



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	Tettngang
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 Welper

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 Schülerelbstständigkeit 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 Begriffsystems 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	1.7E2	Circuit breakers and RCDs	60
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches	8	1.8	Spannung und elektrisches Feld	61
		1.8.1	Elektrisches Feld	61
		1.8.2	Kondensator	63
		1.8.3	Schaltungen von Kondensatoren	66
		1.8.4	Kondensator im Gleichstromkreis	67
		1.8.5	Bauformen der Kondensatoren	68
1 Grundlagen		1.8.E	Capacitors and capacitance	73
1.1 Physikalische Größen	9	1.8.E1	Capacitors	73
1.1.1 Kraftfelder	9	1.8.E2	Types of capacitors	73
1.1.3 Basisgrößen, Einheiten und abgeleitete Einheiten	10	1.8.E3	Properties and characteristic values of capacitors	73
1.1.4 Kraft	11	1.9 Strom und Magnetfeld	74	
1.1.5 Arbeit	11	1.9.1	Magnetisches Feld	74
1.1.6 Energie	12	1.9.1.1	Pole des Magneten	74
1.2 Elektrotechnische Grundgrößen	13	1.9.1.2	Weiß'sche Bezirke	74
1.2.1 Ladung	13	1.9.1.3	Arten magnetischer Stoffe	75
1.2.2 Spannung	13	1.9.1.4	Magnetostriktion	75
1.2.3 Elektrischer Strom	14	1.9.1.5	Magnetische Feldlinien	76
1.2.4 Elektrischer Widerstand	16	1.9.1.6	Anwendung der Dauermagnete	76
1.2.5 Ohm'sches Gesetz	16	1.9.1.7	Magnetfeld um den Strom	77
1.2.6 Widerstand und Temperatur	17	1.9.1.8	Magnetfeld einer vom Strom durchflossenen Spule	78
1.2.8	18	1.9.1.9	Magnetische Größen	79
1.2.8.1 Festwiderstände	18	1.9.1.10	Eisen im Magnetfeld einer Spule	81
1.2.8.2 Veränderbare Widerstände	20	1.9.2 Elektromagnetische Baugruppen	83	
1.2.8.3 Heileiterwiderstände	20	1.9.2.1	Elektromagnete	83
1.2.8.4 Kaltleiterwiderstände	21	1.9.2.2	Relais	83
1.2.8.5 Spannungsabhängige Widerstände	22	1.21.9.E Electricity and magnetism	86	
1.3 Grundschaltungen	24	1.9.E1	Magnetic fields	86
1.3.1 Bezugspfeile	24	1.9.E2	Electricity makes magnetism	86
1.3.2 Reihenschaltung	25	1.9.E3	Electromagnetic induction	86
1.3.3 Parallelschaltung	27	1.9.E4	Generators	86
1.3.4 Gemischte Schaltungen	28	1.9.3	Strom im Magnetfeld	87
1.3.4.1 Spannungsteiler	29	1.9.4	Induktion	90
1.3.4.2 Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung	30	1.9.5	Spule im Gleichstromkreis	96
		1.9.6	Bauformen der Spulen	96
1.3.E Basic electronics	32	1.9.E2 Technical uses of magnetism	99	
1.3.E1 Electricity and electric charge	32	1.9.E2	Contactors and relays	99
1.3.E2 Voltage	32	1.10 Strom in Festkorpem	100	
1.3.E3 Current	32	1.10.1	Bandermodell	100
1.3.E4 Ohm's Law	33	1.10.2	Strom in Metallen	100
1.3.E5 Simple circuits	33	1.10.3	Strom in Halbleitern	100
1.3.E6 Resistance and conductivity	34	1.10.3.1	Bändermodell und Kristallaufbau	100
1.3.E7 Resistors	34	1.10.3.2	Eigenleitung	101
1.4 Gefahren des elektrischen Stromes und Überstrom-Schutzeinrichtungen	35	1.10.3.3	Störstellenleitung	101
1.4.1 Gefahren des elektrischen Stromes	35	1.10.4	Halbleiterdioden	102
Die 5 Sicherheitsregeln	35	1.10.4.1	Sperrschicht	102
1.4.2 Überstrom-Schutzeinrichtungen	36	1.10.4.2	Sperrschichtkapazität	102
1.5 Leistung, Arbeit, Wärme	38	1.10.4.3	Rückwärtsrichtung und Vorwärtsrichtung	102
1.5.1 Elektrische Leistung	38	1.10.4.4	Elektrischer Durchbruch	104
1.5.2 Elektrische Arbeit	40	1.10.4.5	Bauformen und Kennzeichnung	105
1.5.3 Mechanische Leistung	41	1.10.4.6	Fotodioden, Fotowiderstände und Fotoelemente	107
1.5.4 Wirkungsgrad	41	1.10.4.7	LED und Optokoppler	109
1.5.5 Temperatur und Wärme	43	1.10.5	Arbeitspunkt	111
1.5.6 Wärmeübertragung	44	1.10.5.5 Z-Dioden	114	
1.5.7 Leistungshyperbel	45	1.10.5.6	Kapazitätsdioden	115
1.6 Spannungserzeuger	47	1.10.5.7	PIN-Dioden	115
1.6.1 Arten der Spannungserzeugung	47	1.10.5.8	Schottkydioden	116
1.6.2 Belastungsfälle einer Spannungsquelle	48	1.10.5.9	SiC-Dioden	116
1.6.3 Anpassung	49	1.10.5.10	Halbleiterlaser	116
1.6.4 Schaltungen von Spannungserzeugern	50	1.10.E Semiconductor diodes	118	
1.6.5 Ersatzspannungsquelle	51	1.10.E1	Rectifier diode	118
1.7 Wechselspannung und Wechselstrom	53			
1.7.E Dangers from electric current	60			
1.7.E1 Effects	60			

