



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für elektrotechnische
und elektronische Berufe

Elektrotechnik-Elektronik Grundwissen

Grundbildung für Elektroberufe

16. neu bearbeitete und erweiterte 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

Frühjahr 2017

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
Elmar Dehler	Studiendirektor	Laupheim, Ulm
Bernhard Grimm	Oberstudienrat	Leonberg, Sindelfingen
Gregor Häberle	Dr.-Ing., Abteilungsleiter	Tettnang
Werner Philipp	Dipl.-Ing. (FH), Oberstudienrat	Heilbronn
Bernd Schiemann	Dipl.-Ing.	Durbach

Bildbearbeitung:

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

Lektorat:

Bernd Schiemann, Durbach/Ortenau

16. Auflage 2017

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-3465-6

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.

© 2017 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Dipl. Des. Susanne Beckmann, 59514 Welver

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

Druck: M. P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Vorwort zur Auflage 16 „Elektrotechnik-Elektronik Grundwissen“

Das **Fachbuch** ist in der 16. Auflage um Grundlagen der Elektrotechnik ergänzt und an die technische Entwicklung angepasst worden. Dies spiegelt sich auch im geänderten Titel wider.

Der Wandel im Ausbildungs- und Lehrbereich hin zu mehr Schülerselbstständigkeit im Bearbeiten von Projekten lässt sich nur durch fundiertes Grundlagenwissen der Elektrotechnik-Elektronik umsetzen. Nach wichtigen Abschnitten sind die Seiten „**Testen Sie Ihre Kompetenz!**“ zum Prüfen der eigenen Fachkompetenzen eingefügt worden. 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 die Kenntnis des entsprechenden Begriffssystems voraus. Ohne Kenntnis entsprechender, auch englischer, Fachbegriffe bleibt die Suche im Internet erfolglos. Deshalb enthält das Buch auch Seiten mit englischen Fachbegriffen, sowie ein umfangreiches Sachwortverzeichnis. Berücksichtigt wurden außerdem geänderte Vorschriften und Normen.

Neue Kapitel:

Sensorik, Elektronische Schaltungen simulieren mit Multisim und Pspice, Europäische Maschinenrichtlinie, Leiterplattenherstellung.

Modernisiert wurden die Kapitel Transistoren, Bildausgabegeräte und Computertechnik. Viele Seiten sind neu oder wurden aktualisiert, z. B. Schaltregler, Lithium-Ionen-Akkumulatoren, Instrumentenverstärker, Digitale Oszilloskope, Digitalregler, SPS mit bibliotheksfähiger Programmierung und Excel-Anwendungen.

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**, sowie die **elektrotechnischen und elektronischen Grundlagen** der Fachrichtung Mechatronik und Umwelttechnik an **Technischen Gymnasien**.

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

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

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 dieses Buches.....	7	1.7.E2	Circuit breakers and RCDs	60
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches.....	8	1.8	Spannung und elektrisches Feld	61
1	Grundlagen	1.8.1	Elektrisches Feld.....	61
1.1	Physikalische Größen	1.8.2	Kondensator	63
1.1.1	Kraftfelder	1.8.3	Schaltungen von Kondensatoren	66
1.1.3	Basisgrößen, Einheiten und abgeleitete Einheiten	1.8.4	Kondensator im Gleichstromkreis	67
1.1.4	Kraft.....	1.8.5	Bauformen der Kondensatoren	68
1.1.5	Arbeit	1.8.E	Capacitors and capacitance 73	
1.1.6	Energie	1.8.E1	Capacitors	73
1.2	Elektrotechnische Grundgrößen	1.8.E2	Types of capacitors	73
1.2.1	Ladung	1.8.E3	Properties and characteristic values of capacitors	73
1.2.2	Spannung	1.9	Strom und Magnetfeld 74	
1.2.3	Elektrischer Strom	1.9.1	Magnetisches Feld	74
1.2.4	Elektrischer Widerstand.....	1.9.1.1	Pole des Magneten	74
1.2.5	Ohm'sches Gesetz	1.9.1.2	Weiß'sche Beziehungen	74
1.2.6	Widerstand und Temperatur.....	1.9.1.3	Arten magnetischer Stoffe	75
1.2.8	Bauformen der Widerstände.....	1.9.1.4	Magnetostriktion	75
1.2.8.1	Festwiderstände	1.9.1.5	Magnetische Feldlinien	76
1.2.8.2	Veränderbare Widerstände	1.9.1.6	Anwendung der Dauermagnete	76
1.2.8.3	Heißleiterwiderstände	1.9.1.7	Magnetfeld um den Strom	77
1.2.8.4	Kalteiterwiderstände	1.9.1.8	Magnetfeld einer vom Strom durchflossenen Spule	78
1.2.8.5	Spannungsabhängige Widerstände	1.9.1.9	Magnetische Größen	79
1.3	Grundschaltungen 24	1.9.1.10	Eisen im Magnetfeld einer Spule	81
1.3.1	Bezugspeile	1.9.2	Elektromagnetische Baugruppen 83	
1.3.2	Reihenschaltung	1.9.2.1	Elektromagnete	83
1.3.3	Parallelorschaltung	1.9.2.2	Relais	83
1.3.4	Gemischte Schaltungen	1.21.9.E	Electricity and magnetism 86	
1.3.4.1	Spannungsteiler	1.9.E1	Magnetic fields	86
1.3.4.2	Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung	1.9.E2	Electricity makes magnetism	86
1.3.E	Basic electronics 32	1.9.E3	Electromagnetic induction	86
1.3.E1	Electricity and electric charge	1.9.E4	Generators	86
1.3.E2	Voltage	1.9.3	Strom im Magnetfeld	87
1.3.E3	Current	1.9.4	Induktion	90
1.3.E4	Ohm's Law	1.9.5	Spule im Gleichstromkreis	96
1.3.E5	Simple circuits	1.9.6	Bauformen der Spulen	96
1.3.E6	Resistance and conductivity	1.9.E2	Technical uses of magnetism 99	
1.3.E7	Resistors	1.9.E2	Contactors and relays	99
1.4	Gefahren des elektrischen Stromes und Überstrom-Schutzeinrichtungen 35	1.10	Strom in Festkörpern	100
1.4.1	Gefahren des elektrischen Stromes	1.10.1	Bändermodell	100
1.4.2	Die 5 Sicherheitsregeln	1.10.2	Strom in Metallen	100
1.5	Leistung, Arbeit, Wärme 38	1.10.3	Strom in Halbleitern	100
1.5.1	Elektrische Leistung	1.10.3.1	Bändermodell und Kristallaufbau	100
1.5.2	Elektrische Arbeit	1.10.3.2	Eigenleitung	101
1.5.3	Mechanische Leistung	1.10.3.3	Störstellenleitung	101
1.5.4	Wirkungsgrad	1.10.4	Halbleiterdioden	102
1.5.5	Temperatur und Wärme	1.10.4.1	Sperrschicht	102
1.5.6	Wärmeübertragung	1.10.4.2	Sperrschichtkapazität	102
1.5.7	Leistungshyperbel	1.10.4.3	Rückwärtsrichtung und Vorwärtsrichtung	102
1.6	Spannungsquelle 47	1.10.4.4	Elektrischer Durchbruch	104
1.6.1	Arten der Spannungsquelle	1.10.4.5	Bauformen und Kennzeichnung	105
1.6.2	Belastungsfälle einer Spannungsquelle	1.10.4.6	Fotodioden, Fotowiderstände und Fotoelemente	107
1.6.3	Anpassung	1.10.4.7	LED und Optokoppler	109
1.6.4	Schaltungen von Spannungsquellen	1.10.5	Arbeitspunkt	111
1.6.5	Ersatzspannungsquelle	1.10.5.5	Z-Dioden	114
1.7	Wechselspannung und Wechselstrom 53	1.10.5.6	Kapazitätsdioden	115
1.7.E	Dangers from electric current 60	1.10.5.7	PIN-Dioden	115
1.7.E1	Effects	1.10.5.8	Schottkydioden	116
		1.10.5.9	SiC-Dioden	116
		1.10.5.10	Halbleiterlaser	116
1.10.E	Semiconductor diodes 118			
1.10.E1	Rectifier diode			

