



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für elektrotechnische
und elektronische Berufe

Fachkunde Industrieelektronik und Informationstechnik

Geräte- und Systemtechnik

13. überarbeitete und erweiterte Auflage

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

Ihre Meinung interessiert uns!

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

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

Die Autoren und der Verlag Europa-Lehrmittel

Sommer 2020

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

Europa-Nr.: 32319

Autoren der Fachkunde Industrieelektronik und Informationstechnik

Günther Buchholz	Dipl.-Ing. (FH), Oberstudienrat	Stuttgart
Oliver Gomber	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Freiburg
Bernhard Grimm	Oberstudienrat	Sindelfingen, Leonberg
Gregor Häberle	Dr.-Ing., Abteilungsleiter	Tettngang
Jörg A. Oestreich	Dipl.-Ing., Oberstudienrat	Schwäbisch Hall
Werner Philipp	Dipl.-Ing.	Heilbronn
Bernd Schiemann	Dipl.-Ing.	Durbach
Dietmar Schmid	Dr.-Ing., Professor	Essingen

Bildentwürfe: Die Autoren

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel GmbH & Co. KG, Ostfildern
Grafische Produktionen Neumann, Rimpfing

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises: Bernd Schiemann

Warenzeichen:

- Windows ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation (Nachdruck der Box Shots von Microsoft-Produkten mit freundlicher Erlaubnis der Microsoft-Corporation)
- INTEL ist ein eingetragenes Warenzeichen der INTEL-Corporation
- Alle anderen Produkte, Warenzeichen, Schriftarten, Firmennamen und Logos sind Eigentum oder eingetragene Warenzeichen ihrer jeweiligen Eigentümer

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 6, 10787 Berlin, und Kamekestraße 2–8, 50672 Köln, bezogen werden. Die VDE-Bestimmungen sind bei der VDE-Verlag GmbH, Bismarckstraße 33, 10625 Berlin, erhältlich.

13. Auflage 2020

Druck 5 4 3 2

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

ISBN 978-3-8085-3714-5

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

© 2020 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Grafische Produktionen Neumann, 97222 Rimpfing

Umschlag Idee: Bernd Schiemann, Umsetzung: Atelier PmbH, 35088 Battenberg

Umschlagfotos: Dr. Fritz Faulhaber GmbH.

Druck: UAB BALTO Print, LT-08217 Vilnius

Vorwort zur 13. Auflage

Das Buch „Fachkunde Industrieelektronik- und Informationstechnik“ ist ein Lehrbuch für die Erstausbildung in den Berufen Elektroniker/in für Geräte- und Systeme, Elektroniker/in für Automatisierungstechnik sowie für die Systemelektroniker/in und Systeminformatiker/in.

Auch für den Unterricht an Informationstechnischen Gymnasien, Fachgymnasien, Fachoberschulen und Berufsoberschulen wird das Buch empfohlen. Als grundlegende Einführung in das gesamte Fachgebiet ist dieses Buch gleichzeitig nützlich für Schüler an Berufskollegs und Studierende an Fachschulen, Dualen Hochschulen und Fachhochschulen.

Besonderer Wert wurde darauf gelegt, Funktionszusammenhänge und Funktionsabläufe durch zahlreiche mehrfarbige Bilder, Diagramme und Tabellen zu veranschaulichen.

Inhalte: Grund- und Fachstufeninhalte der Informationstechnik, der Industrieelektronik und der Automatisierungstechnik in einem Band. Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik mit Anwendungen, Digitaltechnik, Messen, Regeln, Leistungselektronik. Betriebsmittelkennzeichnung nach DIN EN 81346-2:2009, Leittechnik nach DIN IEC 60050-351:2014-9, Sachwortverzeichnis in Deutsch mit Übersetzung in die englische Fachsprache. Für schülerzentriertes Lernen und fächerverbindendes Unterrichten in Lernfeldern.

Das Buch bietet ein weites Spektrum auch produktionsnaher Inhalte wie z. B. Robotik, Sensorik, Geschäftsprozesse, 3D-Druck, Virtualisierung und Embedded Systems.