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 Transformatorarten	171
1.10.E4	Schottky diode	119	2.6	Dreiphasenwechselfspannung, Drehstrom	173
1.11	Schaltungstechnik und Funktionsanalyse	120	2.6.1	Entstehung der Dreiphasenwechselfspannung	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	Schützsicherungen	124	2.5.E.1	Generation	177
1.11.5	Schaltungen mit Zeitschaltern	126	2.5.E.2	Star connection and delta connection	177
1.12	Werkstoffe	127	2.5.E.3	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 (Liquid Chrystal Display)	197
1.12.9	Leitungen	135	2.8.3	Aufbau eines LC-Bildschirms	199
1.12.9.1	Leitungen der Energietechnik	135	2.8.4	Pixeldichte und Betrachtungsabstand	199
1.12.9.2	Leitungen der Informationstechnik	137	2.8.5	Monitorbildschirme	200
1.12.E	Transmission media in computer networks	138	2.8.6	TV-Geräte	200
1.12.E.1	Coaxial cables	138	2.8.7	Sehbereich und Farbäume von LCD	201
1.12.E.2	Twisted-pair cables	138	2.9	Stromversorgung elektronischer Schaltungen	202
1.12.E.3	Fiber-optic cables	138	2.9.1	Netzanschlussgerät	202
2	Anwendung der Grundlagen		2.9.2	Gleichrichter	202
2.1	Blindwiderstände an sinusförmiger Wechselfspannung	139	2.9.3	Gleichrichterschaltungen	203
2.1.1	Blindwiderstände an Wechselfspannung	139	2.9.4	Gleichrichter mit einstellbarer Spannung	206
2.1.1.1	Wechselstromwiderstand des Kondensators	139	2.9.5	Glättung der gleichgerichteten Spannung	207
2.1.2	Wechselstromwiderstand der Spule	140	2.9.6	Stabilisieren	209
2.1.3	Schaltungen von nicht gekoppelten Spulen	141	2.9.6.2	Lineare Spannungsregler	210
2.2	RC-Schaltungen und RL-Schaltungen	142	2.9.6.3	Schaltregler für Festspannungen	213
2.2.1	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand	142	2.9.7	Unterbrechungsfreie Stromversorgung USV	215
2.2.2	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand	143	2.9.E	Rectifier circuits	216
2.2.3	Verluste im Kondensator	145	2.9.E.1	Half-wave rectifier circuit E1	216
2.2.4	Verluste in der Spule	146	2.9.E.2	Full-wave rectifier circuit B2	216
2.2.5	Impulsverformung	148	2.10	Verstärker	217
2.2.6	RC-Siebschaltungen und RL-Siebschaltungen	150	2.10.1	Grundbegriffe	217
2.3	Schwingkreise	154	2.10.2	Verstärker mit bipolaren Transistoren	221
2.3.1	Schwingung und Resonanz	154	2.10.2.1	Verstärkergrundschaltungen	221
2.3.2	Reihenschwingkreis	155	2.10.2.2	Arbeitspunkt	222
2.3.3	Parallelschwingkreis	156	2.10.2.3	Emitterschaltung	223
2.3.4	Eigen- und Resonanzfrequenz	157	2.10.2.4	Verstärker für den D-Betrieb	225
2.3.5	Bandbreite und Güte	158	2.10.2.5	Gegenkopplung	226
2.3.6	Mechanische Bandfilter	159	2.10.2.6	Gegentaktschaltungen	227
2.3.E	Filters	161	2.10.3	Verstärker mit Feldeffekttransistoren	228
2.4	Leistungen bei Wechselstrom	162	2.10.4	Operationsverstärker	232
2.4.1	Wirkleistung	162	2.10.4.2	Schaltungen mit Operationsverstärkern	234
2.4.2	Blindleistung, Scheinleistung	162	2.10.E	Amplifiers	240
2.4.3	Leistungsdreiecke	163	2.10.E.1	Transistor as amplifier	240
2.4.4	Leistungsfaktor	164	2.10.E.2	Operational amplifier (OpAmp)	240
2.4.9	Kompensation von Blindwiderständen	165	2.10.E.3	Operational amplifier as inverting amplifier	240
2.5	Transformatoren	166	2.11	Generatoren und Kipperschaltungen	241
2.5.1	Wirkungsweise und Begriffe	166	2.11.1	Sinusgeneratoren	241
2.5.2	Aufbau von Transformatoren	166	2.11.2	Elektronische Schalter	243
2.5.3	Idealer Transformator	167	2.11.3	Astable Kipperschaltung (Rechteckgenerator)	244
2.5.4	Realer Transformator im Leerlauf	169	2.11.4	Sägezahn-generator	245
			2.11.5	Bistabile Kipperschaltung	245
			2.11.6	Monostabile Kipperschaltung	245
			2.11.7	Schwellwertschalter	246