1.10.E2	Zener diode	118	2.5.5	Realer Transformator unter Last	170
1.10.E3	Variable capacitance diode	119	2.5.6	Besondere Transformatorenarten	171
1.10.E4	Schottky diode.	119	2.6	Dreiphasenwechselspannung, Drehstrom	173
1.11	Schaltungstechnik und Funktionsanalyse.	120	2.6.1	Entstehung der Dreiphasenwechselspannung.	173
1.11.1	Schaltungsunterlagen	120	2.6.2	Sternschaltung	174
1.11.2	Referenzkennzeichnung in der Elektrotechnik	121	2.6.3	Dreieckschaltung	175
1.11.2	Schaltungen mit Installationsschaltern	122	2.5.E	Transformers and three-phase system	177
1.11.4	Schützschaltungen	124	2.5.E1	Generation	177
1.11.5	Schaltungen mit Zeitschaltern	126	2.5.E2	Star connection and delta connection	177
1.12	Werkstoffe.	127	2.5.E3	Transformers	177
1.12.1	Atommodell	127	2.7	Mehrschicht-Halbleiterbauelemente	178
1.12.2	Periodensystem	128	2.7.1	Bipolare Transistoren	178
1.12.3	Chemische Bindungen	128	2.7.2	Feldeffekttransistoren FET	185
1.12.4	Säuren, Basen und Salze.	130	2.7.3	Thyristoren	190
1.12.5	Normung von Eisenmetallen	130	2.7.4	Integrierte Schaltungen (IC)	193
1.12.6	Elektrochemie.	131	2.6.E	Bipolar transistors	195
1.12.6.1	Stromleitung in Flüssigkeiten.	131	2.8	Bildausgabegeräte.	196
1.12.6.2	Elektrolytische Elemente	131	2.8.1	Beamer	196
1.12.7	Korrosion	134	2.8.2	LC-Bildschirme	197
1.12.9	Leitungen	135	2.8.3	(Liquid Chrystal Display)	197
1.12.9.1	Leitungen der Energietechnik.	135	2.8.4	Aufbau eines LC-Bildschirms	199
1.12.9.2	Leitungen der Informationstechnik	137	2.8.5	Pixeldichte und Betrachtungsabstand	199
1.12.E	Transmission media in computer networks	138	2.8.6	Monitorbildschirme	200
1.12.E1	Coaxial cables	138	2.8.7	TV-Geräte	200
1.12.E2	Twisted-pair cables	138	2.9	Sehbereich und Farträume von LCD	201
1.12.E3	Fiber-optic cables	138	2.9.E	Stromversorgung	202
2	Anwendung der Grundlagen		2.9.1	Netzanschlussgerät	202
2.1	Blindwiderstände an sinusförmiger Wechselspannung	139	2.9.2	Gleichrichter	202
2.1.1	Blindwiderstände an Wechsel- spannung	139	2.9.3	Gleichrichterschaltungen.	203
2.1.1.1	Wechselstromwiderstand des Kondensators	139	2.9.4	Gleichrichter mit einstellbarer Spannung	206
2.1.2	Wechselstromwiderstand der Spule	140	2.9.5	Glättung der gleichgerichteten Spannung	207
2.1.3	Schaltungen von nicht gekoppelten Spulen.	141	2.9.6	Stabilisieren	209
2.2	RC-Schaltungen und RL-Schaltungen	142	2.9.6.2	Lineare Spannungsregler	210
2.2.1	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand	142	2.9.6.3	Schaltregler für Festspannungen	213
2.2.2	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand	143	2.9.7	Unterbrechungsfreie Stromversorgung USV	215
2.2.3	Verluste im Kondensator.	145	2.9.E	Rectifier circuits	216
2.2.4	Verluste in der Spule	146	2.9.E1	Half-wave rectifier circuit E1	216
2.2.5	Impulsverformung.	148	2.9.E2	Full-wave rectifier circuit B2	216
2.2.6	RC-Siebschaltungen und RL-Siebschaltungen.	150	2.10	Verstärker	217
2.3	Schwingkreise	154	2.10.1	Grundbegriffe.	217
2.3.1	Schwingung und Resonanz	154	2.10.2	Verstärker mit bipolaren Transistoren	221
2.3.2	Reihenschwingkreis	155	2.10.2.1	Verstärkergrundschaltungen	221
2.3.3	Parallelschwingkreis	156	2.10.2.2	Arbeitspunkt	222
2.3.4	Eigen- und Resonanzfrequenz	157	2.10.2.3	Emitterschaltung	223
2.3.5	Bandbreite und Güte	158	2.10.2.4	Verstärker für den D-Betrieb	225
2.3.6	Mechanische Bandfilter.	159	2.10.2.5	Gegenkopplung	226
2.3.E	Filters	161	2.10.2.6	Gegentaktschaltungen.	227
2.4	Leistungen bei Wechselstrom.	162	2.10.3	Verstärker mit Feldeffekttransistoren.	228
2.4.1	Wirkleistung	162	2.10.4	Operationsverstärker	232
2.4.2	Blindleistung, Scheinleistung	162	2.10.4.2	Schaltungen mit Operationsverstärkern	234
2.4.3	Leistungsdreiecke	163	2.10.E	Amplifiers	240
2.4.4	Leistungsfaktor.	164	2.10.E1	Transistor as amplifier.	240
2.4.9	Kompensation von Blindwiderständen.	165	2.10.E2	Operational amplifier (OpAmp)	240
2.5	Transformatoren.	166	2.10.E3	Operational amplifier as inverting amplifier	240
2.5.1	Wirkungsweise und Begriffe.	166	2.11	Generatoren und Kippschaltungen	241
2.5.2	Aufbau von Transformatoren	166	2.11.1	Sinusgeneratoren	241
2.5.3	Idealer Transformator	167	2.11.2	Elektronische Schalter	243
2.5.4	Realer Transformator im Leerlauf.	169	2.11.3	Astabile Kippschaltung (Rechteckgenerator).	244
			2.11.4	Sägezahngenerator	245
			2.11.5	Bistabile Kippschaltung	245
			2.11.6	Monostabile Kippschaltung	245
			2.11.7	Schwellwertschalter.	246

6		
2.12	Messgeräte	248
2.12.1	Zeigermesswerke	248
2.12.2	Digitalmultimeter	250
2.12.3	Oszilloskop	251
2.12.3.1	Analog-Oszilloskop	251
2.12.3.2	Digitales Speicher-Oszilloskop DSO	254
2.13.3.3	Scopemeter	257
2.12.3.4	PC-Oszilloskop	258
2.12.3.5	PC-Messtechnik	259
2.12.E	Measuring equipment	260
2.12.E1	Multimeters	260
2.12.E2	Oscilloscopes	260
2.13	Schutzmaßnahmen	261
2.13.1	Sicherheitsbestimmungen	261
2.13.2	Schutzarten elektrischer Betriebsmittel	263
2.13.3	Systemunabhängige Schutzmaßnahmen	263
2.13.4	Systemabhängige Schutzmaßnahmen	265
2.13.5	Prüfung von Schutzmaßnahmen	268
2.13.6	Unfallverhütung und Brandbekämpfung	268
2.13.7	Weitere Qualitätskennzeichnungen	269
2.13.8	EU-Maschinenrichtlinie	270
2.13.9	Funktionale Sicherheit nach SIL	270
2.13.10	Performance Level	271
2.13.E	Protective Measures	272
2.13.E1	Important terms and definitions	272
2.13.E2	Protective measures against excessive contact voltages	272
3	Digitaltechnik	
3.1	Einführung in die Digitaltechnik	273
3.1.1	Dualcode	273
3.1.2	Binäre Elemente	274
3.1.3	Grundlagen der Schaltalgebra	276
3.2	Kombinatorische Schaltungen	278
3.2.1	Weitere binäre Elemente	278
3.2.2	Analyse und Synthese von Schaltungen	279
3.3	Daten von binären Elementen	283
3.3.1	Binäre Elemente mit besonderen Ausgängen	283
3.3.2	Digitale Schaltkreisfamilien	284
3.4	Sequenzielle Digitaltechnik (Schaltwerke)	286
3.4.1	Binärspeicher	286
3.4.2	Asynchrone Kippglieder (Flipflops)	288
3.4.3	Synchrone Kippglieder (Flipflops)	289
3.2.E	Digital technology	291
3.2.E1	Fundamentals of digital technology	291
3.2.E2	Basic logic functions	291
3.2.E3	Working with datasheets	292
4	Einführung in die Computertechnik	
4.1	Aufbau und Arbeitsweise eines PC-Systems	293
4.2	Massenspeicher	296
4.3	Weitere Peripheriegeräte	297
4.4	Datensicherung	298
4.5	Datenschutz	299
4.7.3	Mit Excel arbeiten	300
4.7	Präsentationstechniken	302
4.8	Elektronische Schaltungen simulieren	303
4.8.1	Analoge Schaltungen simulieren mit Multisim	303
4.8.2	Analoge Schaltungen mit PSpice simulieren	306
4.8.3	Digitale Schaltungen mit PSpice simulieren	309
4.9.E	Computer basics	310
4.9.E1	Data processing with a PC	310
4.9.E2	Basic parts of a PC system	310
5	Automatisierungstechnik	
5.1	SPS	315
5.1.1	Funktionseinheiten	316
5.1.2	Sensorik und Aktorik	317
5.1.3	Programmierung	318
5.1.4	Sicherheitsaspekte	320
5.1.5	Programm-Entwurfsverfahren	321
5.2	Regeln mit dem PC	324
5.2.1	Der Regelkreis	324
5.2.2	Der PC im Regelkreis	325
5.2.3	Regeln mit unstetigen Reglern	326
	Digitalregler	327
6	Fertigungsverfahren	
6.1	Hauptgruppen der Fertigung	330
6.2	Urformen	330
6.3	Umformen	331
6.4	Trennen	331
6.5	Fügen	333
6.6	Beschichten	335
6.7	Veränderung der Stoffeigenschaften	335
6.8	Löten und Flussmittel	337
6.9	Leiterplatten	338
6.9.2	Leiterplattenherstellung	339
7	Kundenauftrag	
7.1	Phasen des Kundenauftrags	342
7.2	Umgang mit Kunden	344
7.3	Kundenservice	346
7.4	Kundenbindung	346
7.5	Kundenzufriedenheit	347
7.6	Beschwerdemanagement (Reklamationen)	348
8	Betriebswirtschaft und Geschäftsprozesse	
8.1	Der Betrieb und sein Umfeld	351
8.1.1	Betrieb und Unternehmen	351
8.1.2	Marktwirtschaft und Staat	352
8.1.3	Interessenvertretungen	352
8.2	Geschäftsprozesse	352
8.2.1	Wertschöpfungsprozesse	352
8.2.2	Ablauf von Geschäftsprozessen	353
8.2.3	Geschäftsprozesse und betriebliche Organisation	354
8.2.4	Informationsbeschaffung	355
8.3	Verkaufsprozesse	356
8.3.1	Verkaufskalkulation	356
8.3.2	Erstellung eines Angebots	356
8.3.3	Verträge	356
8.3.3.1	Kaufvertrag	357
8.3.3.2	Servicevertrag	357
8.3.3.3	Leasingvertrag und Mietvertrag	357
8.3.3.4	Allgemeine Geschäftsbedingungen (AGB)	357
8.3.4	Rechnungsstellung	358
8.4	Beschaffungsprozesse	358
8.4.1	Bestellmengenplanung	358
8.4.2	Anfrage	358
8.4.3	Pflichtenheft	359
8.4.4	Bestellung	360
8.4.5	Überwachung des Beschaffungsprozesses	360
8.4.6	Produkthaftung	360
8.4.7	Technische Dokumentation	361
	Verzeichnis der Firmen und Dienststellen	365
	Sachwortverzeichnis	366

