



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für elektrotechnische  
und elektronische Berufe

# Elektronik und IT Grundwissen

19. 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](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de)

Die Autoren und der Verlag Europa-Lehrmittel

Sommer 2026

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

**Europa-Nr.: 31789**

**Autoren:**

Monika Burgmaier	Durbach
Patricia Burgmaier	Melsungen
Elmar Dehler	Laupheim, Ulm
Bernhard Grimm	Leonberg, Sindelfingen
Gregor Häberle	Tettngang
Ute Jansen	Grafenau
Bernd Schiemann	Durbach

**Bildbearbeitung:**

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

**Lektorat:**

Bernd Schiemann, Durbach/Ortenau

19. Auflage 2026

Druck 5 4 3 2 1

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

Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich bitte an [produktsicherheit@europa-lehrmittel.de](mailto:produktsicherheit@europa-lehrmittel.de).

**ISBN 978-3-7585-3403-4**

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.

© 2026 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Satz: Dipl. Des. Susanne Beckmann, 59514 Welper

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

Umschlagfoto: [stock.adobe.com](https://stock.adobe.com/): ©AndSus; © NeoLeo

Druck: UAB BALTO print, 08217 Vilnius (LT)

## Vorwort zur Auflage 19 „Elektronik und IT Grundwissen“

In vielen Ausbildungsberufen, schulischen Bildungsgängen wie Berufskollegs sowie beruflichen Gymnasien und in der Weiterbildung als Techniker oder Meister ist ein Grundwissen von elektrotechnischen und informationstechnischen Grundlagen heute unverzichtbar.

Der zunehmende Grad der Digitalisierung in allen gesellschaftlichen Bereichen erfordert weitreichende IT-Kompetenzen und bedingt ein gestiegenes Bedürfnis an Datensicherheit.

Dabei ist auch die Informationsbeschaffung aus englischsprachigen Unterlagen von großer Bedeutung.

### Was erwartet Sie In diesem Buch?

- Grundlagen der Elektrotechnik, Bauelemente und deren Grundschaltungen
- Grundlagen der Digitaltechnik und der Computertechnik  
**neu: EU-Verordnungen zur Datennutzung**
- Grundlagen der Automatisierungstechnik
- passende englische Texte zu den einzelnen Kapiteln (20 Seiten)
- Umgang mit Kunden und Informationen zum wirtschaftlichen Handeln
- **neu: Cyberphysische Systeme (CPS): Einführung und Anwendung, ChatCPT verwenden, Sensorik und Aktorik, Mikrocontrollersysteme kennen und anwenden**

### Wie können Sie mit dem Buch arbeiten?

Durch den fachsystematischen Aufbau mit bebilderten Texten, Anwendungen und Beispielen können Sie sich leicht informieren und Ihren Kenntnisstand prüfen.

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

Insgesamt 20 Seiten „**Testen Sie Ihre Kompetenz**“ mit Rechenergebnissen dienen Ihnen zur zusätzlichen Vertiefung Ihrer Kompetenzen.

Die Verfasser des Buches wünschen Ihnen viel Freude beim Arbeiten mit diesem Buch.

Kapitel	Elektronik und IT Grundwissen	
1	Grundlagen	Basics electronics
2	Anwendung der Grundlagen	Rectifiers, Amplifiers
3	Grundlagen der Digitaltechnik	Digital circuitry
4	Einführung in die Computertechnik	Computer basics
5	Cyberphysische Systeme (CPS)	
6	Automatisierungstechnik	Control Engineering
7	Fertigungstechnik	
8	Kundenorientierung	
9	Betriebswirtschaft und Geschäftsprozesse	

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>9</b>	1.8.E2	Types of capacitors	73
1.1	<b>Physikalische Größen</b>	9	1.8.E3	Properties and characteristic values of capacitors	73
1.1.1	Krautfelder	9	<b>1.9</b>	<b>Strom und Magnetfeld</b>	<b>74</b>
1.1.2	Masse und Kraft	9	1.9.1	Magnetisches Feld	74
1.1.3	Basisgrößen, Einheiten und abgeleitete Einheiten	10	1.9.1.1	Pole des Magneten	74
1.1.4	Kraft	11	1.9.1.2	Weiß'sche Bezirke	74
1.1.5	Arbeit	11	1.9.1.3	Arten magnetischer Stoffe	75
1.1.6	Energie	12	1.9.1.4	Magnetostriktion	75
<b>1.2</b>	<b>Elektrotechnische Grundgrößen</b>	<b>13</b>	1.9.1.5	Magnetische Feldlinien	76
1.2.1	Ladung	13	1.9.1.6	Anwendung der Dauermagnete	76
1.2.2	Spannung	13	1.9.1.7	Magnetfeld um den Strom	77
1.2.3	Elektrischer Strom	14	1.9.1.8	Magnetfeld einer vom Stromdurchflossenen Spule	78
1.2.4	Elektrischer Widerstand	16	1.9.1.9	Magnetische Größen	79
1.2.5	Ohm'sches Gesetz	16	1.9.1.10	Eisen im Magnetfeld einer Spule	81
1.2.6	Widerstand und Temperatur	17	1.9.2	Elektromagnetische Baugruppen	83
1.2.7	Stromdichte	18	1.9.2.1	Elektromagnete	83
1.2.8	Bauformen der Widerstände	18	1.9.2.2	Relais	83
1.2.8.1	Festwiderstände	18	1.9.2.3	Schütz	84
1.2.8.2	Veränderbare Widerstände	20	<b>1.9.E</b>	<b>Electricity and magnetism</b>	<b>86</b>
1.2.8.3	Heißeleiterwiderstände NTC	20	1.9.E1	Magnetic fields	86
1.2.8.4	Kaltleiterwiderstände PTC	21	1.9.E2	Electricity makes magnetism	86
1.2.8.5	Spannungsabhängige Widerstände	22	1.9.E3	Electromagnetic induction	86
<b>1.3</b>	<b>Grundschaltungen</b>	<b>24</b>	1.9.E4	Generators	86
1.3.1	Bezugspfeile	24	1.9.3	Strom im Magnetfeld	87
1.3.2	Reihenschaltung	25	1.9.4	Induktion	90
1.3.3	Parallelschaltung	27	1.9.5	Spule im Gleichstromkreis	96
1.3.4	Gemischte Schaltungen	28	1.9.6	Bauformen der Spulen	96
1.3.4.1	Spannungsteiler	29	1.9.E2	Technical uses of magnetism	99
1.3.4.2	Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung	30	1.9.E2	Contactors and relays	99
<b>1.3.E</b>	<b>Basic electronics</b>	<b>32</b>	<b>1.10</b>	<b>Halbleiter</b>	<b>100</b>
1.3.E1	Electricity and electric charge	32	1.10.1	Bändermodell	100
1.3.E2	Voltage	32	1.10.2	Eigenleitung	101
1.3.E3	Current	32	1.10.3	Störstellenleitung	101
1.3.E4	Ohm's Law	33	1.10.4	Halbleiterdioden	102
1.3.E5	Simple circuits	33	1.10.4.1	Sperrschicht	102
1.3.E6	Resistance and conductivity	34	1.10.4.2	Sperrschichtkapazität	102
1.3.E7	Resistors	34	1.10.4.3	Rückwärtsrichtung und Vorwärtsrichtung	102
<b>1.4</b>	<b>Gefahren des elektrischen Stromes und Überstrom-Schutzeinrichtungen</b>	<b>35</b>	1.10.4.4	Elektrischer Durchbruch	104
1.4.1	Gefahren des elektrischen Stromes	35	1.10.4.5	Bauformen und Kennzeichnung	105
	Die 5 Sicherheitsregeln	35	1.10.4.6	Fotodioden, Fotowiderstände und Fotoelemente	107
1.4.2	Überstrom-Schutzeinrichtungen	36	1.10.4.7	LED und Optokoppler	109
<b>1.5</b>	<b>Leistung, Arbeit, Wärme</b>	<b>38</b>	1.10.4.8	Arbeitspunkt	111
1.5.1	Elektrische Leistung	38	1.10.4.9	Z-Dioden	114
1.5.2	Elektrische Arbeit	40	1.10.4.10	Kapazitätsdioden	115
1.5.3	Mechanische Leistung	41	1.10.4.11	PIN-Dioden	115
1.5.4	Wirkungsgrad	41	1.10.4.12	Schottkydioden	116
1.5.5	Temperatur und Wärme	43	1.10.4.13	Leistungsdioden	116
1.5.6	Wärmeübertragung	44	1.10.4.14	Halbleiterlaser	116
1.5.7	Leistungshyperbel	45	<b>1.10.E</b>	<b>Semiconductor diodes</b>	<b>118</b>
<b>1.6</b>	<b>Spannungserzeuger</b>	<b>47</b>	1.10.E1	Rectifier diode	118
1.6.1	Arten der Spannungserzeugung	47	1.10.E2	Zener diode	118
1.6.2	Belastungsfälle einer Spannungsquelle	48	1.10.E3	Variable capacitance diode	119
1.6.3	Anpassung	49	1.10.E4	Schottky diode	119
1.6.4	Schaltungen von Spannungserzeugern	50	<b>1.11</b>	<b>Schaltungstechnik und Funktionsanalyse</b>	<b>120</b>
1.6.5	Ersatzspannungsquelle	51	1.11.1	Schaltungsunterlagen	120
<b>1.7</b>	<b>Wechselspannung und Wechselstrom</b>	<b>53</b>	1.11.2	Referenzkennzeichnung in der Elektrotechnik	121
<b>1.7.E</b>	<b>Dangers from electric current</b>	<b>60</b>	1.11.3	Schaltungen mit Installationsschaltern	122
1.7.E1	Effects	60	1.11.4	Schaltfunktion	122
1.7.E2	Circuit breakers and RCDs	60	1.11.5	Schützsicherungen	124
<b>1.8</b>	<b>Spannung und elektrisches Feld</b>	<b>61</b>	1.11.6	Schaltungen mit Zeitschaltern	126
1.8.1	Elektrisches Feld	61	<b>1.12</b>	<b>Werkstoffe</b>	<b>127</b>
1.8.2	Kondensator	63	1.12.1	Atommodell	127
1.8.3	Schaltungen von Kondensatoren	66	1.12.2	Periodensystem	128
1.8.4	Kondensator im Gleichstromkreis	67	1.12.3	Chemische Bindungen	128
1.8.5	Bauformen der Kondensatoren	68	1.12.4	Säuren, Basen und Salze	130
<b>1.8.E</b>	<b>Capacitors and capacitance</b>	<b>73</b>	1.12.5	Normung von Eisenmetallen	130
1.8.E1	Capacitors	73	1.12.6	Elektrochemie	131