Die 13. Auflage wurde überarbeitet und um zahlreiche neue Inhalte erweitert:

Referenzkennzeichnung in der Elektrotechnik, Leitungen der Energietechnik, HEM-Transistoren, Digitales Speicheroszilloskop (DSO), Digitalisierer (Digitizer), PoE (Power over Ethernet), MAC-Adressen, VoIP, Big Data, Mobile Kommunikation, GSM, LTE-G5, Funkübertragung im industriellen Umfeld, EU-Datenschutzverordnung DSGVO, Kryptografie, Logo! mit WEB-Server, Industrielle Netzteile, Schutzmaßnahmen, Programmieren in Visual C#, Digitalisierung, TIA, CodeSys, Remote Control, Roboter.

Eine Vielzahl von Seiten wurde neu gestaltet oder überarbeitet, z. B.:

FET, Stromversorgung, Messgeräte, 3D-Drucker, All-IP-Technologie.

Hinweise auf verwendete Tabellenbücher werden im Buch abgekürzt verwendet, z. B. **TabIGSA** für das Tabellenbuch „Tabellenbuch Informations-, Geräte-, System- und Automatisierungstechnik“ oder **MELGSIAT** für Mathematik für Elektroniker.

Zur Verbesserung der Lesbarkeit z. B. bei Buchtiteln wird die männliche Bezeichnung verwendet, dennoch sind weibliche und andere Personen damit angesprochen.

Welche Ziele kann ich mithilfe dieses Buchs erreichen?

Das Buch

- vermittelt Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten,
- soll neugierig auf Neues machen, damit zum Lernen anregen und so eigene Kompetenzen wie Handlungskompetenz, Fachkompetenz sowie Methodenkompetenz stärken.

Sie besuchen einen Lernfeldunterricht und bearbeiten eine Lernsituation.

Wie kann Ihnen dieses Buch dabei helfen?

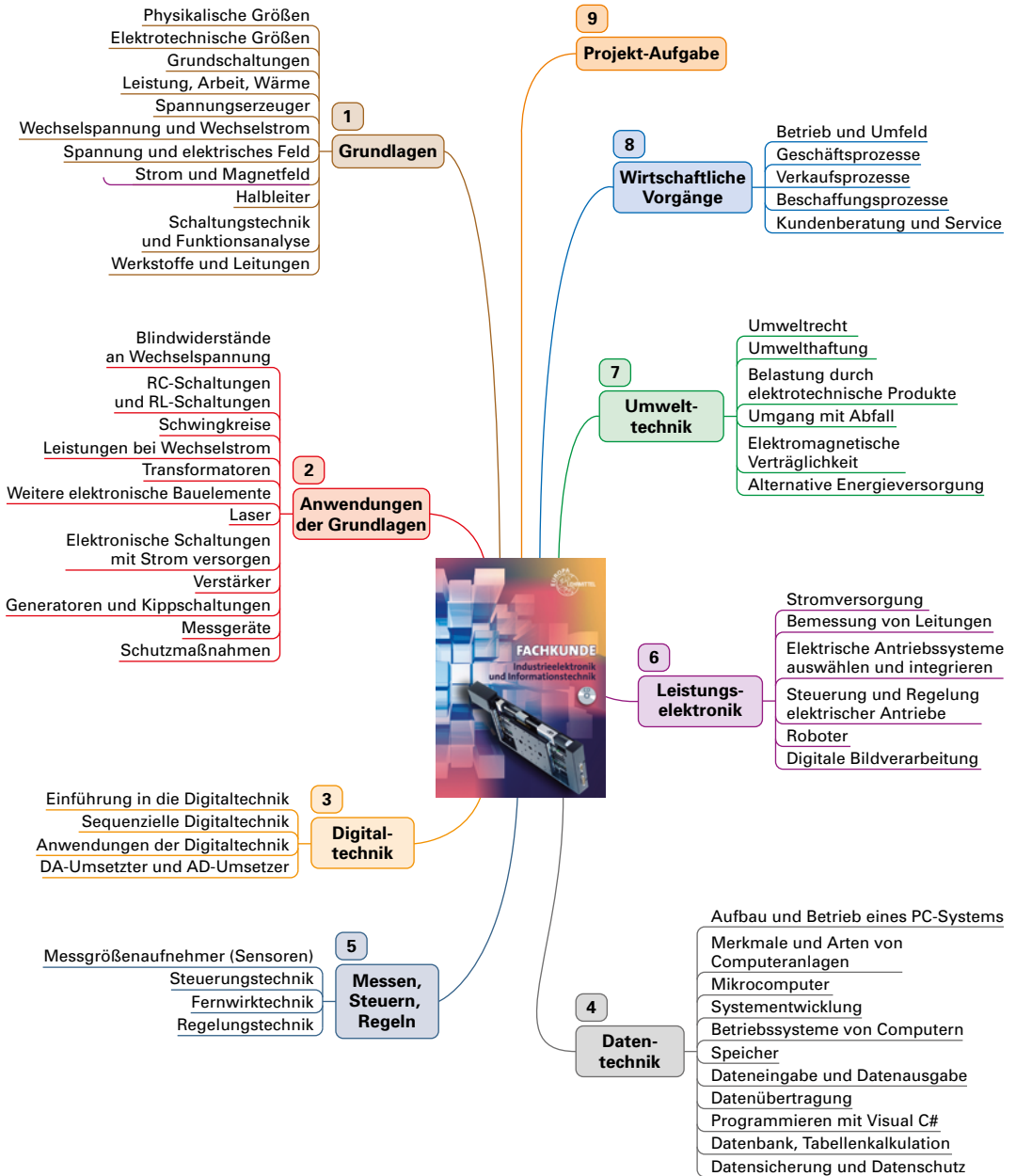
- Ein ausführliches Sachwortverzeichnis erleichtert das Finden technischer Begriffe, auch auf Englisch.
- Physikalische und technische Sachverhalte werden durch viele anschauliche Bilder und Tabellen ergänzt und erklärt.
- Passend eingefügte Schaltpläne fördern die Fähigkeit zur Analyse, auch komplexer Systeme.
- Wichtige Formeln mit Formelzeichenerklärungen und vielen Beispielrechnungen fördern und festigen das Verständnis.
- Merksätze fassen wichtige Sachverhalte kurz zusammen.
- Eine kleine Übersicht auf der folgenden Seite 4 ordnet Beispiele aus ausgewählten Kapiteln Lernsituationen zu.