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

Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches					
Index, Zeichen	Bedeutung	Index	Bedeutung	Index	Bedeutung
Ziffern, Zeichen					
0	1. Leerlauf 2. im Vakuum 3. Bezugsgröße	n	Bemessungs- (Nenn-)	F	1. Vorwärts- (forward) 2. Fläche 3. Fehler-
1	1. Eingang 2. Reihenfolge	o	Oszillatör-	G	1. Gate 2. Gewicht 3. Glättung 4. Grün
2	1. Ausgang 2. Reihenfolge	p	1. parallel, 2. Pause, 3. Puls, 4. potenziell, 5. Brumm, 6. Druck 7. Foto (Photo)	H	1. Hysterese 2. Hall-
3, 4, ...	Reihenfolge	r	1. in Reihe 2. relativ, bezogen 3. Anstiegs- 4. Rausch- 5. Resonanz-	K	1. Kathode 2. Kopplung (Gegen-) 3. Kühlkörper 4. Kippen 5. Kanal, Strecke
^, z. B. \hat{y}	Scheitelwert, Höchstwert	s	1. Sieb- 2. Signal, 3. Serie 4. Störstrahlung 5. in Wegrichtung 6. Stoß- 7. Lautstärke 8. Soll	L	1. höchstzulässig (Limit) 2. induktiv 3. Last 4. links 5. Laden 6. Berührungs- 7. Lorentz-
✓, z. B. \check{v}	Tiefstwert, Kleinstwert	sat	Sättigung	Ltg	Leitung
~, z. B. \hat{u}'	1. Spitze-Talwert 2. Schwingungsbreite	sch	Schritt	M	Mitkopplung
' , z. B. u'	1. besonderer Hinweis 2. Ableitung	t	tief, unten	N	1. Nenn- 2. Nutz-
△	in Dreieckschaltung	th	thermisch, Wärme-	Q	Quer-
Kleinbuchstaben					
a	1. Abschalten 2. Ausgang 3. Abfall 4. Anker	tot	total, gesamt	R	1. Rückwärts- (reward) 2. Rauschen 3. rechts 4. Regel- 5. Rot
ab	abgegeben	u	Spannungs-	S	1. Source 2. Schleifen- 3. Sattel-
auf	aufgenommen	v	1. Vor- 2. Verlust 3. visuell, Licht-	T	1. Transformator- 2. Träger-
b	1. Betrieb 2. Blindgröße	w	1. Wirk-, wirksam 2. Führungsgröße	U	1. Umgebung 2. Farbdifferenz
c	1. Grenz- (von cut off) 2. Form (von crest)	x	1. unbekannte Größe 2. in x-Richtung	V	1. Spannungsmesser 2. Verstärkungs- 3. Farbdifferenz
d	1. Gleichstrom betreffend 2. Dauer- 3. Dämpfung	y	1. Stellgröße 2. in y-Richtung	W	Wellen-
e	1. Eingang 2. Emitterschaltung	z	Zwischen-	X	am X-Eingang
eff	Effektivwert	zu	zugeführt	Y	1. am Y-Eingang 2. in Sternschaltung 3. Luminanz-
f	Frequenz			Z	1. Zener- 2. Zeile
g	Grenzwert				
ges	Gesamt-			Griechische Kleinbuchstaben	
h	hoch, oben	A	1. Strommesser 2. Antenne 3. Anker- 4. Abstimm- 5. Anode 6. Anzug, Anlauf 7. Anlagenderung 8. Körpererdung	α (alpha)	in Richtung vom Winkel α
i	1. innen 2. induziert 3. Strom- 4. Signal- 5. idell, 6. Ist- 7. Impuls	B	1. Basis 2. Betriebserzung (Netz) 3. Bau- 4. Blau	σ (sigma)	Streu-
j	Sperrschicht (von junction)	C	1. Kollektor 2. kapazitiv 3. Takt	φ (phi)	Phasenverschiebung
k	1. Kurzschluss- 2. Klirr- 3. kinetisch	D	Drain		
m	1. magnetisch 2. Mittelwert 3. Messwerk 4. moduliert	E	1. Emitter 2. Entladen 3. Erde	Δ (Delta)	eine Differenz betreffend
max	maximal, höchstens				
min	minimal, mindestens				
Die Indizes können kombiniert werden, z. B. bei U_{CE} für Kollektor-Emitterspannung. 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} oder V_{Cu} für Kupferverlustleistung.					

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 groß, 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 Hörfunk- und Fernsehsatelliten 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 Schwerkraftfeld 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



Bild 1: Hörfunk- und Fernsehsatellit im Schwerkraftefeld der Erde

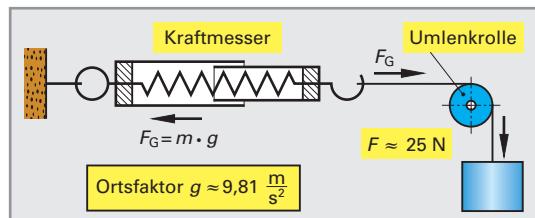


Bild 2: Kraftmessung

des Körpers zu ändern. Die Masse ist unabhängig von Ort und Umgebung. Die Einheit der Masse ist das Kilogramm. Ihre Messung erfolgt auf einer Balkenwaage durch Vergleich mit geeichten Massen.

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

Infolge des Schwerkiefedes 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

Ein Körper mit der Masse 1 kg wiegt auf der Erde etwa 10 N.

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

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 → dargestellt.

Formeln sind kurzgefasste Anweisungen, wie ein Größenwert zu berechnen ist. Wegen ihres Gleichheitszeichens spricht man auch von *Größengleichungen*. 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:

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

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.

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

$$F_G = g \cdot m$$

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

F_G Gewichtskraft

g 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	$\text{A} \cdot \text{s}$	Coulomb ²
Je Sekunde	1/s	Hertz
Meterquadrat	$\text{m} \cdot \text{m}$	–

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 genormte 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. die in der Elektrotechnik häufigen 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.

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

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

Tabelle 1: Vorsätze zu den Einheiten, Vorsatzzeichen, Bedeutung

Atto	Femto	Piko	Nano	Mikro	Milli	Zenti	Dezi	Kilo	Mega	Giga	Tera	Peta
a 10 ⁻¹⁸	f 10 ⁻¹⁵	p 10 ⁻¹²	n 10 ⁻⁹	μ 10 ⁻⁶	m 10 ⁻³	c 10 ⁻²	d 10 ⁻¹	k 10 ³	M 10 ⁶	G 10 ⁹	T 10 ¹²	P 10 ¹⁵

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

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.

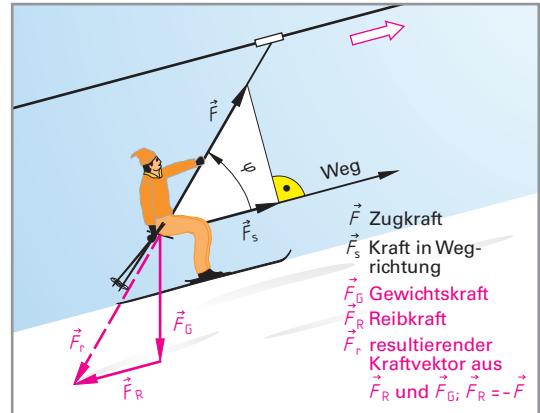
Je größer bei einer Masse die Beschleunigung ist, desto größer ist die auf die Masse wirkende Kraft. Man bezeichnet diesen Zusammenhang als *Grundgesetz der Mechanik*.

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 Mathematik für Elektroniker).

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

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

**Bild 1: Kräfte bei einem Schlepplift**

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$[a] = (\text{m/s}) / \text{s} = \text{m/s}^2 \quad [F] = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{N}$$

$$W = F_s \cdot s$$

$$W = F \cdot s \cdot \cos \varphi$$

$$[W] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{Nm} = \text{J}$$

a Beschleunigung

Δv Geschwindigkeitsänderung
(Δ griech. Buchstabe Delta)

Δt Zeitabschnitt

F Kraft

m Masse

W Arbeit

F_s Kraft in Wegrichtung

s Weg

φ Winkel zwischen \vec{F} und \vec{F}_s

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**).

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 Schwerkraftfeld 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 m³ Wasser (Dichte 1 Mg/m³) 600 m über dem Turbinenhaus. Wie viel potenzielle Energie ist gegenüber der Lage des Turbinenhauses vorhanden?

Lösung:

$$W_p = m \cdot g \cdot \Delta h \approx 10^6 \text{ m}^3 \cdot 1 \text{ Mg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 600 \text{ m} = 6 \cdot 10^{12} \text{ Nm} = 6 \text{ TJ}$$

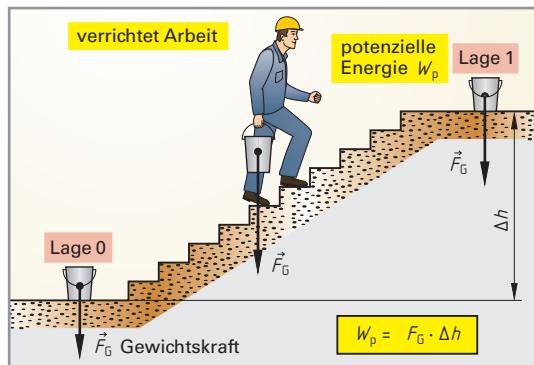


Bild 1: Änderung der Energie durch Arbeit

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

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

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

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

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

W_p potenzielle Energie

W_k kinetische Energie

F_G Gewichtskraft

m Masse

Δh Höhendifferenz

v Geschwindigkeit

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

Kinetische Energie ist in einer bewegten Masse gespeichert, $W_k = \frac{1}{2} mv^2$. 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:

$$W_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1500 \text{ kg} \cdot (30 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 450000 \text{ Nm} = 4,5 \text{ MJ}$$

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 liegt der Unterschied zwischen Arbeit und Energie?
5. Wie heißen die beiden Arten der mechanischen Energie?