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	α (alpha)	1. Winkel 2. Temperaturkoeffizient
<i>b</i>	1. Ladungsträgerbeweglichkeit 2. Bandbreite	<i>B</i>	1. Magnetische Flussdichte 2. Blindleitwert 3. Gleichstromverhältnis	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	<i>D</i>	1. Elektrische Flussdichte 2. Dämpfungsfaktor 3. Dynamikbereich	δ (delta)	Verlustwinkel
<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	ϵ (epsilon)	Permittivität
<i>g</i>	1. Fallbeschleunigung, Ortsfaktor 2. Tastgrad 3. Übertragungsmaß	<i>G</i>	Leitwert, Wirkleitwert	η (eta)	Wirkungsgrad
<i>h</i>	Höhe	<i>H</i>	Magnetische Feldstärke	ϑ (theta)	Temperatur in °C
<i>i</i>	zeitabhängige Stromstärke	<i>I</i>	Stromstärke	λ (lambda)	1. Wellenlänge 2. Leistungsfaktor
<i>k</i>	1. Klirrfaktor 2. Verkürzungsfaktor 3. Konstante	<i>J</i>	1. Stromdichte 2. Trägheitsmoment	μ (müh)	Permeabilität
<i>l</i>	1. Länge, 2. Abstand	<i>K</i>	1. Konstante 2. Kopplungsfaktor	μ_0	Magnetische Feldkonstante
<i>m</i>	1. Masse 2. Modulationsgrad 3. Modulationsindex 4. Strangzahl 5. Zahl der Stufen	<i>L</i>	1. Induktivität 2. Pegel	ρ (rho)	1. spez. Widerstand 2. Dichte
<i>n</i>	1. Drehzahl, Umdrehungsfrequenz 2. ganze Zahl 1, 2, 3 ... 3. Brechzahl	<i>M</i>	1. Kraftmoment 2. Gleichwert	σ (sigma)	1. Streufaktor 2. Rauschabstand
<i>p</i>	1. Polpaarzahl, 2. Druck	<i>N</i>	1. Zahl, z. B. Windungszahl 2. Nachrichtenmenge	τ (tau)	1. Zeitkonstante 2. Impulsdauer 3. Pausendauer
<i>q</i>	Querstromverhältnis	<i>P</i>	Leistung, Wirkleistung	φ (phi)	Winkel, insbesondere Phasenverschiebungswinkel
<i>r</i>	1. Radius 2. differentieller Widerstand	<i>Q</i>	1. Ladung 2. Wärme 3. Blindleistung 4. Gütefaktor, Güte	ω (omega)	1. Winkelgeschwindigkeit 2. Kreisfrequenz
<i>s</i>	1. Strecke, Dicke 2. Siebfaktor 3.bezogener Schlupf 4. Korrektur	<i>R</i>	Widerstand, Wirkwiderstand	Griechische Großbuchstaben	
<i>t</i>	Zeit	<i>S</i>	1. Scheinleistung 2. Steilheit 3. Schlupf (absolut) 4. Übertragungsgröße, Übertragungskoeffizient 5. Schlankheitsgrad 6. Signal	Δ (Delta)	Differenz, Änderung z. B. Δf Bandbreite
<i>u</i>	zeitabhängige Spannung	<i>T</i>	1. Periodendauer 2. Übertragungsfaktor 3. Temperatur in K	Θ (Theta)	Durchflutung
<i>ü</i>	1. Übersetzungsverhältnis 2. Übersteuerungsfaktor	<i>U</i>	Spannung	Φ (Phi)	1. Magnetischer Fluss 2. Lichtstrom
<i>v</i>	1. Geschwindigkeit 2. Verstärkungsmaß	<i>V</i>	1. Volumen 2. Verstärkungsfaktor 3. Verlustleistung	Ψ (Psi)	Elektrischer Fluss
<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		n	Bemessungs- (Nenn-)	F	1. Vorwärts- (forward) 2. Fläche 3. Fehler