1.12.6.1	Stromleitung in Flüssigkeiten	131
1.12.6.2	Elektrolytische Elemente	131
1.12.7	Korrosion	134
1.12.8	Leiterwerkstoffe	135
1.12.9	Leitungen	135
1.12.9.1	Leitungen der Energietechnik	135
1.12.9.2	Leitungen der Informationstechnik	137
<b>1.12.E</b>	<b>Transmission media in computer networks</b>	<b>138</b>
1.12.E1	Coaxial cables	138
1.12.E2	Twisted-pair cables	138
1.12.E3	Fiber-optic cables	138
<b>2</b>	<b>Anwenden der Grundlagen</b>	<b>139</b>
<b>2.1</b>	<b>Blindwiderstände an sinusförmiger Wechselspannung</b>	<b>139</b>
2.1.1	Blindwiderstände an Wechselspannung	139
2.1.1.1	Wechselstromwiderstand des Kondensators	139
2.1.2	Wechselstromwiderstand der Spule	140
2.1.3	Schaltungen von nicht gekoppelten Spulen	141
<b>2.2</b>	<b>RC-Schaltungen und RL-Schaltungen</b>	<b>142</b>
2.2.1	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand	142
2.2.2	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand	143
2.2.3	Verluste im Kondensator	145
2.2.4	Verluste in der Spule	146
2.2.5	Impulsverformung	148
2.2.6	Passive Filterschaltungen	150
<b>2.3</b>	<b>Schwingkreise</b>	<b>154</b>
2.3.1	Schwingung und Resonanz	154
2.3.2	Reihenschwingkreis	155
2.3.3	Parallelschwingkreis	156
2.3.4	Eigen- und Resonanzfrequenz	157
2.3.5	Bandbreite und Güte	158
2.3.6	Mechanische Bandfilter	159
<b>2.3.E</b>	<b>Filters</b>	<b>161</b>
<b>2.4</b>	<b>Leistungen bei Wechselstrom</b>	<b>162</b>
2.4.1	Wirkleistung	162
2.4.2	Blindleistung, Scheinleistung	162
2.4.3	Leistungsreihecke	163
2.4.4	Leistungsfaktor	164
2.4.5	Kompensation von Blindleistung	165
<b>2.5</b>	<b>Transformatoren</b>	<b>166</b>
2.5.1	Wirkungsweise und Begriffe	166
2.5.2	Aufbau von Transformatoren	166
2.5.3	Idealer Transformator	167
2.5.4	Realer Transformator im Leerlauf	169
2.5.5	Realer Transformator unter Last	170
2.5.6	Besondere Transformatorarten	171
<b>2.6</b>	<b>Dreiphasenwechselspannung, Drehstrom</b>	<b>173</b>
2.6.1	Entstehung der Dreiphasenwechselspannung	173
2.6.2	Sternschaltung	174
2.6.3	Dreieckschaltung	175
<b>2.6.E</b>	<b>Transformers and three-phase system</b>	<b>177</b>
2.6.E1	Generation	177
2.6.E2	Star connection and delta connection	177
2.6.E3	Transformers	177
<b>2.7</b>	<b>Transistoren</b>	<b>178</b>
2.7.1	Bipolare Transistoren	178
2.7.2	Feldeffekttransistoren FET	185
2.7.3	Bauelemente der Leistungselektronik	188
2.7.3.1	Thyristoren	188
2.7.3.2	Triac und Diac	190
2.7.4	Integrierte Schaltungen IC	191
<b>2.7.E</b>	<b>Transistors</b>	<b>192</b>
<b>2.8</b>	<b>Bildausgabegeräte</b>	<b>193</b>
2.8.1	Beamer	193
2.8.2	LC-Bildschirme (Liquid Crystal Display)	194
2.8.3	Aufbau eines LC-Bildschirms	196