1.2 Elektrotechnische Grundgrößen

1.2.1 Ladung

Jeder Körper ist im normalen Zustand elektrisch neutral. Durch Reiben des Körpers kann dieser Zustand geändert werden.

Stäbe aus Isolierstoffen, wie z. B. Hartgummi, Acrylglass, Polystyrol, die man mit einem Wolltuch reibt, üben aufeinander Abstoßungskräfte (**Bild 1**) oder Anziehungs Kräfte (**Bild 2**) aus. Dafür sind ebenfalls die elektrischen Ladungen verantwortlich.

Gleichartige Ladungen stoßen sich ab, ungleichartige Ladungen ziehen sich an.

Die Ladung des Acryglasstabes bezeichnet man als *positive Ladung* (Plusladung), die Ladung des Polystyrolstabes oder des Hartgummistabes als *negative Ladung* (Minusladung). Ladungen üben Kräfte aufeinander aus. Der Ladungszustand ist aus dem Aufbau der Stoffe erklärbar.

Enthält der Kern eines Atoms so viele Protonen, wie Elektronen um den Kern kreisen, so ist das Atom elektrisch neutral (**Bild 3**). Nach außen tritt keine elektrische Ladung in Erscheinung. Kreisen dagegen um den Atomkern mehr oder weniger Elektronen als Protonen im Kern vorhanden sind, so ist das Atom im ersten Fall negativ, im zweiten Fall positiv geladen. Man nennt es Ion (griech. ion = wandernd).

Die elektrische Ladung ist von der Stromstärke und von der Zeit abhängig. Sie hat die Einheit Ampere-Sekunde (As) mit dem besonderen Einheitennamen Coulomb¹ (C).

Jedes Elektron ist negativ geladen, jedes Proton ist positiv geladen. Beide tragen die kleinste Ladung, die sogenannte *Elementarladung*. Die Elementarladung eines Elektrons beträgt $-0,1602 \text{ aC}$, die Elementarladung eines Protons beträgt $+0,1602 \text{ aC}$.

1.2.2 Spannung

Zwischen verschiedenartigen Ladungen wirkt eine Anziehungskraft (**Bild 4**). Werden verschiedenartige Ladungen voneinander entfernt, so muss gegen die Anziehungskraft eine Arbeit verrichtet werden. Diese Arbeit ist nun als Energie in den Ladungen gespeichert. Dadurch besteht zwischen den Ladungen eine *Spannung*.

Elektrische Spannung entsteht durch Trennung von Ladungen mittels Arbeit.

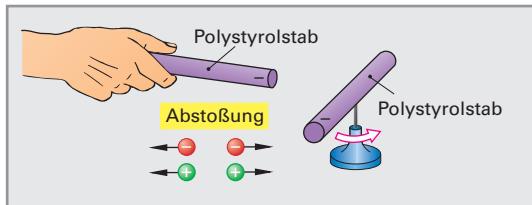


Bild 1: Abstoßung gleichartiger Ladungen

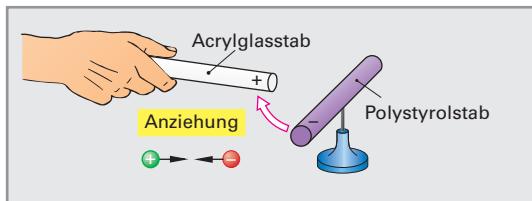


Bild 2: Anziehung ungleichartiger Ladungen

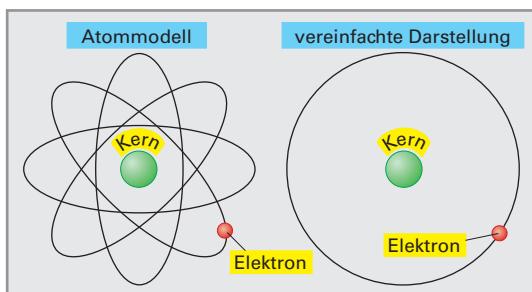


Bild 3: Aufbau eines Wasserstoffatoms

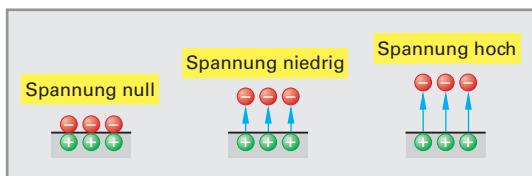


Bild 4: Spannung durch Ladungstrennung

$[Q] = As = C$	$Q = I \cdot t$
Q Ladung;	I Stromstärke;
	t Zeit

Die Ladungstrennung ist nicht ohne Arbeitsaufwand möglich. Je höher die erzeugte Spannung ist (Bild 4), desto größer ist das Bestreben der Ladungen sich auszugleichen. Elektrische Spannung ist also auch das Ausgleichsbestreben von Ladungen. Die elektrische Spannung (Formelzeichen U) misst man mit dem *Spannungsmessgerät* (**Bild 1, folgende Seite**).

¹ Charles Augustin de Coulomb, französischer Physiker, 1736 bis 1806

Zur Messung der Spannung wird das Spannungsmessgerät an die Anschlüsse des Erzeugers oder Verbrauchers geschaltet.

Die Einheit der elektrischen Spannung ist das Volt¹ mit dem Einheitenzeichen V, $[U] = V$.

Die Ladungstrennung und damit die Spannungs-erzeugung können auf verschiedene Arten geschehen (Abschnitt 1.6).

Bei einem Spannungserzeuger liegt die Spannung an den zwei Anschlüssen. Man nennt derartige Einrichtungen mit zwei Anschlüssen einen **Zweipol**.

Die Pole eines Spannungserzeugers sind der Pluspol (+) und der Minuspol (-). Der Pluspol ist gekennzeichnet durch Elektronenmangel, der Minuspol durch Elektronenüberschuss. Man unterscheidet Gleichspannung, Wechselspannung und Mischspannung.

Potenzial nennt man eine auf einen *Bezugspunkt* bezogene Spannung, d.h. die Spannung gegen Masse. Spannung kann als Differenz zweier Potenziale aufgefasst werden (**Bild 1**). Zwischen Punkt A mit dem Potenzial φ_A und dem Punkt B mit dem Potenzial φ_B besteht die Spannung $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 9 \text{ V} - 6 \text{ V} = 3 \text{ V}$. φ_C hat 0 V.

1.2.3 Elektrischer Strom

Die Spannung ist die Ursache für den *elektrischen Strom*. Er fließt nur im geschlossenen Stromkreis. Ein *Stromkreis* besteht aus dem Erzeuger, dem Verbraucher und der Hin- und Rückleitung zwischen Erzeuger und Verbraucher (**Bild 2**). Mit dem Schalter kann man den Stromkreis öffnen und schließen.

Metalle haben Elektronen, die im Inneren des Metalls frei beweglich sind. Man bezeichnet diese als freie Elektronen. Sie bewegen sich vom Minuspol zum Pluspol des Spannungserzeugers (**Bild 3**).

Die gerichtete Bewegung von Elektronen nennt man *elektrischen Strom*.

Gute Leiter, wie z.B. Kupfer oder Silber, haben etwa gleich viel freie Elektronen wie Atome.

Der Spannungserzeuger übt eine Kraft auf die freien Elektronen aus, die sich nach dem Schließen eines Stromkreises fast mit Lichtgeschwindigkeit

$$[U] = \frac{Nm}{C} = \frac{Ws}{As} = V$$

$$U = \frac{W}{Q}$$

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

U Spannung; W Arbeit; Q Ladung; φ Potenzial

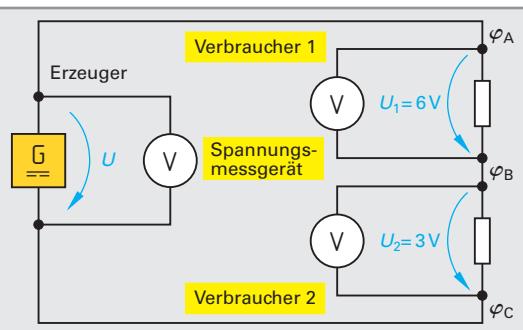


Bild 1: Spannungsmessung

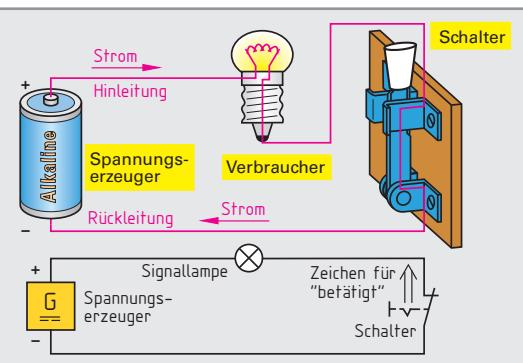


Bild 2: Elektrischer Stromkreis

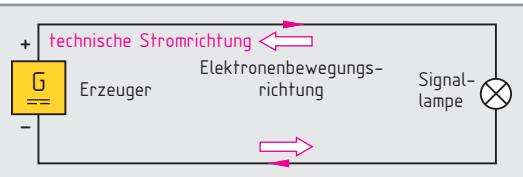
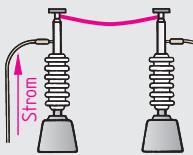
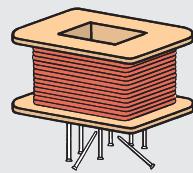
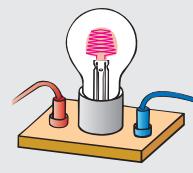
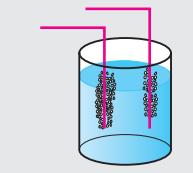


Bild 3: Technische Stromrichtung und Elektronenbewegung

ausbreiteten. Die Elektronen im Leiter bewegen sich dagegen mit sehr geringer Geschwindigkeit (nur wenige mm/s). Der Grund dafür sind die als Hindernis wirkenden Atomrumpfe des Leiters. Bei der Festlegung der technischen Stromrichtung (Bild 3) ging man von der Bewegungsrichtung positiver Ionen in Flüssigkeiten aus.