0	1. Leerlauf 2. im Vakuum 3. Bezugsgröße	o	Oszillator	G	1. Gate 2. Gewicht 3. Glättung 4. Grün
1	1. Eingang 2. Reihenfolge	p	1. parallel, 2. Pause, 3. Puls, 4. potenziell, 5. Brumm, 6. Druck 7. Foto (Photo)	H	1. Hysterese 2. Hall-
2	1. Ausgang 2. Reihenfolge	r	1. in Reihe 2. relativ, bezogen 3. Anstiegs- 4. Rausch- 5. Resonanz-	K	1. Katode 2. Kopplung (Gegen-) 3. Kühlkörper 4. Kippen 5. Kanal, Strecke
3, 4, ...	Reihenfolge	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-
$\hat{\quad}$, z. B. \hat{u}	Scheitelwert, Höchstwert	sat	Sättigung	Ltg	Leitung
$\check{\quad}$, z. B. \check{u}	Tiefstwert, Kleinstwert	sch	Schritt	M	Mitkopplung
$\hat{\check{\quad}}$, z. B. $\hat{\check{u}}$	1. Spitze-Talwert 2. Schwingungsbreite	t	tief, unten	N	1. Nenn- 2. Nutz-
' , z. B. u'	1. besonderer Hinweis 2. Ableitung	th	thermisch, Wärme-	Q	Quer-
Δ	in Dreieckschaltung	tot	total, gesamt	R	1. Rückwärts- (reward) 2. Rauschen 3. rechts 4. Regel- 5. Rot
Kleinbuchstaben		u	Spannungs-	S	1. Source 2. Schleifen- 3. Sattel-
a	1. Abschalten 2. Ausgang 3. Abfall 4. Anker	v	1. Vor- 2. Verlust 3. visuell, Licht-	T	1. Transformator- 2. Träger-
ab	abgegeben	w	1. Wirk-, wirksam 2. Führungsgröße	U	1. Umgebung 2. Farbdifferenz
auf	aufgenommen	x	1. unbekannte Größe 2. in x-Richtung	V	1. Spannungsmesser 2. Verstärkungs- 3. Farbdifferenz
b	1. Betrieb 2. Blindgröße	y	1. Stellgröße 2. in y-Richtung	W	Wellen-
c	1. Grenz- (von cut off) 2. Form (von crest)	z	Zwischen-	X	am X-Eingang
d	1. Gleichstrom betreffend 2. Dauer- 3. Dämpfung	zu	zugeführt	Y	1. am Y-Eingang 2. in Sternschaltung 3. Luminanz-
e	1. Eingang 2. Emitterschaltung	Großbuchstaben		Z	1. Zener- 2. Zeile
eff	Effektivwert	A	1. Strommesser 2. Antenne 3. Anker- 4. Abstimm- 5. Anode 6. Anzug, Anlauf 7. Anlagenerdung 8. Körpererdung	Griechische Kleinbuchstaben	
f	Frequenz	B	1. Basis 2. Betriebserdung (Netz) 3. Bau- 4. Blau	α (alpha)	in Richtung vom Winkel α
g	Grenzwert	C	1. Kollektor 2. kapazitiv 3. Takt	σ (sigma)	Streu-
ges	Gesamt-	D	Drain	φ (phi)	Phasenverschiebung
h	hoch, oben	E	1. Emmitter 2. Entladen 3. Erde	Griechische Großbuchstaben	
i	1. innen 2. induziert 3. Strom- 4. Signal- 5. idell, 6. Ist- 7. Impuls			Δ (Delta)	eine Differenz betreffend
j	Sperrschicht (von junction)				
k	1. Kurzschluss- 2. Klirr- 3. kinetisch				
m	1. magnetisch 2. Mittelwert 3. Messwerk 4. moduliert				
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_{VCu} 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 er, 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 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