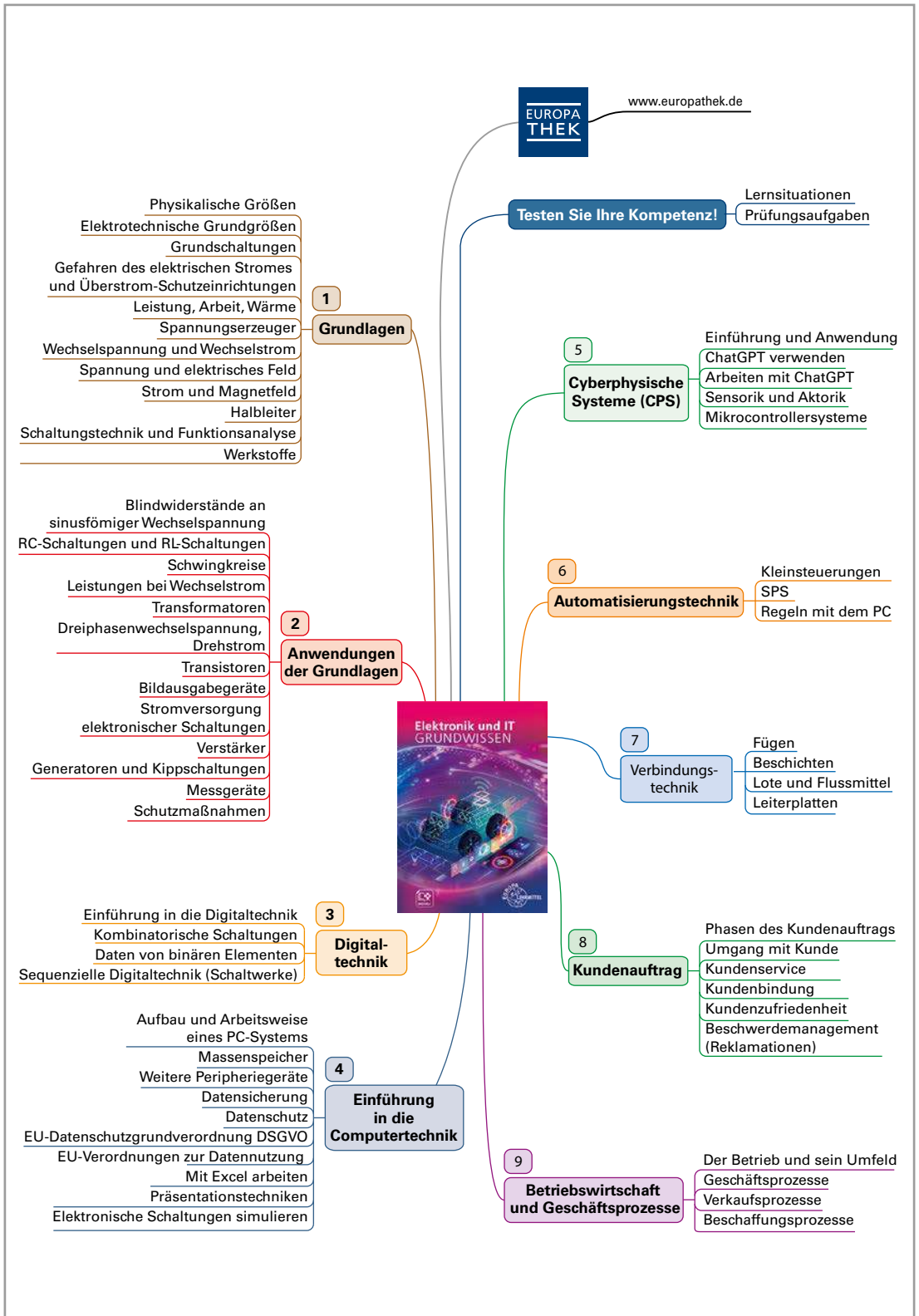
2.8.4	Pixeldichte und Betrachtungsabstand	196
2.8.5	Monitorbildschirme	197
2.8.6	TV-Geräte	197
2.8.7	Sehbereich und Farbräume von LCD	198
<b>2.9</b>	<b>Stromversorgung elektronischer Schaltungen</b>	<b>199</b>
2.9.1	Netzanschlussgeräte	199
2.9.2	Prinzip der Gleichrichtung	199
2.9.3	Gleichrichterschaltungen	200
2.9.4	Gleichrichter mit einstellbarer Spannung	203
2.9.5	Glättung der gleichgerichteten Spannung	204
2.9.6	Stabilisieren	206
2.9.6.1	Stabilisierungsfaktor	206
2.9.6.2	Lineare Spannungsregler	207
2.9.6.3	Schaltregler für Festspannungen	210
2.9.7	Unterbrechungsfreie Stromversorgung USV	212
<b>2.9.E</b>	<b>Rectifier circuits</b>	<b>213</b>
2.9.E1	Half-wave rectifier circuit E1	213
2.9.E2	Full-wave rectifier circuit B2	213
<b>2.10</b>	<b>Verstärker</b>	<b>214</b>
2.10.1	Grundbegriffe	214
2.10.2	Verstärker für den D-Betrieb	219
2.10.3	Operationsverstärker	220
2.10.3.1	Schaltungen mit Operationsverstärkern	222
<b>2.10.E</b>	<b>Amplifiers</b>	<b>228</b>
2.10.E1	Transistor as amplifier	228
2.10.E2	Operational amplifier (OpAmp)	228
<b>2.11</b>	<b>Generatoren und Kipperschaltungen</b>	<b>229</b>
2.11.1	Sinusgeneratoren	229
2.11.2	Elektronische Schalter	231
2.11.3	Timer NE555	232
2.11.4	Monostabile Kippstufe	233
2.11.5	Astabile Kippstufe	233
2.11.6	Schwellwertschalter	234
<b>2.12</b>	<b>Messgeräte</b>	<b>236</b>
2.12.1	Zeigermesswerke	236
2.12.2	Digitalmultimeter	238
2.12.3	Digitales Speicheroszilloskop DSO	239
2.12.4	Scopemeter	243
2.12.5	PC-Oszilloskop	244
2.12.6	PC-Messtechnik	245
<b>2.12.E</b>	<b>Measuring equipment</b>	<b>246</b>
2.12.E1	Multimeters	246
2.12.E2	Oscilloscopes	246
<b>2.13</b>	<b>Schutzmaßnahmen</b>	<b>247</b>
2.13.1	Sicherheitsbestimmungen	247
2.13.2	Schutzarten elektrischer Betriebsmittel	249
2.13.3	Systemunabhängige Schutzmaßnahmen	249
2.13.4	Systemabhängige Schutzmaßnahmen	251
2.13.5	Prüfung von Schutzmaßnahmen	254
2.13.6	Unfallverhütung und Brandbekämpfung	254
2.13.7	Weitere Qualitätskennzeichnungen	255
2.13.8	EU-Maschinenverordnung	256
2.13.9	Funktionale Sicherheit nach SIL	256
2.13.10	Performance-Level	257
<b>2.13.E</b>	<b>Protective Measures</b>	<b>258</b>
2.13.E1	Important terms and definitions	258
2.13.E2	Protective measures against excessive contact voltages	258
<b>3</b>	<b>Digitaltechnik</b>	<b>259</b>
<b>3.1</b>	<b>Einführung in die Digitaltechnik</b>	<b>259</b>
3.1.1	Dualcode	259
3.1.2	Binäre Elemente	260
3.1.3	Grundlagen der Schaltalgebra	262
<b>3.2</b>	<b>Kombinatorische Schaltungen</b>	<b>264</b>
3.2.1	Weitere binäre Elemente	264
3.2.2	Analyse und Synthese von Schaltungen	265
<b>3.3</b>	<b>Daten von binären Elementen</b>	<b>269</b>
3.3.1	Binäre Elemente mit besonderen Ausgängen	269