¹ Alessandro Volta, italienischer Physiker, 1745 bis 1827

Tabelle 1: Stromwirkungen				
Wärmewirkung immer	Magnetwirkung immer	Lichtwirkung in Gasen, in manchen Halbleitern	Chemische Wirkung in leitenden Flüssigkeiten	Wirkung auf Lebewesen bei Menschen und Tieren
				
Heizung Lötkolben, Schmelzsicherung	Relaispule, Elektromagnete, Elektromotoren, Relais, Schütze, Türöffner	Glimmlampe, LED, Leuchtstofflampe	Elektrolyse bei Akkumulatoren, Galvanisieren	Unfälle, Herzschrittmacher

Der elektrische Strom hat verschiedene Wirkungen (**Tabelle 1**). Die Wärmewirkung und die Magnetwirkung treten bei elektrischem Strom immer auf. Lichtwirkung, chemische Wirkung und Wirkung auf Lebewesen treten nur in bestimmten Fällen auf.

Den elektrischen Strom (Formelzeichen I) misst man mit dem Strommessgerät (**Bild 1**). Die Einheit der elektrischen Stromstärke ist das Ampere¹ (A).

Zur Messung der Stromstärke wird das Strommessgerät in Reihe in den Stromkreis geschaltet.

Im Schaltzeichen des Strommessgerätes steht A oder I .

Bei **Gleichstrom** bleibt der Strom bei gleicher Spannung konstant (**Bild 2**). Die Elektronen fließen vom Minuspol durch den Verbraucher zum Pluspol. Das Kurzzeichen für Gleichstrom ist DC (von Direct Current = gerichteter Strom, Gleichstrom).

Bei **Wechselstrom** ändern die Elektronen ständig ihre Richtung. Das Kurzzeichen für Wechselstrom ist AC (von Alternating Current = abwechselnder Strom).

Mischstrom entsteht durch die Addition (Überlagerung) von Gleichstrom und Wechselstrom. Wird in Bild 1 der Gleichstrom zu dem Wechselstrom addiert, so erhält man den Stromverlauf (Bild 2).

Mischstrom enthält einen Gleichstromanteil und einen Wechselstromanteil.

Das Kurzzeichen für Mischstrom ist UC (von Universal Current = allgemeiner Strom). Ein gleichgerichteter Wechselstrom enthält Gleichstrom und Wechselstrom (siehe Abschnitt 2.8).

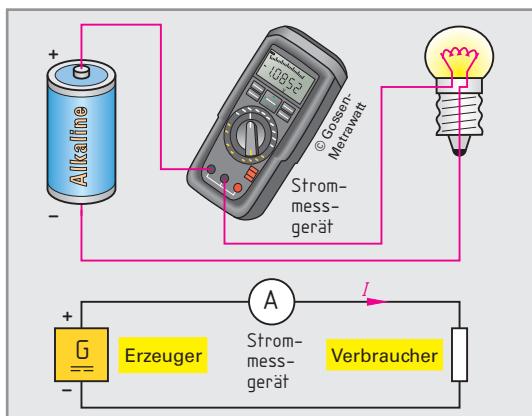


Bild 1: Strommessgerät

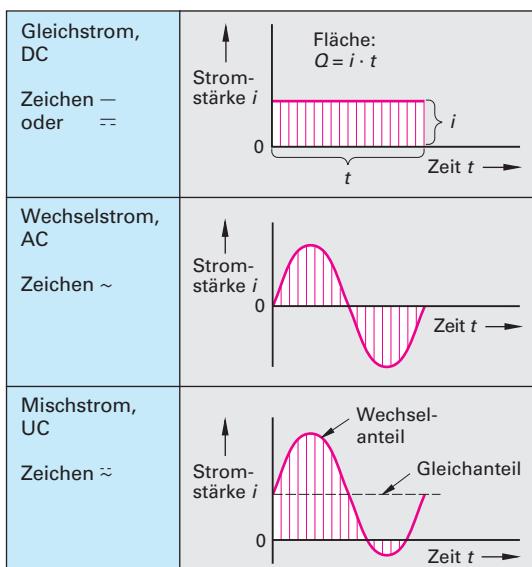


Bild 2: Stromarten

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

1.2.4 Elektrischer Widerstand

Der Widerstand, auch *Resistenz* (von lat. *resistere* = *stehenbleiben*) genannt (Formelzeichen R), hat die Einheit Ohm¹ (Ω). $[R] = \Omega$. Den Kehrwert des Widerstandes nennt man Leitwert. Der Leitwert (Formelzeichen G) hat die Einheit Siemens² (S).

$$[R] = \frac{1}{[G]} = \frac{1}{S} = \Omega$$

$$R = \frac{1}{G}$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot A}$$

Beispiel 1: Leitwert berechnen

Ein Widerstandswert beträgt 200 Ω . Wie groß ist der Leitwert?

Lösung:

$$R = \frac{1}{G} \Rightarrow G = \frac{1}{R} = \frac{1}{200 \Omega} = 5 \text{ mS}$$

Leiterwiderstand

Der Widerstand eines Leiters hängt von der Länge, vom Querschnitt, vom Leiterwerkstoff und der Temperatur ab.

Der spezifische (arteigene) Widerstand ρ von Drähten hat die Einheit $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Bei Isolierstoffen und Halbleiterwerkstoffen wird die Einheit $\Omega \cdot \text{cm}^2/\text{cm} = \Omega \cdot \text{cm}$ verwendet. Dies entspricht dem Widerstand eines Würfels mit der Kantenlänge 1 cm.

Der spezifische Widerstand ρ gibt den Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und 1 mm^2 Querschnitt bei 20 °C an.

Die *Leitfähigkeit* γ ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes ρ . Oft wird mit der Leitfähigkeit γ statt mit dem spezifischen Widerstand gerechnet.

Tabelle 1 zeigt ρ und γ für wichtige Leiterwerkstoffe.

Beispiel 2: Drahtwiderstand berechnen

Ein Aluminiumdraht hat die Länge $l = 2 \text{ m}$ und einen Querschnitt von $0,00785 \text{ mm}^2$. Berechnen Sie den Widerstand.

Lösung:

$$R = \frac{I}{\gamma \cdot A} = \frac{2 \text{ m}}{36 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2) \cdot 0,00785 \text{ mm}^2} = 7,0 \Omega$$

R Widerstand (Resistanz)

G Leitwert, spezifischer Leitwert

γ Leitfähigkeit (γ griech. Kleinbuchstabe Gamma)

ρ spezifischer Widerstand (ρ griech. Kleinbuchstabe Rho)

l Länge des Leiters

A Querschnitt des Leiters

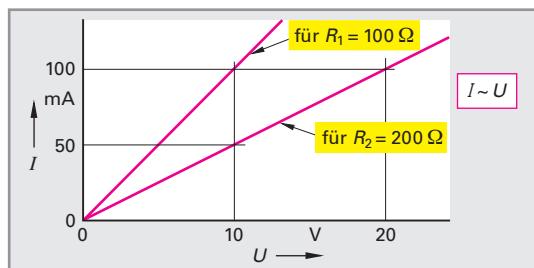


Bild 1: I als Funktion von U bei konstantem Widerstand

Tabelle 1: Spezifischer Widerstand ρ und Leitfähigkeit γ

Material	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	γ in $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$
Aluminium (Al)	0,0278	36,0
Kupfer (Cu)	0,0178	56,0
Silber (Ag)	0,0167	60,0
Gold (Au)	0,022	45,7

1.2.5 Ohm'sches Gesetz

Bei konstantem Widerstand nimmt die Stromstärke linear mit der Spannung zu. Zeichnet man I in Abhängigkeit von U auf, so erhält man eine Gerade (**Bild 1**). Wenn $I \sim U$ (sprich: I ist proportional U) ist, so spricht man von einem linearen Widerstand. Die Gerade verläuft um so steiler, je kleiner der Widerstand ist. Mit zunehmendem Widerstand nimmt also die Stromstärke bei gleicher Spannung ab.

Das Ohm'sche Gesetz drückt den Zusammenhang von Stromstärke, Spannung und Widerstand aus.

¹ Georg Simon Ohm, deutscher Physiker, 1789 bis 1854

² Werner von Siemens, deutscher Erfinder, 1816 bis 1892

Bei konstanter Spannung nimmt die Stromstärke im umgekehrten Verhältnis zum Widerstand ab. I ist also umgekehrt proportional zu R ($I \sim 1/R$). Zeichnet man I in Abhängigkeit von R auf (Bild 1), so erhält man eine Hyperbel.

Beispiel 1: Stromstärke berechnen

Wie groß ist die Stromstärke in einer Glühlampe, die an 4,5 V angeschlossen ist und im Betrieb einen Widerstand von $1,5 \Omega$ hat?

Lösung:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{4,5 \text{ V}}{1,5 \Omega} = 3 \text{ A}$$

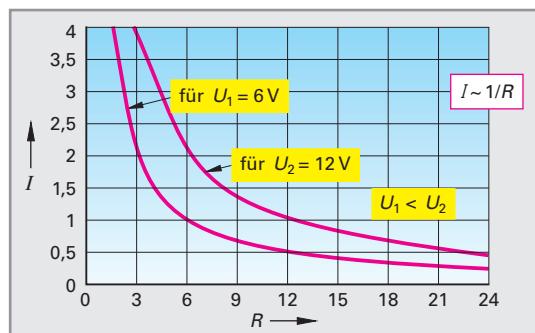


Bild 1: I als Funktion von R beim linearen Widerstand

1.2.6 Widerstand und Temperatur

Der Widerstand der Leiterwerkstoffe ist von der Temperatur abhängig. Kohle sowie die meisten Halbleiter leiten in heißem Zustand besser als in kaltem Zustand. Diese Stoffe nennt man deshalb auch *Heißleiter*. Wenige Halbleiterstoffe, z. B. Bariumtitanat, leiten dagegen in kaltem Zustand besser. Man nennt sie *Kaltleiter*. Ihr Widerstand nimmt bei Temperaturerhöhung zu. Auch der Widerstand von Metallen nimmt mit Temperaturerhöhung zu. Der Widerstand von Heißleitern, z. B. Kohle, nimmt bei Temperaturerhöhung ab. Der *Temperaturkoeffizient α* gibt die Größe der Widerstandsänderung an (Tabelle 1). Man nennt ihn auch *Temperaturbeiwert*.