Bild 1: Hörfunk- und Fernsehsatellit im Schwerefeld der Erde

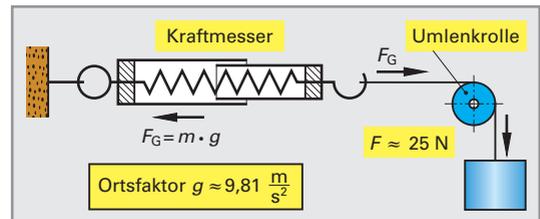


Bild 2: Kraftmessung

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 Schwerefeldes 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.

❗ 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 \rightarrow 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	A · s	Coulomb ²
Je Sekunde	1/s	Hertz
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 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	f	p	n	μ	m	c	d	k	M	G	T	P
10 ⁻¹⁸	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	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:

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

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

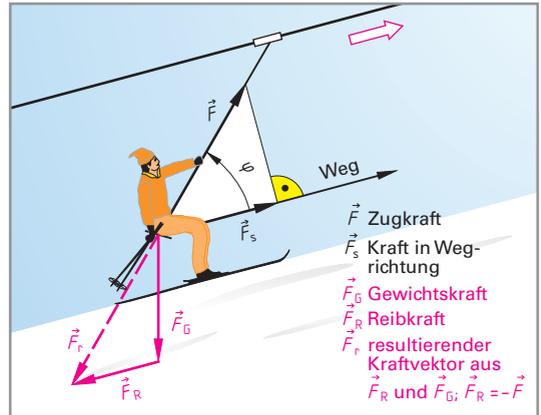


Bild 1: Kräfte bei einem Schlepplift

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

$$F = m \cdot a$$

$$[a] = (m/s) / s = m/s^2$$

$$[F] = kg \cdot m/s^2 = N$$

$$W = F_s \cdot s$$

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

$$[W] = N \cdot m = Nm = J$$

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

Lösung:

$$W_p = m \cdot g \cdot \Delta h \approx 10^6 \text{ m}^3 \cdot 1 \text{ Mg/m}^3 \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 600 \text{ m} \\ = 10^9 \cdot 10 \cdot 600 \text{ Nm} = 6 \cdot 10^{12} \text{ Nm} = \mathbf{6 \text{ TJ}}$$

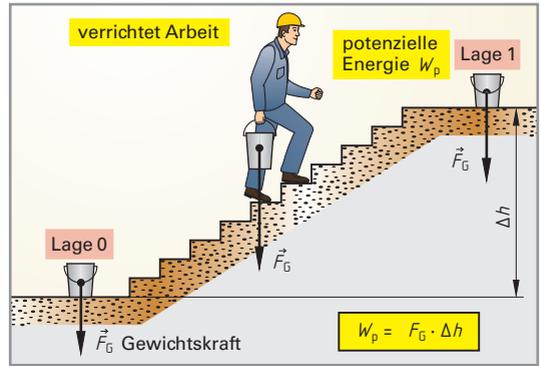


Bild 1: Änderung der Energie durch Arbeit

$W_p = F_G \cdot \Delta h$	
$W_p = m \cdot g \cdot \Delta h$	$W_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
$[W_p] = \text{Nm} = \text{J}$	$[W_k] = \text{Nm} = \text{J}$
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:

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

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, Acrylglas, Polystyrol, die man mit einem Wolltuch reibt, üben aufeinander Abstoßungskräfte (**Bild 1**) oder Anziehungskräfte (**Bild 2**) aus. Dafür sind ebenfalls die elektrischen Ladungen verantwortlich.

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

Die Ladung des Acrylglasstabes 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.