3.3.2	Digitale Schaltkreisfamilien	270
<b>3.4</b>	<b>Sequenzielle Digitaltechnik (Schaltwerke)</b>	<b>272</b>
3.4.1	Binärspeicher	272
3.4.2	Kippglieder mit dominierendem Eingang	274
3.4.3	Synchrone Kippglieder	275
3.4.4	Zähler mit T-Kippgliedern	276
<b>3.2.E</b>	<b>Digital technology</b>	<b>277</b>
3.2.E1	Fundamentals of digital technology	277
3.2.E2	Basic logic functions	277
3.2.E3	Working with datasheets	278
<b>4</b>	<b>Einführung in die Computertechnik</b>	<b>279</b>
<b>4.1</b>	<b>Aufbau und Arbeitsweise eines PC-Systems</b>	<b>279</b>
<b>4.2</b>	<b>Massenspeicher</b>	<b>282</b>
<b>4.3</b>	<b>Weitere Peripheriegeräte</b>	<b>283</b>
<b>4.4</b>	<b>Datensicherung</b>	<b>284</b>
<b>4.5</b>	<b>Datenschutz</b>	<b>285</b>
<b>4.6</b>	<b>EU-Datenschutzgrundverordnung DSGVO</b>	<b>286</b>
<b>4.7</b>	<b>EU-Verordnungen zur Datennutzung</b>	<b>287</b>
<b>4.8</b>	<b>Mit Excel arbeiten</b>	<b>289</b>
<b>4.9</b>	<b>Präsentationstechniken</b>	<b>291</b>
<b>4.10</b>	<b>Elektronische Schaltungen simulieren</b>	<b>292</b>
4.10.1	Analoge Schaltungen simulieren mit Multisim	292
4.10.2	Analoge Schaltungen mit PSpice simulieren	295
4.10.3	Digitale Schaltungen mit PSpice simulieren	298
<b>4.10.E</b>	<b>Computer basics</b>	<b>299</b>
4.10.E1	Data processing with a PC	299
4.10.E2	Basic parts of a PC system	299
<b>5</b>	<b>Cyberphysische Systeme (CPS)</b>	<b>300</b>
<b>5.1</b>	<b>Einführung und Anwendung</b>	<b>300</b>
<b>5.2</b>	<b>ChatGPT verwenden</b>	<b>301</b>
5.2.1	Was ist ChatGPT?	301
5.2.2	Wie funktioniert es?	301
5.2.3	Was kann ChatGPT?	301
5.2.4	Grenzen von ChatGPT	301
5.2.5	ChatGPT kann Fehler machen	301
<b>5.3</b>	<b>Arbeiten mit ChatGPT</b>	<b>301</b>
5.3.1	Prompt Engineering	301
5.3.2	Prompts und ihre Bedeutung	302
5.3.3	Programmieren mit ChatGPT	302
<b>5.4</b>	<b>Sensorik und Aktorik</b>	<b>303</b>
5.4.1	Sensor-Elemente (Messgrößenaufnehmer)	303
5.4.1.1	Sensorenarten	303
5.4.1.2	Anschlusstechniken von Sensoren	304
5.4.1.3	Wichtige Sensoren	305
5.4.1.4	Aktoren	306
5.4.1.5	Intelligente Sensoren und Aktoren	307
<b>5.5</b>	<b>Mikrocontroller-Systeme</b>	<b>308</b>
5.5.1	ARDUINO	308
5.5.1.1	Hardware	308
5.5.1.2	Entwicklungsumgebung Arduino IDE 2	309
5.5.1.3	Arduino mit C/C++	310
5.5.1.4	Arduino Sprachreferenz Kurzfassung Uno	313
5.5.1.5	Projekt mit ChatGPT entwickeln	314
5.5.2	Grundlagen Raspberry Pi	315
5.5.2.2	Raspberry Pi 4B	316
5.5.2.3	Arbeiten mit dem Raspberry Pi	317
5.5.2.4	Raspberry Pi mit Python steuern	318
5.5.3	Mikrocontroller ESP8266 und ESP32	319
5.5.3.1	Thonny IDE für Python	319
5.5.3.2	MicroPython Befehle	320
5.5.3.3	Wemos D1 mini mit ESP8266	321
5.5.3.4	Programmieren des ESP8266	322
5.5.3.5	Projekt: Ansteuern einer LED mit dem ESP8266 über eine Smartphone-App	323
5.5.3.6	Projekt: Auslesen eines IoT-Sensors in eine Handy-App	326

<b>6</b>	<b>Automatisierungstechnik</b>	<b>327</b>
<b>6.1</b>	<b>Kleinsteuerungen</b>	<b>327</b>
<b>6.2</b>	<b>SPS</b>	<b>331</b>
6.2.1	Funktionseinheiten	332
6.2.2	Sensorik und Aktorik	333
6.2.3	Programmierung	334
6.2.4	Sicherheitsaspekte	336
6.2.5	Programm-Entwurfsverfahren	337
<b>6.3</b>	<b>Regeln mit dem PC</b>	<b>340</b>
6.3.1	Der Regelkreis	340
6.3.2	Der PC im Regelkreis	341
6.3.3	Regeln mit un stetigen Reglern	342
6.3.4	Digitalregler	343
<b>6.E</b>	<b>Control engineering</b>	<b>345</b>
6.E1	Open-loop control system	345
6.E2	Closed-loop control system	345
<b>7</b>	<b>Verbindungstechnik</b>	<b>346</b>
<b>7.1</b>	<b>Fügen</b>	<b>346</b>
<b>7.2</b>	<b>Beschichten</b>	<b>348</b>
<b>7.3</b>	<b>Lote und Flussmittel</b>	<b>349</b>
<b>7.4</b>	<b>Leiterplatten</b>	<b>350</b>
7.4.1	Basismaterial	350
7.4.2	Leiterplattenherstellung	351
<b>8</b>	<b>Kundenauftrag</b>	<b>352</b>
<b>8.1</b>	<b>Phasen des Kundenauftrags</b>	<b>352</b>
<b>8.2</b>	<b>Umgang mit Kunden</b>	<b>354</b>
<b>8.3</b>	<b>Kundenservice</b>	<b>356</b>
<b>8.4</b>	<b>Kundenbindung</b>	<b>356</b>
<b>8.5</b>	<b>Kundenzufriedenheit</b>	<b>357</b>
<b>8.6</b>	<b>Beschwerdemanagement (Reklamationen)</b>	<b>358</b>
<b>9</b>	<b>Betriebswirtschaft und Geschäftsprozesse</b>	<b>361</b>
<b>9.1</b>	<b>Der Betrieb und sein Umfeld</b>	<b>361</b>
9.1.1	Betrieb und Unternehmen	361
9.1.2	Marktwirtschaft und Staat	362
9.1.3	Interessenvertretungen	362
<b>9.2</b>	<b>Geschäftsprozesse</b>	<b>362</b>
9.2.1	Wertschöpfungsprozesse	362
9.2.2	Ablauf von Geschäftsprozessen	363
9.2.3	Geschäftsprozesse und betriebliche Organisation	364
9.2.4	Informationsbeschaffung	365
<b>9.3</b>	<b>Verkaufsprozesse</b>	<b>366</b>
9.3.1	Verkaufskalkulation	366
9.3.2	Erstellung eines Angebots	366
9.3.3	Verträge	366
9.3.3.1	Kaufvertrag	367
9.3.3.2	Servicevertrag	367
9.3.3.3	Leasingvertrag und Mietvertrag	367
9.3.3.4	Allgemeine Geschäftsbedingungen (AGB)	367
9.3.4	Rechnungsstellung	368
<b>9.4</b>	<b>Beschaffungsprozesse</b>	<b>368</b>
9.4.1	Bestellmengenplanung	368
9.4.2	Anfrage	368
9.4.3	Pflichtenheft	369
9.4.4	Bestellung	370
9.4.5	Überwachung des Beschaffungsprozesses	370
9.4.6	Produkthaftung	370
9.4.7	Technische Dokumentation	371
<b>Fachwortliste Englisch – Deutsch</b>		<b>373</b>
<b>Referenzkennzeichen</b>		<b>375</b>
<b>Vorsätze</b>		<b>376</b>
<b>Wichtige Normen</b>		<b>377</b>
<b>Bildquellenverzeichnis</b>		<b>378</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>		<b>379</b>