Der Temperaturkoeffizient gibt an, um wie viel Ohm der Widerstand 1Ω bei 1 K Temperaturerhöhung größer oder kleiner wird.

Kelvin¹ (K) ist die Einheit des Temperaturunterschieds, gemessen in der Celsiusskala oder in der Kelvinsskala. Der Temperaturkoeffizient von Heißleitern ist *negativ*, da ihr Widerstand mit zunehmender Temperatur abnimmt. Der Temperaturkoeffizient von Kaltleitern ist *positiv*, da ihr Widerstand mit zunehmender Temperatur zunimmt.

Die Widerstandsänderung bei Erwärmung ist vom Kaltwiderstand, dem Temperaturkoeffizient und der Übertemperatur abhängig.

Beispiel 2: Widerstandsänderung bei Temperaturänderung berechnen

Welche Widerstandsänderung erfährt ein Kupferdraht mit $R_1 = 100 \Omega$, wenn die Temperatur sich um $\Delta\vartheta = 100 \text{ K}$ ändert?

Lösung:

$$\Delta R = \alpha \cdot R_1 \cdot \Delta\vartheta = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K} \cdot 100 \Omega \cdot 100 \text{ K} = 39 \Omega$$

$[I] = \frac{[U]}{[R]} = \frac{V}{\Omega} = A$	$I = \frac{U}{R}$
$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$	$\Delta R = \alpha \cdot R_1 \cdot \Delta\vartheta$
$R_2 = R_1 + \Delta R$	$R_2 = R_1 (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)$

I Stromstärke,	
U Spannung	
R Widerstand	
$\Delta\vartheta$ oder ΔT	Temperaturunterschied in Celsius oder Kelvin (Δ griech. Großbuchstabe Delta, Zeichen für Differenz, ϑ griech. Kleinbuchstabe Theta)
ϑ_1 Anfangstemperatur	
ϑ_2 Endtemperatur	
ΔR Widerstandsänderung	
α Temperaturkoeffizient (α griech. Kleinbuchstabe Alpha)	
R_1 Widerstand bei Temperatur ϑ_1	
R_2 Widerstand bei Temperatur ϑ_2	

Tabelle 1: Temperaturkoeffizient α in 1/K			
Stoff	α in 1/K	Stoff	α in 1/K
Kupfer	$3,9 \cdot 10^{-3}$	Nickelin	$0,15 \cdot 10^{-3}$
Aluminium	$3,8 \cdot 10^{-3}$	Manganin	$0,02 \cdot 10^{-3}$
Die Werte gelten für 20°C .			

Bei Abkühlung von Leitern nimmt ihr Widerstand ab. In der Nähe des absoluten Nullpunktes (-273°C) haben einige Stoffe keinen Widerstand mehr. Sie sind *supraleitend* geworden.

¹ Kelvin, engl. Physiker Thompson, wurde zu Lord Kelvin geachtet.

1.2.7 Stromdichte

In einem Stromkreis fließt die gleiche Stromstärke durch jeden Leiterquerschnitt und also auch die gleiche Zahl von Elektronen in der Sekunde. Bei verschiedenen großen Querschnitten, z. B. in der Leitung zu einer Glühlampe und im dünnen Glühfaden in der Glühlampe, bewegen sich die Elektronen im kleinen Querschnitt schneller als im großen Querschnitt. Deshalb ist auch die Erwärmung im kleinen Querschnitt größer.

Beispiel 1: Stromdichten berechnen

Durch die Glühlampe Bild 1 fließt eine Stromstärke von 0,2 A. Wie groß ist die Stromdichte a) in der Zuleitung mit 0,2 mm² Querschnitt, b) im Glühfaden mit 0,0004 mm² Querschnitt?

Lösung:

$$\text{a)} J = \frac{I}{A_1} = \frac{0,2 \text{ A}}{0,2 \text{ mm}^2} = 1 \text{ A/mm}^2$$

$$\text{b)} J = \frac{I}{A_2} = \frac{0,2 \text{ A}}{0,0004 \text{ mm}^2} = 500 \text{ A/mm}^2$$

Die Erwärmung nimmt noch mehr zu, wenn durch die Art des Werkstoffes der Elektronenstrom beim Durchgang stärker gehindert wird.

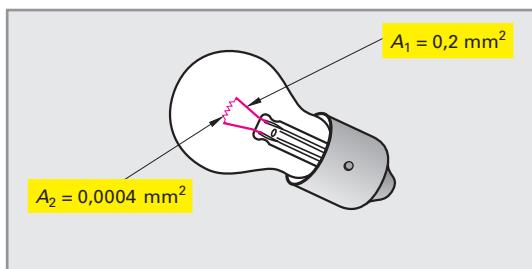


Bild 1: Glühlampe

$$[J] = \frac{A}{\text{mm}^2}$$

$$J = \frac{I}{A}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

A Leiterquerschnitt;
d Durchmesser;

J Stromdichte;
I Stromstärke

1.2.8 Bauformen der Widerstände

1.2.8.1 Festwiderstände

Schichtwiderstände

Ein zylindrischer, keramischer Körper, z. B. aus Porzellan, dient als Träger der Widerstandsschicht aus kristalliner Kohle. Die Schicht wird durch Aufdampfen unter Vakuum oder Tauchen aufgebracht. Der Abgleich des Widerstands erfolgt durch Einschleifen einer Wendel in die Widerstandsschicht. An den Enden der Schicht sind Anschlüsse aus verzinktem Kupferdraht, Metallkappen oder verzinnte Schellen. Widerstand und Toleranz können durch Zahlen oder durch eine Farbkennzeichnung in Form von Ringen, Strichen oder Punkten angegeben sein (Tabelle 1). Die Farbkennzeichnung ist so angebracht, dass der erste Ring näher bei dem einen Ende des Schichtwiderstandes liegt als der letzte Ring bei dem anderen Ende.

Tabelle 1: Farbschlüssel für Widerstände

Kennfarbe	Widerstand in Ω				Toleranz des Widerstands-wertes
	1. Ziffer	2. Ziffer	3. Ziffer	Multiplikator	
Keine	-	-	-	-	± 20 %
Silber	-	-	-	10 ⁻²	± 10 %
Gold	-	-	-	10 ⁻¹	± 5 %
Schwarz	-	0	0	10 ⁰	-
Braun	1	1	1	10 ¹	± 1 %
Rot	2	2	2	10 ²	± 2 %
Orange	3	3	3	10 ³	-
Gelb	4	4	4	10 ⁴	-
Grün	5	5	5	10 ⁵	± 0,5 %
Blau	6	6	6	10 ⁶	-
Violett	7	7	7	10 ⁷	-
Grau	8	8	8	10 ⁸	-
Weiß	9	9	9	10 ⁹	-

Es bedeuten:

1. Ring: 1. Ziffer des Widerstandswertes
2. Ring: 2. Ziffer des Widerstandswertes
3. Ring: Multiplikator, mit dem die Zahl aus Ziffer 1 und Ziffer 2 multipliziert wird
4. Ring: Widerstandstoleranz in Prozent

Sofern Widerstände mit 5 Farbringern gekennzeichnet werden, bilden die ersten 3 Ringe die Ziffern des Widerstandswertes, der 4. Ring gibt den Multiplikator und der 5. Ring die Widerstandstoleranz an.

Beispiel 1: Farbschlüssel anwenden

Ein Kohleschichtwiderstand hat, von links nach rechts betrachtet, die Farbringe Rot-Violett-Braun-Gold. Wie groß sind Widerstand und Toleranz?

Lösung:

Rot	Violett	Braun	Schwarz	Grün
2	7	1	10^0	$\pm 0,5\%$

$$\Rightarrow 271 \cdot 10^0 \Omega \pm 0,5\% = 271 \Omega \pm 0,5\%$$

Manche Metallschichtwiderstände, und zwar **Präzisions-Metallfilmwiderstände**, haben 6 Farbringe. Der 6. Ring gibt den Temperaturkoeffizienten α an. Den Zahlenwert von α erhält man, wenn man die dem Farbring entsprechende Ziffer von Tabelle 1 mit 10^{-6} multipliziert.

Die Widerstandsreihen geben die zu bevorzugenden Widerstandswerte an.

Für übliche Widerstände gelten die IEC-Reihen (IEC von International Electrotechnical Commission = Internationale Elektrotechnische Kommission) E6, E12 und E24 (**Tabellenbuch Informations-, Geräte-, System- und Automatisierungstechnik**). Für spezielle Anwendungen mit feinerer Unterteilung gelten die Reihen E48, E96 und E192.

Die IEC-Reihen gelten auch für die Nennwerte anderer Bauelemente, z. B. von Kondensatoren und Dioden.

Metalloxid-Schichtwiderstände

Die Widerstandsschicht besteht aus einem Metalloxid, welches auf einen keramischen Träger auf-

① Widerstandsnormreihen siehe [wikipedia.org/wiki/E-Reihe](https://en.wikipedia.org/wiki/E-Reihe)

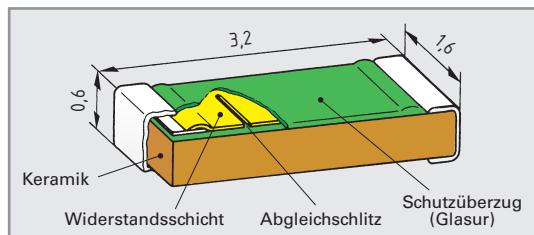


Bild 1: SMD-Widerstand als Chipwiderstand

gedampft wird. Anschließend überzieht man den Widerstand mit Silikonzement. Dadurch wird die Schicht sehr hart und mechanisch fast unzerstörbar. Metalloxid-Schichtwiderstände sind induktionsarm und haben eine hohe Belastbarkeit.