Lernfelder des ersten Ausbildungsjahres für alle Berufe ¹					
LF/ Jahr	Zeitvor- gabe in h			Lernfeldinhalte	Beispiele, Kapitel
1/1	80		Elektrotechnische Systeme analysieren und Funktionen prüfen	El. Grundgrößen Grundsaltungen Wirtschaftliche Vorgänge	1.2 1.3 8.1-2
2/1	80		Elektrotechnische Installationen planen und ausführen	Installationsschaltungen Sicherheitsbestimmungen Bemessung von Leitungen	1.10 2.12 6.2
3/1	80		Steuerungen analysieren und anpassen	Schaltungstechnik Digitaltechnik	1.10 3.1, 3.2
4/1	80		Informationstechnische Systeme bereitstellen	Systemanalyse Betriebssysteme von PC Hardware	4.1.1 4.5 4.3, 4.6, 4.7
Lernfelder der Fachstufen GS mit Systemelektroniker und AT					
5/2	GS	60	Elektroenergieversorgung für Geräte und Systeme realisieren und deren Sicherheit gewährleisten	Gefahren des el. Stromes Schutzmaßnahmen	1.2.9 2.12
5/2	AT	60	Elektroenergieversorgung und Sicherheit von Betriebsmitteln gewährleisten	Wechselspannung, Wechselstrom, Drehstrom Transformatoren Industrielle Netzteile	2.1, 2.2, 2.4 2.5 6.1.8
6/2	GS	80	Elektronische Baugruppen von Geräten konzipieren, herstellen und prüfen	Widerstandsarten Halbleiter Messtechnik	1.2.8 1.9 2.11
6/2	AT	80	Anlagen analysieren und deren Sicherheit prüfen	Sensoren Schutzmaßnahmen	5.1 2.12
7/2	GS	80	Baugruppen hard- und softwareseitig konfigurieren	Mikrocontroller PLD SPS	4.3 3.3 5.2.4
7/2	AT	80	Steuerungen für automatisierte Anlagen programmieren und realisieren	Steuerungstechnik, SPS TIA-Portal, CODESYS	5.2, 5.2.5 5.2.6, 5.2.7
8/2	GS	60	Geräte herstellen und prüfen	AD-DA-Umsetzer Kleinmotoren	3.4 6.3.1-4
8/2	AT	60	Antriebssysteme auswählen und integrieren	Elektrische Antriebssysteme Drehstromasynchronmotoren	6.3 6.3.9
9/3	GS	100	Geräte und Systeme in Stand halten	Schaltungsanalyse Entsorgung	2.8.6 7.1-4
9/3	AT	100	Steuerungssysteme und Kommunikationssysteme integrieren	Feldbussysteme Mensch-Maschine-Schnittstellen	4.8.4 5.2.8
10/3	GS	80	Fertigungsanlagen einrichten	Steuerungsarten Steuerungen	5.2.1 5.2.2, 5.2.3
10/3	AT	100	Automatisierungssysteme in Betrieb nehmen und übergeben	Regelungstechnik Parametrierung von FU	5.4 6.4.6
11/3	GS	100	Prüfsysteme einrichten und anwenden	Diagnosewerkzeuge, Debugger Bussysteme	4.4.3 4.6.7
11/3	AT	80	Automatisierungssysteme in Stand halten und optimieren	Servomotoren Elektronisch kommutierte Motoren Elektromagnetische Verträglichkeit	6.4.7 6.4.4 7.5
12/4	GS	80	Geräte und Systeme planen und realisieren	Schutzleiter Kosten-Nutzenbetrachtung	1.11.8 4.4.1
12/4	AT	60	Automatisierungssysteme planen	Pflichtenheft Recycling	4.4.1 7.4
13/4	GS	60	Fertigungs- und Prüfsysteme in Stand halten	Soll-Ist-Vergleich	5.4.1
13/4	AT	80	Automatisierungssysteme realisieren	Programmimplementierung	4.4.4