Formelzeichen dieses Buches					
Formelzeichen	Bedeutung	Formelzeichen	Bedeutung	Formelzeichen	Bedeutung
<b>Kleinbuchstaben</b>		<b>Großbuchstaben</b>		<b>Griechische Kleinbuchstaben</b>	
<i>a</i>	1. Beschleunigung 2. Dämpfungsmaß	<i>A</i>	1. Fläche, Querschnitt 2. Ablenkkoeffizient 3. Dämpfungsmaß	$\alpha$ (alpha)	1. Winkel 2. Temperaturkoeffizient
<i>b</i>	1. Ladungsträgerbeweglichkeit	<i>B</i>	1. Magnetische Flussdichte 2. Blindleitwert 3. Gleichstromverhältnis 4. Bandbreite 5. Zahlenbasis	$\beta$ (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	$\gamma$ (gamma)	1. Winkel 2. Leitfähigkeit
<i>d</i>	1. Durchmesser 2. Abstand 3. Verlustfaktor 4. Differenztonfaktor 5. Klirrfaktor (früher <i>k</i> )	<i>D</i>	1. Elektrische Flussdichte 2. Dämpfungsfaktor 3. Dynamikbereich	$\delta$ (delta)	1. Verlustwinkel 2. Modulationsindex
<i>e</i>	Elementarladung	<i>E</i>	1. Elektrische Feldstärke 2. Beleuchtungsstärke	$\epsilon_0$	Elektrische Feldkonstante
<i>f</i>	1. Frequenz 2. Umdrehungsfrequenz	<i>F</i>	1. Kraft, 2. Rauschfaktor, 3. Faktor, 4. Fehler	$\epsilon$ (epsilon)	Permittivität
<i>g</i>	1. Fallbeschleunigung, Ortsfaktor 2. Tastgrad 3. Übertragungsmaß	<i>G</i>	1. Leitwert, Wirkleitwert 2. Verstärkungsmaß	$\zeta$ (zeta)	Arbeitsgrad
<i>h</i>	Höhe	<i>H</i>	Magnetische Feldstärke	$\eta$ (eta)	Wirkungsgrad
<i>i</i>	zeitabhängige Stromstärke	<i>I</i>	Stromstärke	$\vartheta$ (theta)	Temperatur in °C
<i>k</i>	1. Verkürzungsfaktor 2. Konstante	<i>J</i>	1. Stromdichte 2. Trägheitsmoment	$\lambda$ (lambda)	1. Wellenlänge 2. Leistungsfaktor
<i>l</i>	1. Länge, 2. Abstand	<i>K</i>	1. Konstante 2. Kopplungsfaktor	$\mu$ (müh)	Permeabilität
<i>m</i>	1. Masse 2. Modulationsgrad 3. Strangzahl 4. Zahl der Stufen	<i>L</i>	1. Induktivität 2. Pegel	$\mu_0$	Magnetische Feldkonstante
<i>n</i>	1. Drehzahl, Umdrehungsfrequenz 2. ganze Zahl 1, 2, 3 ... 3. Brechzahl	<i>M</i>	1. Drehmoment (Kraftmoment) 2. Gleichwert 3. Speicherkapazität	$\pi$ (pi)	Kreiszahl
<i>p</i>	1. Polpaarzahl, 2. Druck	<i>N</i>	1. Zahl, z. B. Windungszahl 2. Nachrichtenmenge	$\rho$ (rho)	1. spez. Widerstand 2. Dichte
<i>q</i>	Querstromverhältnis	<i>P</i>	Leistung, Wirkleistung	$\sigma$ (sigma)	1. Streufaktor 2. Rauschabstand
<i>r</i>	1. Radius 2. Rate 3. differentieller Widerstand	<i>Q</i>	1. Ladung 2. Wärme 3. Blindleistung 4. Gütefaktor, Güte	$\tau$ (tau)	1. Zeitkonstante 2. Impulsdauer 3. Pausendauer
<i>s</i>	1. Strecke, Dicke 2. Siebfaktor 3. bezogener Schlupf 4. Korrektur 5. Welligkeitsfaktor	<i>R</i>	Widerstand, Wirkwiderstand	$\varphi$ (phi)	Winkel, insbesondere Phasenverschiebungswinkel
<i>t</i>	Zeit	<i>S</i>	1. Scheinleistung 2. Steilheit 3. Schlupf (absolut) 4. Übertragungsgröße, Übertragungskoeffizient 5. Schlankheitsgrad 6. Signal	$\omega$ (omega)	1. Winkelgeschwindigkeit 2. Kreisfrequenz
<i>u</i>	zeitabhängige Spannung	<i>T</i>	1. Periodendauer 2. Übertragungsfaktor 3. Temperatur in K	<b>Griechische Großbuchstaben</b>	
<i>ü</i>	1. Übersetzungsverhältnis 2. Übersteuerungsfaktor	<i>U</i>	Spannung	$\Delta$ (Delta)	Differenz, Änderung z. B. $\Delta f$ Bandbreite, Frequenzhub, $\Delta\varphi$ Phasenhub
<i>v</i>	1. Geschwindigkeit 2. Verstärkungsmaß	<i>V</i>	1. Volumen 2. Verstärkungsfaktor 3. Verlustleistung	$\Theta$ (Theta)	Durchflutung
<i>w</i>	1. Energiedichte	<i>W</i>	1. Arbeit, 2. Energie	$\Phi$ (Phi)	1. Magnetischer Fluss 2. Lichtstrom
<i>z</i>	Ganze Zahl, z. B. Lagenzahl, Leiterzahl	<i>X</i>	Blindwiderstand	$\Psi$ (Psi)	Elektrischer Fluss
		<i>Y</i>	Scheinleitwert	$\Omega$ (Omega)	Raumwinkel
		<i>Z</i>	1. Impedanz, Scheinwiderstand 2. Wellenwiderstand 3. Schwingungswiderstand		

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



# 1 Grundlagen

## 1.1 Physikalische Größen

Zur Beschreibung der elektrotechnischen Vorgänge sind physikalische Begriffe unentbehrlich.

### 1.1.1 Kraftfelder

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

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

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

Jeder Raum kann von Feldern erfüllt sein.

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

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

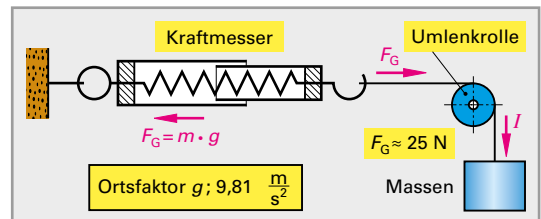
### 1.1.2 Masse und Kraft

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

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



**Bild 1: Satellit im Schwerefeld der Erde**



**Bild 2: Kraftmessung**

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

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

Infolge des 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 Newton<sup>1</sup> mit dem Einheitenzeichen N.

<sup>1</sup> Sir Isaac Newton (sprich Njutn), engl. Physiker, 1643 bis 1727

### 1.1.3 Basisgrößen, Einheiten und abgeleitete Einheiten

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

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

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

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

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

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

#### Einheiten

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

<sup>1</sup> André Marie Ampère, franz. Physiker, 1775 bis 1836

<sup>2</sup> Charles A. de Coulomb, franz. Physiker, 1736 bis 1806

<sup>3</sup> Heinrich Hertz, deutscher Physiker, 1857 bis 1894

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

**Tabelle 1: Basisgrößen**

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

#### Gewichtskraft und Geschwindigkeit

$$F_G = m \cdot g$$

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

$F_G$  Gewichtskraft

$g$  Ortsfaktor, Umrechnungskoeffizient (Fallbeschleunigung)

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

$m$  Masse

$v$  Geschwindigkeit

$s$  zurückgelegte Strecke

$t$  Zeit für das Zurücklegen der Strecke

**Tabelle 2: Abgeleitete Einheiten (Beispiele)**

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

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

Es ist zulässig, die besonderen Einheitennamen als Einheiten zu bezeichnen. Einheiten mit besonderem Einheitennamen sind z. B. Volt (V), Ohm ( $\Omega$ ), 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.