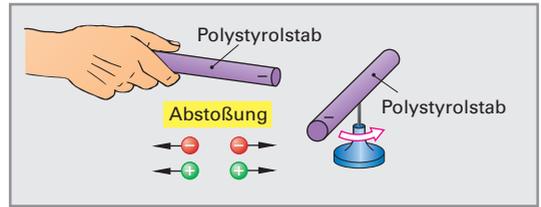


Bild 1: Abstoßung gleichartiger Ladungen

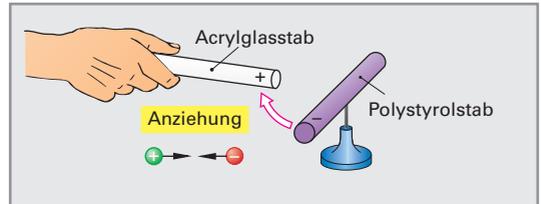


Bild 2: Anziehung ungleichartiger Ladungen

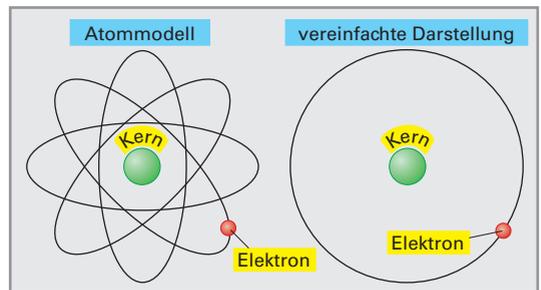


Bild 3: Aufbau eines Wasserstoffatoms



Bild 4: Spannung durch Ladungstrennung

$[Q] = \text{As} = \text{C}$	$Q = I \cdot t$
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 Spannungserzeugung 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 Potentiale aufgefasst werden (**Bild 1**). Zwischen Punkt A mit dem Potenzial φ_A und dem Punkt 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

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

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

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

U Spannung; *W* Arbeit; *Q* Ladung; φ Potenzial

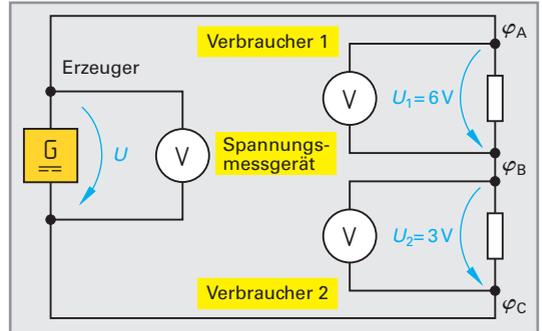


Bild 1: Spannungsmessung

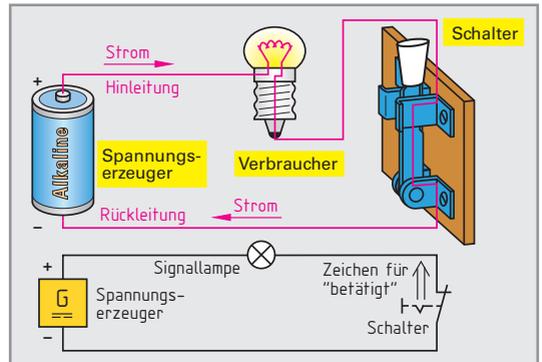


Bild 2: Elektrischer Stromkreis

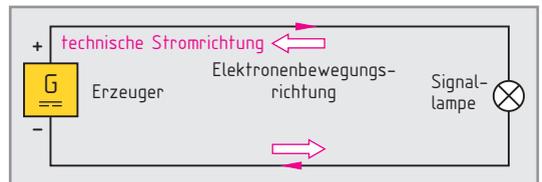
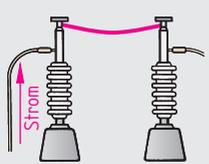
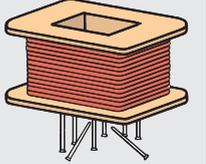
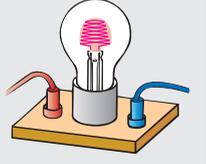
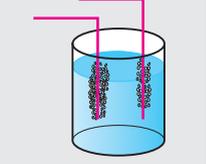


Bild 3: Technische Stromrichtung und Elektronenbewegung

ausbreiteten. Die Elektronen im Leiter bewegen sich dagegen mit sehr geringer Geschwindigkeit (nur wenige mm/s). Der Grund dafür sind die als Hindernis wirkenden Atomrümpfe 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.