Metallschichtwiderstände

Metallschichtwiderstände haben eine Edelmetallschicht als Widerstandswerkstoff. Die Schicht wird als Paste auf einen Keramikträger aufgetragen (Dickschichttechnik) und eingearbeitet oder durch eine Maske aufgedampft (Dünnschichttechnik).

SMD-Metallschichtwiderstände

SMD-Metallschichtwiderstände (SMD von **S**urface **M**ounted **D**evice = auf der Oberfläche befestigtes Bauelement) sind zur Oberflächenbestückung von gedruckten Schaltungen geeignet. Als Bauformen werden die zylindrische Form als MELF-Widerstand (MELF von **M**etal **E**lectrode **F**aced bonding = Metallschichtoberflächenkontakt) und die rechteckige Form als Chip-Widerstand (**Bild 1**) verwendet. Wegen der geringen Oberfläche werden die Werte von SMD-Widerständen mit einem Code-Aufdruck versehen. Es gibt den **Zweizeichencode** und den **Dreizeichencode** (**Bild 2**).

Drahtwiderstände

Drahtwiderstände haben bei gleicher Belastbarkeit kleinere Abmessungen als Schichtwiderstände. Ein Nachteil ist die Frequenzabhängigkeit des Widerstandes wegen der Induktivität. Durch besondere Wicklungsausführung, z. B. bifilar kann die Induktivität herabgesetzt werden.

1. Buchstabe (Großbuchstabe) für Normwerte																										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z			
1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1			
2. Zeichen als Multiplikator mit 10^n für $n = (0 \dots 8)$ und $0,1$ für $n = 9$																										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																	
C3	$1,2 \cdot 10^3 = 1,2 \text{ k}\Omega$																									
a2	$2,5 \cdot 10^2 = 250 \Omega$																									
s9	$4,7 \cdot 10^{-1} = 0,47 \Omega$																									

Bild 2: Zweizeichencode

1.2.8.2 Veränderbare Widerstände

Als einstellbare Widerstände werden hauptsächlich Drehwiderstände (Potenziometer, Trimmer) verwendet.

Cermet-Trimmopotentiometer

Durch kreisförmige oder lineare Bewegung eines Mehrfingerschleifers auf einer Cermet-Widerstandsschicht (Cermet, von **ceramic metal** = Keramik-Metall) ist eine stetige Änderung des Widerstandes möglich (**Bild 1**). Cermet ist eine auf einem Keramikträger eingebrannte metallhaltige Dickschichtpaste. Cermet-Trimmer besitzen einen großen Widerstandsbereich, kleine Baugrößen und eine sehr genaue Einstellbarkeit (+ 0,01 %).

Schicht-Drehwiderstände

Schicht-Drehwiderstände besitzen als Widerstandswerkstoff eine leitende Kohleschicht, die auf einen Träger aus Schichtpressstoff oder Keramik aufgebracht ist. Der Anschluss erfolgt über Lötfahnen oder Stifte. Von der Bedienungsseite aus gesehen liegt die Endlötfahne links, die Schleiferlötfahne rechts. Zusätzlich kann neben der Endlötfahne noch eine Masselötfahne vorhanden sein. Der Schleifer besteht aus einer Feder mit Kohlekontakt.

Draht-Drehwiderstände

Die Draht-Drehwiderstände mit geradliniger oder kreisförmiger Schleiferbahn bestehen aus einem zylindrischen Isolierstoffring, z. B. aus Keramik, der die Widerstandswicklung trägt. Bei hochbelastbaren Ausführungen ist die Wicklung mit Ausnahme der Abgreiffläche allseitig mit einer Glasur oder mit Zement überzogen. Das ergibt eine gute Wärmeabgabe und eine hohe Überlastbarkeit.

Wendelpotentiometer haben als Wickelkörper eine flexiblen Rundstab, der nach dem Aufwickeln des Widerstandsdrähtes zu einer schraubenförmigen Wendel geformt wird. Der Schleifer benötigt mehrere Umdrehungen, bis die gesamte Länge des Wickels überstrichen ist. Wendelpotentiometer werden für 2 bis 40 Schleiferumdrehungen hergestellt. Sie haben kleine Toleranzen, geringe Abweichungen von der Linearität, hohes Auflösungsvermögen und hohe Nennlast.

1.2.8.3 Heißleiterwiderstände

Heißleiterwiderstände haben einen großen negativen Temperaturkoeffizienten (TK). Ihr Widerstand nimmt mit zunehmender Temperatur stark ab (**Bild 2**). Man nennt Heißleiterwiderstände auch NTC-Widerstände (NTC von **Negative Temperature Coefficient**).

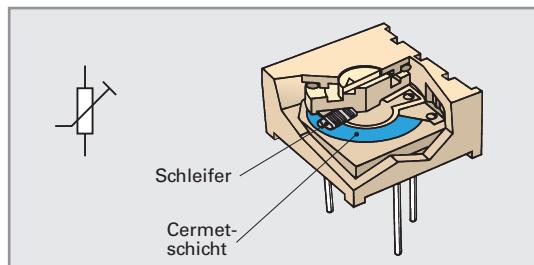


Bild 1: Cermet-Trimmer

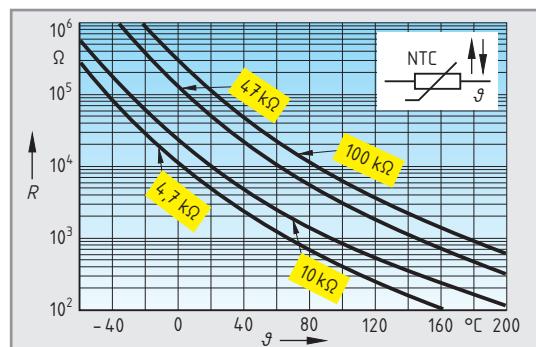


Bild 2: Kennlinien von Heißleiterwiderständen (NTC)

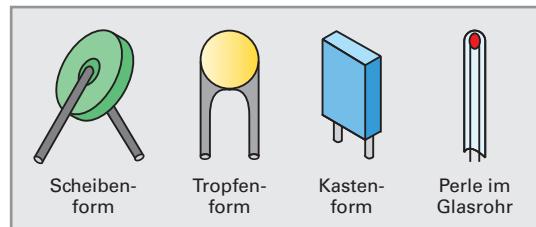


Bild 3: Bauformen von Heißleitern

Heißleiterwiderstände bestehen aus Mischungen von Metalloxiden und oxidierten Mischkristallen, die mit einem Zusatz von Bindemitteln gesintert werden. Je nach Anwendungszweck verwendet man verschiedene Bauformen (**Bild 3**).

Der Temperaturkoeffizient ist temperaturabhängig. Als Kaltwiderstand gibt man meist den Widerstand 20 °C an. Ist die Erwärmung des Heißleiters durch den Strom gering, so bleibt der Widerstand vom Strom unabhängig und die Spannung nimmt geradlinig mit der Stromstärke zu. Eine Widerstandsänderung kann dann nur durch eine fremde Wärmequelle erfolgen.

Heißleiter, die von kleinen Strömen durchflossen werden, arbeiten als fremderwärmte Heißleiter.

1.3.E Basic electronics

1.3.E1 Electricity and electric charge

The basic component of electricity is the electric charge. The electric charge Q is produced by electrons, and its unit is Coulomb (C).

Electric charges can be positive (+) or negative (-). The positive and negative charges are called polarities. Negative polarity is produced by a surplus of electrons at one point, positive polarity is produced by a shortage of electrons. A regular electric battery has two poles with opposite polarities. Each power supply unit or element within an electrical circuit has opposite polarities (**picture 1**).

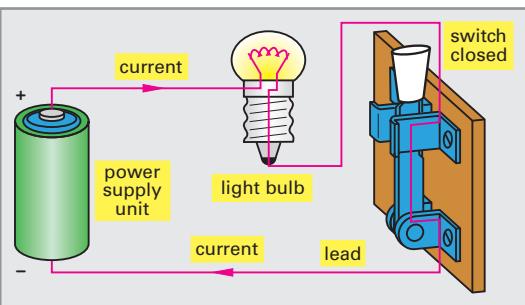
Basic word list

English expression	Übersetzung, Erklärung
electricity	Elektrizität
electric charge	elektrische Ladung
polarity, polarities	Polarität, Polaritäten
surplus of electrons	Elektronenüberschuss
shortage of electrons	Elektronenmangel
power supply unit	Spannungsversorgung
electric(al) circuit	elektrische Schaltung
voltage	elektrische Spannung
conductor	Leiter
voltmeter	Spannungsmesser
current	elektrischer Strom
pole	Pol
light bulb	Glühlampe
switch	Schalter
lead	Leiter
load	Last

1.3.E2 Voltage

Voltage can be considered as the electric pressure. If two metallic bodies, one with a positive charge and the other with a negative charge, are connected by a conductor, electrons move caused by the voltage from the negative electrode to the positive electrode (**picture 2**).

Voltage is present at a point or between two points, but it does not flow or move as current does.



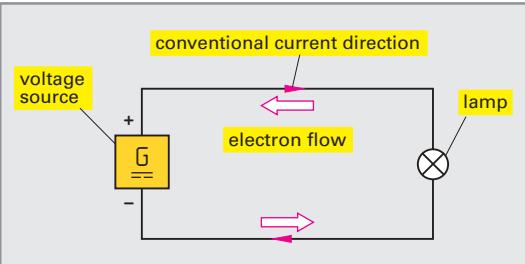
Picture 1: Simple electric circuit

The unit of the voltage is Volt (V). Electric voltage is measured with a voltmeter. It is always connected in parallel to the points between which the voltage is to be measured.