### 1.1.6 Energie

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

Energie ist Arbeitsvermögen. Arbeit bewirkt Energieänderung.

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

Energie lässt sich nicht erzeugen, sondern nur umwandeln.

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

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

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

**Beispiel 1: Potenzielle Energie berechnen**

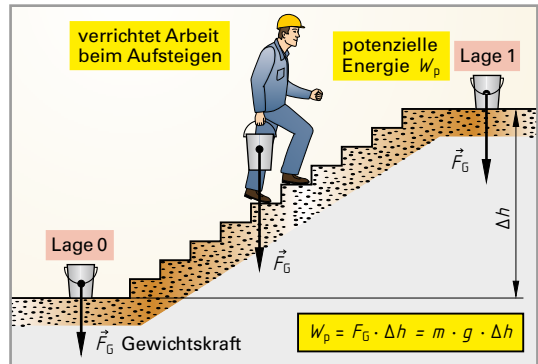
In einem Stausee befinden sich 1 Million m<sup>3</sup> Wasser (Dichte 1 Mg/m<sup>3</sup>) 600 m über dem Turbinenhaus. Wie viel potenzielle Energie ist gegenüber der Lage des Turbinenhauses vorhanden?

Lösung:

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

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

**!** Energie = Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.



**Bild 1: Änderung der Energie durch Arbeit**

potenzielle Energie	kinetische Energie
$W_p = F_G \cdot \Delta h$	$W_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
$W_p = m \cdot g \cdot \Delta h$	
$[W_p] = \text{Nm} = \text{J}$	$[W_k] = \text{Nm} = \text{J}$
$W_p$ potenzielle Energie	$W_k$ kinetische Energie
$F_G$ Gewichtskraft	$m$ Masse
$\Delta h$ Höhendifferenz	$v$ Geschwindigkeit
$g$ Ortsfaktor ( $g \approx 10 \text{ N/kg}$ )	

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

**Beispiel 2: Kinetische Energie berechnen**

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

Lösung:

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

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

**Wiederholung und Vertiefung**

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

# 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).

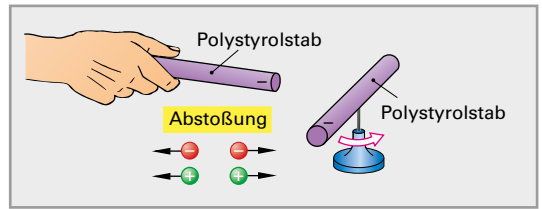
Die elektrische Ladung ist von der Stromstärke und von der Zeit abhängig. Sie hat die Einheit Ampere-sekunde (As) mit dem besonderen Einheitennamen Coulomb<sup>1</sup> (C).

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

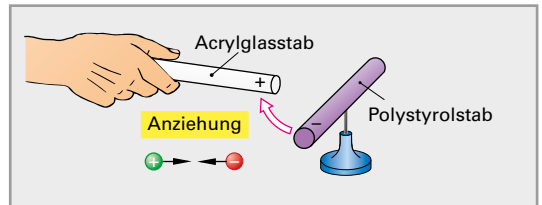
## 1.2.2 Spannung

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**.

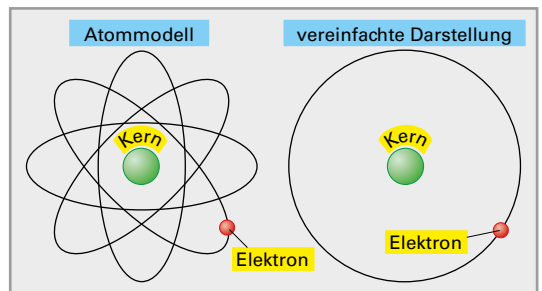
Elektrische Spannung entsteht durch Trennung von Ladungen mittels Arbeit.



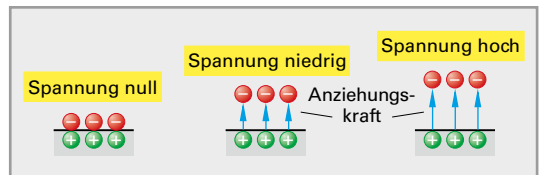
**Bild 1: Abstoßung gleichartiger Ladungen**



**Bild 2: Anziehung ungleichartiger Ladungen**



**Bild 3: Aufbau eines Wasserstoffatoms**



**Bild 4: Spannung durch Ladungstrennung**

<p>Ladung</p> <p><math>[Q] = 1 \text{ As} = 1 \text{ C}</math></p> <p><math>1 \text{ pC} = 10^3 \text{ fC} = 10^6 \text{ aC}</math></p>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math>Q = I \cdot t</math> </div>	
<p><math>Q</math> Ladung</p>	<p><math>I</math> Gleichstromstärke</p>	<p><math>t</math> Zeit</p>

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**).

<sup>1</sup> Charles Augustin de Coulomb, französischer Physiker, 1736 bis 1806

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

Im Schaltzeichen des Spannungsmessgerätes steht V oder U.

Die Einheit der elektrischen Spannung ist das Volt<sup>1</sup> 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  $\varphi_A$  und dem Punkt B besteht die Spannung  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 9V - 3V = 6V$ .  $\varphi_C$  hat 0V.

### 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 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

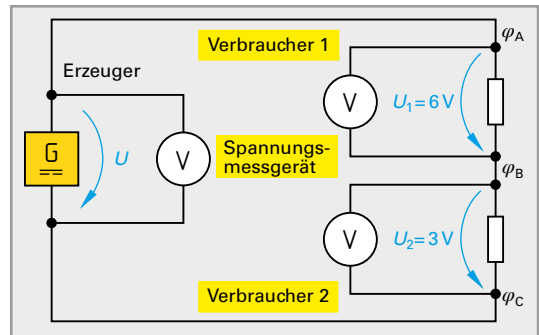
Spannung

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

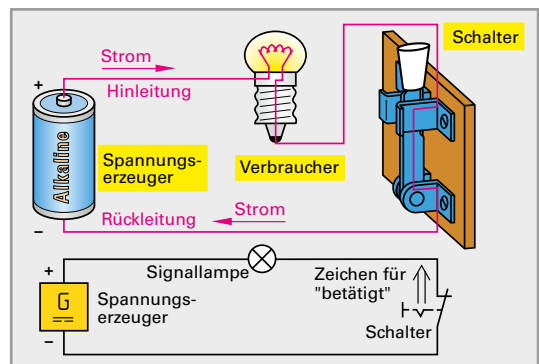
$$[U] = \frac{Nm}{C} = \frac{Ws}{As} = V$$

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

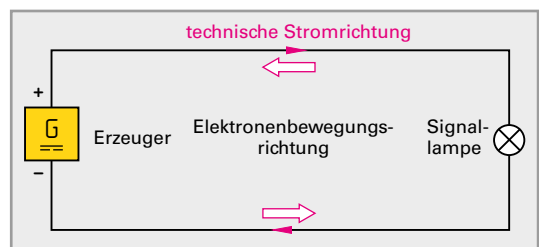
U Spannung    W Arbeit    Q Ladung     $\varphi$  Potenzial



**Bild 1: Spannungsmessung**



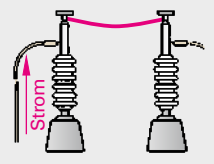
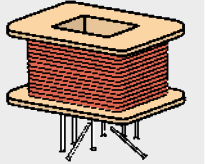
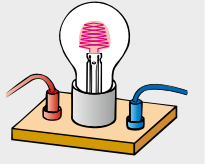
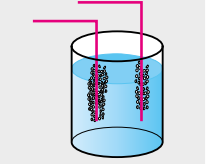