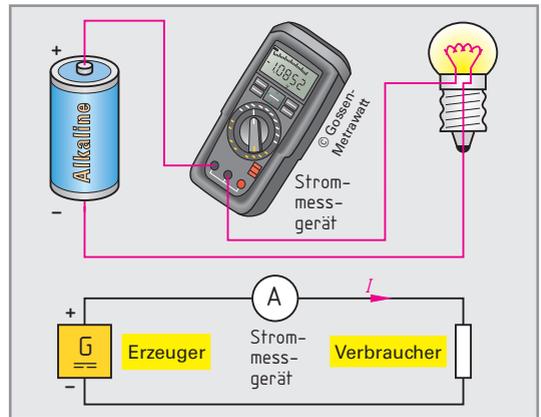


Bild 1: Strommessgerät

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).

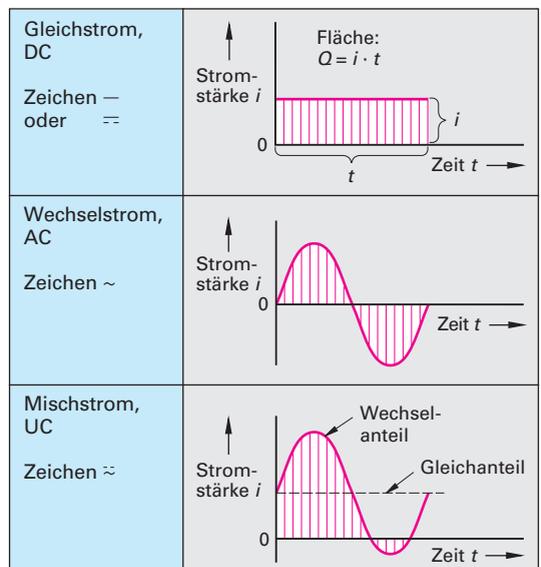


Bild 2: Stromarten

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).

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 mm² 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:

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

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

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

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

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

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

R Widerstand (Resistenz)
 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

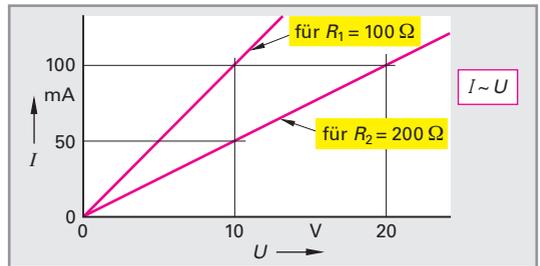


Bild 1: I als Funktion von U bei konstantem Widerstand

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 Ω hat?

Lösung:

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

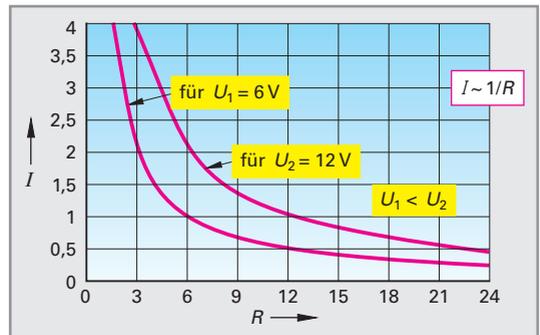


Bild 1: I als Funktion von R beim linearen Widerstand

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 1 Ω bei 1 K Temperaturerhöhung größer oder kleiner wird.

Kelvin¹ (K) ist die Einheit des Temperaturunterschieds, gemessen in der Celsiusskala oder in der Kelvinskala. 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:

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

$$[I] = \frac{[U]}{[R]} = \frac{\text{V}}{\Omega} = \text{A}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$$

$$\Delta R = \alpha \cdot R_1 \cdot \Delta\vartheta$$

$$R_2 = R_1 + \Delta R$$

$$R_2 = R_1 (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)$$

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 geadelt.

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.

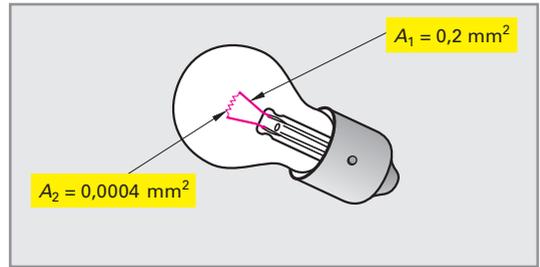


Bild 1: Glühlampe

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:

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

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

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

Wiederholung und Vertiefung

1. Wie verhalten sich gleichartige und wie verschiedenartige Ladungen?
2. Wie ist die Spannung festgelegt?
3. Woraus besteht der elektrische Strom?
4. Wie ist der spezifische Widerstand festgelegt?
5. Welchen Zusammenhang drückt das Ohm'sche Gesetz aus?

