J}$$

W_k kinetische Energie

m Masse

v Geschwindigkeit

Kinetische Energie ist in einer bewegten Masse gespeichert, $W_k = \frac{1}{2} m v^2$. Die kinetische Energie ist unabhängig von einer Bezugslage. Sie hängt nur von der Masse und von deren Geschwindigkeit ab.

Beispiel 2: Kinetische Energie berechnen

Ein Auto mit der Masse $m = 1500 \text{ kg}$ fährt mit der Geschwindigkeit $v = 30 \text{ m/s}$. Wie groß ist dessen kinetische Energie?

Lösung:

$$W_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1500 \text{ kg} \cdot \left(30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 675000 \text{ Nm} = \mathbf{675 \text{ kJ}}$$

Wenn einem Körper oder einem System keine Arbeit zugeführt wird, so kann die kinetische Energie des Körpers oder des Systems höchstens so groß werden wie seine potenzielle Energie ist, z. B. beim Fall aus einer bestimmten Höhe.

Wiederholung und Vertiefung

1. Nennen Sie drei Kraftfelder.
2. Geben Sie die Einheit der Kraft an.
3. Erklären Sie den Begriff Vektor.
4. Worin unterscheiden sich Arbeit und Energie?