**Bild 2: Elektrischer Stromkreis**



**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.

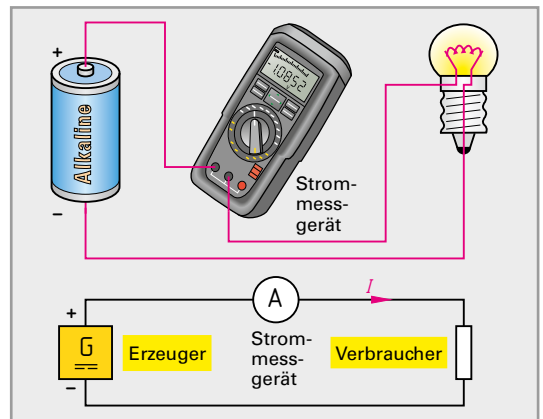
<sup>1</sup> Alessandro Volta, italienischer Physiker, 1745 bis 1827

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	Relaisspule, Relais, Elektromagnete, Elektromotoren, Schütze, Türöffner	Glimmlampe, LED, Leuchtstofflampe	Elektrolyse bei Akkumulatoren, Galvanisieren	Negativ: Unfälle, Positiv: Herzschritt- macher

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 Ampere<sup>1</sup> (A).

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



**Bild 1: Strommessgerät**

Im Schaltzeichen des Strommessgerätes steht A oder  $I$ .

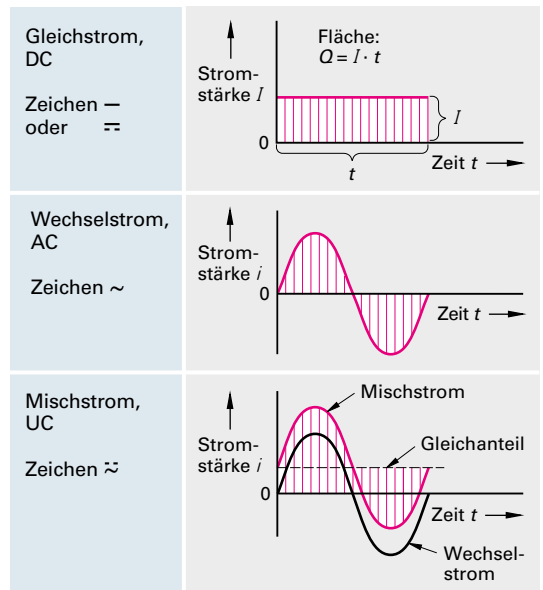
Bei **Gleichstrom** bleibt der Strom bei gleicher Spannung konstant (**Bild 2**). Die Elektronen fließen vom Minuspol durch den Verbraucher zum Pluspol. Das Kurzzeichen für Gleichstrom ist DC (von Direct Current = gerichteter Strom, Gleichstrom).

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 2 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 2.9).



**Bild 2: Stromarten**

<sup>1</sup> André Marie Ampère, franz. Physiker, 1775 bis 1836

### 1.2.4 Elektrischer Widerstand

Der Widerstand, auch **Resistanz** (von lat. resistere = stehenbleiben) genannt (Formelzeichen  $R$ ), hat die Einheit  $\text{Ohm}^1$  ( $\Omega$ ).  $[R] = \Omega$ . Den Kehrwert des Widerstandes nennt man Leitwert. Der Leitwert (Formelzeichen  $G$ ) hat die Einheit Siemens<sup>2</sup> (S).

**Beispiel 1: Leitwert berechnen**

Ein Widerstandswert beträgt  $200 \Omega$ . Wie groß ist sein 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  $\rho$  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  $\rho$  gibt den Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und  $1 \text{ mm}^2$  Querschnitt bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  an.

Die **Leitfähigkeit**  $\gamma$  ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes  $\rho$ . Oft wird mit der Leitfähigkeit  $\gamma$  statt mit dem spezifischen Widerstand gerechnet. **Tabelle 1** zeigt  $\rho$  und  $\gamma$  für wichtige Leiterwerkstoffe.

Die spezifische Leitfähigkeit  $\gamma$  ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes  $\rho$ .

**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:

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot A} = \frac{2 \text{ m}}{36 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2) \cdot 0,00785 \text{ mm}^2} = 7,1 \Omega$$

**Widerstand**

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

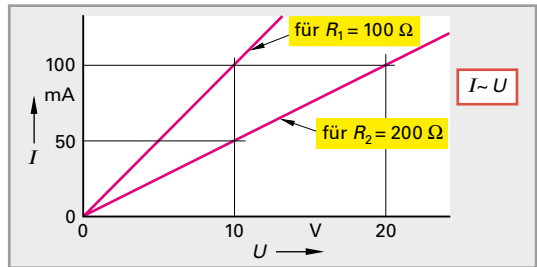
$R = \frac{1}{G}$

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

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

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

**R** Widerstand (Resistanz)  
**G** Leitwert  
 **$\gamma$**  spezifische Leitfähigkeit, spezifischer Leitwert ( $\gamma$  griech. Kleinbuchstabe Gamma)  
 **$\rho$**  spezifischer Widerstand ( $\rho$  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  $\rho$  und spezifische Leitfähigkeit  $\gamma$  bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$**

Material	$\rho$ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	$\gamma$ 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.

<sup>1</sup> Georg Simon Ohm, deutscher Physiker, 1789 bis 1854  
<sup>2</sup> 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:

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

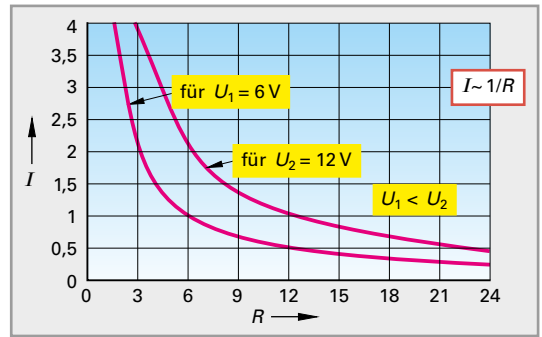


Bild 1:  $I$  als Funktion von  $R$  beim linearen Widerstand

**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**  $\alpha$  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.

Kelvin<sup>1</sup> (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 Größe der Widerstandsänderung  $\Delta R$  wird mit dem Temperaturkoeffizient  $\alpha$ , der Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta$  und  $R_1$  berechnet.

**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:

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

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

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

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

$R_2 = R_1 + \Delta R$

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

$I$  Stromstärke,  
 $U$  Spannung  
 $R$  Widerstand  
 $\Delta\vartheta$  oder  $\Delta T$  Temperaturunterschied in Celsius oder Kelvin ( $\Delta$  griech. Großbuchstabe Delta, Zeichen für Differenz,  $\vartheta$  griech. Kleinbuchstabe Theta)  
 $\vartheta_1$  Anfangstemperatur  
 $\vartheta_2$  Endtemperatur  
 $\Delta R$  Widerstandsänderung  
 $\alpha$  Temperaturkoeffizient ( $\alpha$  griech. Kleinbuchstabe Alpha)  
 $R_1$  Widerstand bei Temperatur  $\vartheta_1$   
 $R_2$  Widerstand bei Temperatur  $\vartheta_2$

Tabelle 1: Temperaturkoeffizient $\alpha$ in 1/K			
Stoff	$\alpha$ in 1/K	Stoff	$\alpha$ in 1/K
Kupfer	$3,9 \cdot 10^{-3}$	Nickelin	$0,15 \cdot 10^{-3}$
Aluminium	$3,8 \cdot 10^{-3}$	Manganin	$0,01 \cdot 10^{-3}$

Die Werte gelten für 20 °C.