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 verzinnem Kupferdraht, Metallkappen oder verzinnete 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.

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

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

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

A Leiterquerschnitt; J Stromdichte
d Durchmesser; I Stromstärke

Tabelle 1: Farbschlüssel für Widerstände					
Kennfarbe	Widerstand in Ω				Toleranz des Widerstandswertes
	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 Farbringen 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:



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

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 **I**nternational **E**lectrotechnical **C**ommission = Internationale Elektrotechnische Kommission) E6, E12 und E24 (**T**abellen**b**uch **I**nformations-, **G**eräte-, **S**ystem- und **A**utomatisierung**t**echnik). 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-

i Widerstandsnormreihen siehe wikipedia.org/wiki/E-Reihe

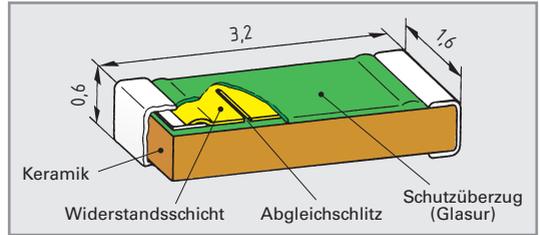


Bild 1: SMD-Widerstand als Chipwiderstand

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 eingebrannt 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 ... 8) und 0,1 für n = 9																									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																
C3	1,2 · 10 ³ = 1,2 kΩ		a2	2,5 · 10 ² = 250 Ω		S9	4,7 · 10 ⁻¹ = 0,47 Ω																		

Bild 2: Zweizeichencode

1.2.8.2 Veränderbare Widerstände

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

Cermet-Trimpotenzimeter

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 Lötflächen oder Stifte. Von der Bedienungsseite aus gesehen liegt die Endlötfläche links, die Schleiferlötfläche rechts. Zusätzlich kann neben der Endlötfläche noch eine Masselötfläche 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.

Wendelpotenzimeter haben als Wickelkörper eine flexiblen Rundstab, der nach dem Aufwickeln des Widerstandsdrahtes zu einer schraubenförmigen Wendel geformt wird. Der Schleifer benötigt mehrere Umdrehungen, bis die gesamte Länge des Winkels überstrichen ist. Wendelpotenzimeter 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 Heißeiterwiderstände

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

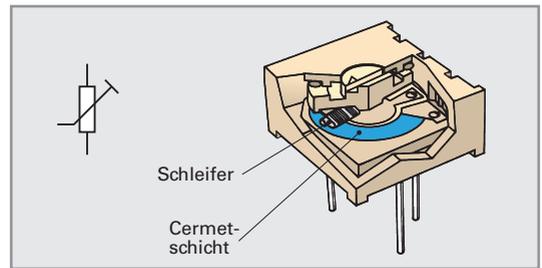


Bild 1: Cermet-Trimmer

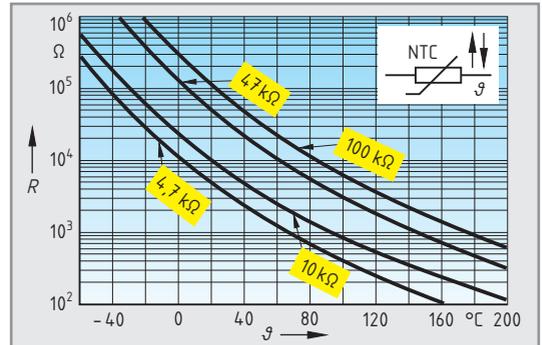


Bild 2: Kennlinien von Heißeiterwiderständen (NTC)

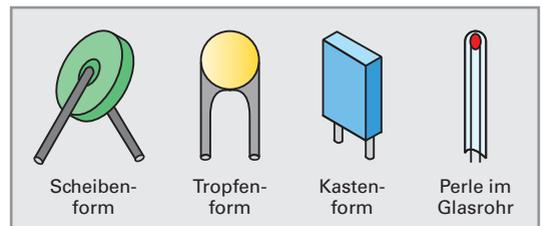


Bild 3: Bauformen von Heißeitern

Heißeiterwiderstände 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 Heißeiters 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.

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