¹ Elektronikerberufe mit Lernfeldern: Automatisierungstechnik AT; Energie- und Gebäudetechnik BT; Betriebstechnik BT; Gebäude- und Infrastruktursysteme GI; Maschinen- und Antriebstechnik MA; Geräte und Systeme GS und Systemelektroniker im Handwerk.

Inhalte

Die neue Fachkunde auf einen Blick:



Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen

1.1	Physikalische Größen	11
1.1.1	Kraftfelder	11
1.1.2	Masse und Kraft	11
1.1.3	Basisgrößen, Einheiten und abgeleitete Einheiten	12
1.1.4	Kraft als Beispiel eines Vektors	13
1.1.5	Arbeit	13
1.1.6	Energie	14
1.2	Elektrotechnische Grundgrößen	15
1.2.1	Ladung	15
1.2.2	Spannung	16
1.2.3	Elektrischer Strom	17
1.2.4	Elektrischer Widerstand	18
1.2.5	Ohm'sches Gesetz	19
1.2.6	Widerstand und Temperatur	20
1.2.7	Stromdichte	21
1.2.8	Bauformen der Widerstände	21
1.2.8.1	Festwiderstände	21
1.2.8.2	Veränderbare Widerstände	23
1.2.8.3	Heißeleiterwiderstände NTC	23
1.2.8.4	Kaltleiterwiderstände PTC	23
1.2.8.5	Spannungsabhängige Widerstände VDR	24
1.2.9	Gefahren des elektrischen Stromes	24
1.3	Grundschaltungen	26
1.3.1	Bezugspfeile	26
1.3.2	Reihenschaltung	27
1.3.3	Parallelschaltung	29
1.3.4	Gemischte Schaltungen	31
1.3.4.1	Spannungsteiler	31
1.3.4.2	Messen elektrischer Grundgrößen	33
1.3.4.3	Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung	34
1.4	Leistung, Arbeit, Wärme	35
1.4.1	Elektrische Leistung	35
1.4.2	Elektrische Arbeit	37
1.4.3	Mechanische Leistung	38
1.4.4	Wirkungsgrad	38
1.4.5	Temperatur und Wärme	40
1.4.6	Wärmeübertragung	41
1.4.7	Leistungshyperbel	43
1.5	Spannungserzeuger	44
1.5.1	Arten der Spannungserzeugung	44
1.5.2	Belastungsfälle einer Spannungsquelle	45
1.5.3	Anpassung	46
1.5.4	Schaltungen von Spannungserzeugern	48
1.5.5	Ersatzspannungsquelle und Ersatzstromquelle	49
1.6	Wechselspannung und Wechselstrom	50
1.7	Spannung und elektrisches Feld	57
1.7.1	Elektrisches Feld	57
1.7.2	Kondensator	59
1.7.3	Schaltungen von Kondensatoren	62
1.7.4	Kondensator im Gleichstromkreis	63
1.7.5	Bauformen der Kondensatoren	64
1.8	Strom und Magnetfeld	68
1.8.1	Magnetisches Feld	68
1.8.2	Elektromagnetische Baugruppen	76
1.8.2.1	Elektromagnete	76
1.8.2.2	Relais	76
1.8.3	Strom im Magnetfeld	78
1.8.4	Induktion	81