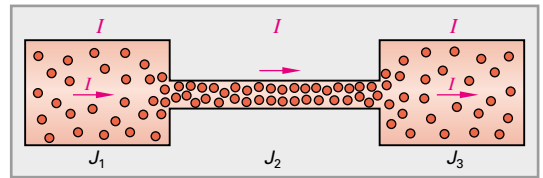
Bei Abkühlung von Leitern nimmt deren Widerstand ab. In der Nähe des absoluten Nullpunktes (-273 °C) haben einige Stoffe keinen Widerstand mehr. Sie sind **supraleitend** geworden.

<sup>1</sup> Kelvin, engl. Physiker William Thompson, wurde zu Lord Kelvin geadelt.

## 1.2.7 Stromdichte

In einem Stromkreis fließt durch jeden Leiterquerschnitt der gleiche Strom und damit auch die gleiche Zahl von Elektronen in der Sekunde.

Bei verschiedenen großen Querschnitten, z. B. in der Leitung zu einer Halogenglühlampe und im dünnen Glühfaden in der Halogenglühlampe (**Bild 1**), bewegen sich die Elektronen im Leiter mit kleinerem Querschnitt schneller als im Leiter mit großem Querschnitt. Deshalb ist auch die Erwärmung im kleinen Querschnitt größer.



**Bild 1: Stromdichte (in einer Sicherung)**

**!** Große Stromdichten können Leiter zum Glühen bringen.

Die Stromstärke je mm<sup>2</sup> Querschnitt nennt man Stromdichte *J* (Einheit A/mm<sup>2</sup>).

**Beispiel 1: Stromdichten berechnen**

Durch die Sicherung (**Bild 1**) fließt ein Strom von 0,2 A. Wie groß ist die Stromdichte a) in der Zuleitung mit 0,4 mm<sup>2</sup> Querschnitt, b) im Sicherungsfaden mit 0,0004 mm<sup>2</sup> Querschnitt?

*Lösung:*

a)  $J_1 = J_3 = \frac{I}{A_1} = \frac{1 \text{ A}}{0,4 \text{ mm}^2} = 2,5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

b)  $J_2 = \frac{I}{A_2} = \frac{1 \text{ A}}{0,01 \text{ mm}^2} = 100 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

Stromdichte

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

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

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

<i>J</i>	Stromdichte	<i>A</i>	Leiterquerschnitt
<i>I</i>	Stromstärke	<i>d</i>	Durchmesser

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

Ein Leiter erwärmt sich umso mehr, je größer die Stromdichte in ihm ist.

### Wiederholung und Vertiefung

1. Wie verhalten sich gleichartige und wie verschiedenartige Ladungen?
2. Wie ist die Spannung festgelegt?
3. Wie entsteht 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 ver-

**Tabelle 1: Farbschlüssel für Widerstände**

Kennfarbe	Widerstand in Ω				Toleranz des Widerstandswertes
	1. Ziffer	2. Ziffer	3. Ziffer	Multiplikator	
Keine	–	–	–	–	± 20 %
Silber	–	–	–	10 <sup>-2</sup>	± 10 %
Gold	–	–	–	10 <sup>-1</sup>	± 5 %
Schwarz	–	0	0	10 <sup>0</sup>	–
Braun	1	1	1	10 <sup>1</sup>	± 1 %
Rot	2	2	2	10 <sup>2</sup>	± 2 %
Orange	3	3	3	10 <sup>3</sup>	–
Gelb	4	4	4	10 <sup>4</sup>	–
Grün	5	5	5	10 <sup>5</sup>	± 0,5 %
Blau	6	6	6	10 <sup>6</sup>	± 0,25 %
Violett	7	7	7	10 <sup>7</sup>	± 0,1 %
Grau	8	8	8	10 <sup>8</sup>	0,05 %
Weiß	9	9	9	10 <sup>9</sup>	–

zinnte 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.

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:

Rot	Violett	Braun	Gold
2	7	$10^1$	$\pm 5\%$

$\Rightarrow 27 \cdot 10^1 \Omega \pm 5\% = 270 \Omega \pm 5\%$

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

Die Widerstandsreihen geben die zu bevorzugenden Widerstandswerte an.

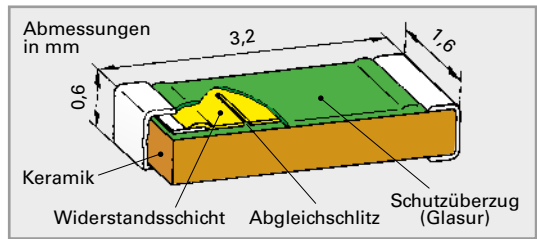
Für übliche Widerstände gelten die IEC-Reihen (IEC von International Electrotechnical Commission = Internationale Elektrotechnische Kommission) E6, E12, E24 und E48 (**TabIGSA**). Für Präzisionswiderstände mit feinerer Unterteilung gelten die Reihen E96 und E192.

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-

**!** Widerstandsnormreihen siehe [wikipedia.org/wiki/E-Reihe](http://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 **Surface Mounted Device** = auf der Oberfläche befestigtes Bauelement) sind zur Oberflächenbestückung von gedruckten Schaltungen geeignet. Als Bauformen werden die zylindrische Form als MELF-Widerstand (MELF von **Metal ELectrode Faced 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 häufig 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																
<b>C3</b>	$1,2 \cdot 10^3 = 1,2 \text{ k}\Omega$					<b>K2</b>	$2,4 \cdot 10^2 = 240 \Omega$					<b>S9</b>	$4,7 \cdot 10^{-1} = 0,47 \Omega$												

**Bild 2: Zweizeichencode**

### 1.2.8.2 Veränderbare Widerstände

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

#### Cermet-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-Spindeltrimmer besitzen einen großen Widerstandsbereich, kleine Baugrößen und eine sehr genaue Einstellbarkeit ( $\pm 0,01\%$ ).

#### 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 Heißleiterwiderstände NTC

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 **N**egative **T**emperature **C**oefficient).

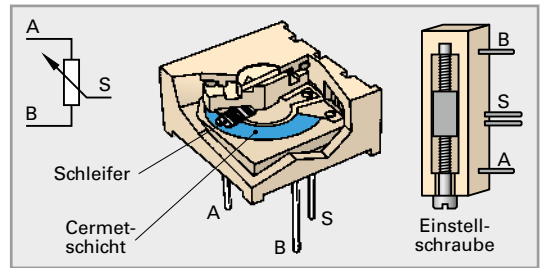


Bild 1: Cermet-Trimmer

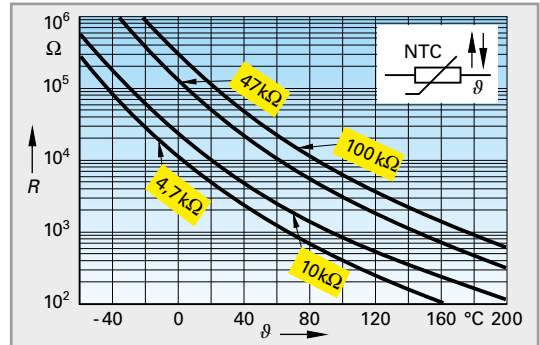


Bild 2: Kennlinien von Heißleiterwiderständen (NTC)

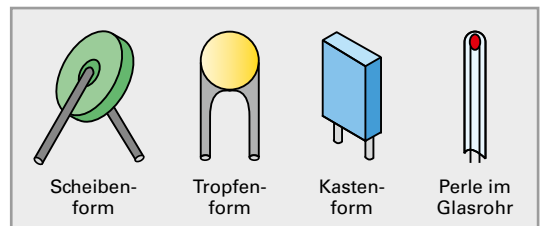


Bild 3: Bauformen von Heißleitern

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 bei  $20^\circ\text{C}$  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.