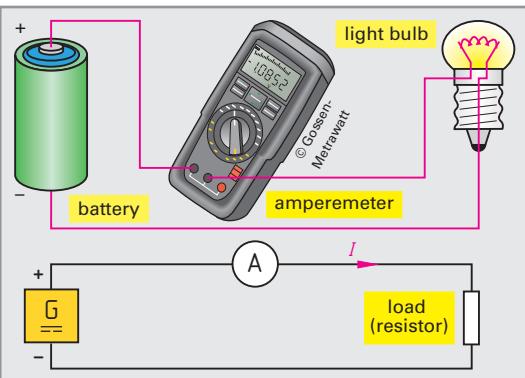
1.3.E3 Current

The electric current is caused by the voltage and can be defined as the flow of charges, usually electrons. Electrons flow from the negative to the positive pole (**picture 2**). Experiments with electric voltages and currents were already being conducted at a time when the relationship between the atom and the structure of electrons was still unknown. The conventional direction for current was decided, at that time as opposite to that of the electrons flow. That means current flows from the positive to the negative pole (**picture 3**). Current is measured with an ammeter (amperemeter). The unit of the current is Ampere (A).

The electric current can have very varied effects. Its magnetic, thermal and chemical effects, as well as its light effect, are widely utilized in technology. Attention must be paid to its physiological effects on human bodies and on animals, which can cause life-threatening accidents.



Picture 2: Current direction



Picture 3: Measurement of current

1.3.E4 Ohm's Law

In a closed circuit, the current flows through the leads and through the load. This is caused by the electric voltage produced by the voltage source. The magnitude of the current flowing is a function both of the magnitude of the voltage and of the resistance (**picture 1**). Ohm's Law is defined in terms of these three main electrical components.

Voltage is equal to the current multiplied by the resistance.

Ohm's Law can now be applied to find the equivalent current. This is done by using the total resistance of the circuit and the applied voltage. By implementing Ohm's law we can see that the current of the circuit is equal to the voltage devided by the sum of the resistors.

In any series circuit, the total current in the circuit is the same as the current through any individual component.

Ohm's law can also be applied to find the equivalent resistance R of a series circuit when the total current and the applied voltage are given. The equivalent resistance R is the applied voltage devided by the current. By the same token, Ohm's law can be applied to determine the voltage U across each individual component. It is the value of each individual resistor multiplied by the current. The graphical representation of the function is shown in picture 1.

Example 1: Calculating current

A lamp with a resistance of 15Ω is connected to a voltage source with $4,5 \text{ V}$. Give the current I that is flowing in the circuit.

Solution:

$$I = U/R = 4,5 \text{ V}/15 \Omega = 0,3 \text{ A}$$

Basic word list

English expression	Übersetzung, Erklärung
circuit	Schaltung, Schaltkreis
leads	Leitungen
load	Last
magnitude	Größe
connected in parallel	parallel geschaltet
connected in series	seriell geschaltet
resistor	Widerstandswert
resistance	Bauelement Widerstand
total resistance	Gesamtwiderstand
value	Wert
applied voltage	angelegte Spannung
graphical representation	grafische Darstellung

Example 2: Calculating resistance

Two resistors with $R_1 = 50 \Omega$ and $R_2 = 70 \Omega$ are connected in series with a voltage of 12 V . Give the total resistance, the current and the component voltages.

Solution:

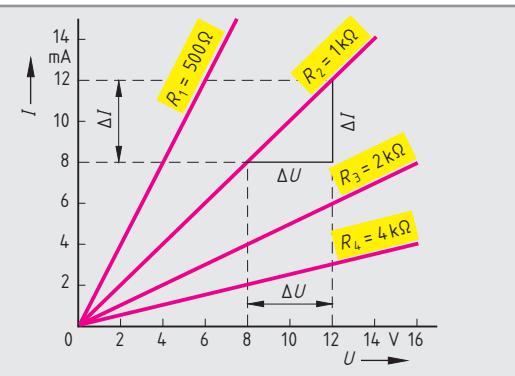
$$R = R_1 + R_2 = 50 \Omega + 70 \Omega = 120 \Omega$$

$$I = U/R = 12 \text{ V}/120 \Omega = 0,1 \text{ A}$$

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0,1 \text{ A} \cdot 50 \Omega = 5 \text{ V}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 0,1 \text{ A} \cdot 70 \Omega = 7 \text{ V}$$

The equivalent resistance R of a series circuit is equal to the sum of all the individual resistances in the circuit.

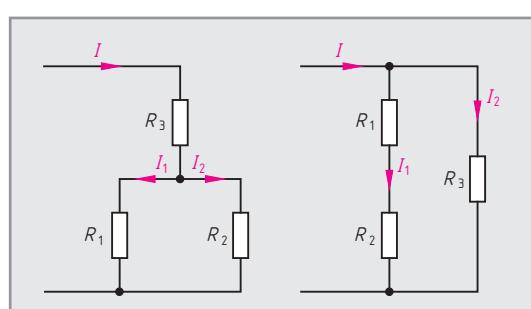


Picture 1: I - U graph for different resistances

1.3.E5 Simple circuits

There are two basic types of circuits, components connected in parallel or in series. There are also components connected in combination, for example series-parallel connection or parallel-series connection (**picture 2**).

On the left side of picture 2 R_1 is connected in parallel with (or across) R_2 . These two resistors are connected in series with R_3 . On the right side of picture 2 R_1 is connected in series with R_2 . These two resistors are connected in parallel with (or across) R_3 . In any series circuit, there can be two or more resistors connected in series.



Picture 2: Combinations of basic types of circuits

1.3.E6 Resistance and conductivity

The electrical component that shows the physical quantity resistance in a circuit is the resistor. A resistor is anything that electricity can not travel through easily. When electricity is forced through a resistor, parts of the energy in the electricity are always changed into another form of energy, such as heat or light. The reason why a light bulb glows is that electricity is forced through tungsten, which is a resistor. The energy is released as light and not needed heat. A conductor is the opposite of a resistor. Electricity travels easily and efficiently through a conductor, with almost no other energy released as it passes. Typical conductor materials are copper, silver and aluminium. The unit of the resistance is Ohm (Ω = greek letter omega).

Materials that offer a high resistance to the passage of electricity such as glass and plastics are called non-conductors or insulators.

The resistivity ρ and the conductivity γ of a conductor material are usually quoted for a material temperature of 20 °C. In all materials these values vary as a function of temperature (table 1). Consequently the resistance also varies with temperature.

1.3.E7 Resistors

Resistors are subdivided into fixed resistors and variable resistors. Picture 1 shows the relevant circuit symbols. Resistors are made from a variety of materials and in a very large number of forms. They are labeled with an international colour code (picture 2). Only standard resistance values are available, these standards contain series designated E12, E24 ... (table 2). When choosing a resistor four factors can be considered:

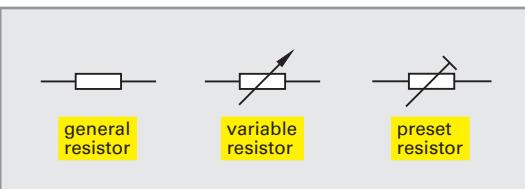
- value given in Ω .
- tolerance, exact values cannot be guaranteed by mass-production methods. In most electronic circuits the values of resistors are not critical. A resistor of 100 Ω and a tolerance of $\pm 10\%$ can have any value between 90 Ω and 110 Ω .
- power rate, this is the maximum power which can be developed in a resistor without occurring damage by overheating. For most electronic circuits power ratings of 0,25 W or 0,5 W are adequate. The bigger the physical size of the resistor, the higher is its rating.
- stability is the ability to keep the same value with changes of temperature and with age.

Table 1: Temperature coefficient α

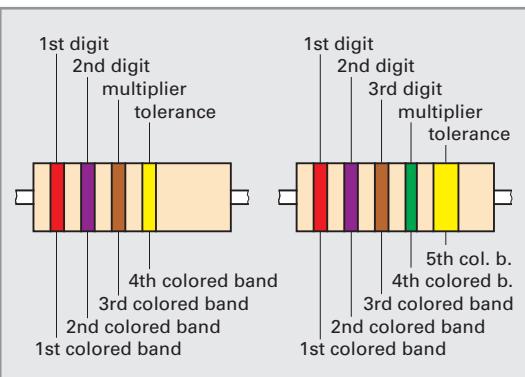
material	α in 1/K	material	α in 1/K
copper	$3,9 \cdot 10^{-3}$	silver	$3,8 \cdot 10^{-3}$
constantan	$1 \cdot 10^{-5}$	tungsten	$4,7 \cdot 10^{-3}$

Basic word list

English expression	Übersetzung, Erklärung
component	Bauteil
to glow	glühen
tungsten	Wolfram
conductor	Leiter
insulator	Isolator
resistivity	spezifischer Widerstand
conductivity	spezifischer Leitwert
tolerance	Toleranz
power rate	Leistungsbereich (meist zulässige Leistung)
stability	Stabilität
damage	Zerstörung



Picture 1: Resistor symbols for circuit diagrams



Picture 2: Meaning of coloured bands

Table 2: Colour-code for fixed resistors

colour	resistance in Ω		permissible percentage tolerance
	digits	multipliers	
silver (SR)	-	10^{-2}	$\pm 10\%$
gold (GD)	-	10^{-1}	$\pm 5\%$
black (BK)	0	10^0	-
brown (BN)	1	10^1	$\pm 1\%$
red (RD)	2	10^2	$\pm 2\%$
orange (OG)	3	10^3	-
yellow (YE)	4	10^4	-
green (GN)	5	10^5	$\pm 0.5\%$
blue (BU)	6	10^6	$\pm 0.25\%$
violet (VT)	7	10^7	$\pm 0.1\%$
grey (GY)	8	10^8	$\pm -$
white	9	10^9	$\pm -$
none	-	-	$\pm 20\%$