1.8.5	Spule im Gleichstromkreis	87
1.8.6	Bauformen der Spulen	87
1.9	Halbleiter	89
1.9.1	Kristallaufbau	89
1.9.2	Eigenleitung	89
1.9.3	Störstellenleitung	89
1.9.4	Halbleiterdioden	90
1.9.4.1	Sperrschicht	90
1.9.4.2	Sperrschichtkapazität	91
1.9.4.3	Rückwärtsrichtung und Vorwärtsrichtung	91
1.9.4.4	Elektrischer Durchbruch	93
1.9.4.5	Bauformen von Halbleiterdioden	94
1.9.4.6	Fotodioden, Fotowiderstände und Fotoelemente	96
1.9.4.7	LED und Optokoppler	98
1.9.5	Arbeitspunkt	100
1.10	Schaltungstechnik und Funktionsanalyse	102
1.10.1	Dokumente der Elektrotechnik	102
1.10.2	Referenzkennzeichnung in der Elektrotechnik	103
1.10.3	Schaltungen mit Installationsschaltern	105
1.10.4	Schaltfunktion	105
1.10.5	Schützschaltungen	107
1.10.6	Schaltungen mit Zeitschaltern	109
1.11	Werkstoffe und Leitungen	110
1.11.1	Atommodell	110
1.11.2	Periodensystem	111
1.11.3	Chemische Bindungen	111
1.11.4	Säuren, Basen und Salze	112
1.11.5	Elektrochemie	113
1.11.6	Korrosion	116
1.11.7	Leiterwerkstoffe	117
1.11.8	Leiterplatten	118
1.11.8.1	Basismaterial	118
1.11.9	Lote und Flussmittel	119
1.11.10	Isolierstoffe	120

2 Anwendungen der Grundlagen

2.1	Blindwiderstände an Sinuswechselspannung	121
2.1.1	Wechselstromwiderstand des Kondensators	121
2.1.2	Wechselstromwiderstand der Spule	122
2.1.3	Schaltungen von nicht gekoppelten Spulen	123
2.2	RC-Schaltungen und RL-Schaltungen	124
2.2.1	Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand	124
2.2.2	Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand	126
2.2.3	Verluste im Kondensator	127
2.2.4	Verluste in der Spule	128
2.2.5	Impulsverformung	129
2.2.6	Siebschaltungen	132
2.2.7	Mechanische Bandfilter	136
2.3	Schwingkreise	137
2.3.1	Reihenschwingkreis	137
2.3.2	Parallelschwingkreis	138
2.3.3	Kenn- und Resonanzfrequenz	139
2.3.4	Bandbreite und Güte	140
2.4	Leistungen bei Wechselstrom	141
2.4.1	Wirkleistung	141
2.4.2	Blindleistung, Scheinleistung	141
2.4.3	Leistungsdiagramme	142
2.4.4	Leistungsfaktor	143

2.4.5	Leistungen bei Dreiphasenwechselspannung	144
2.4.5.1	Entstehung des Drehstromes	144
2.4.5.2	Sternschaltung	145
2.4.5.3	Dreieckschaltung	146
2.4.5.4	Ermittlung der Leistung	147
2.4.6	Kompensation von Blindwiderständen	148
2.5	Transformatoren	150
2.5.1	Wirkungsweise und Begriffe	150
2.5.2	Aufbau von Transformatoren	150
2.5.3	Idealer Transformator	151
2.5.4	Realer Transformator im Leerlauf	153
2.5.5	Realer Transformator unter Last	154
2.5.6	Besondere Transformatoren	156
2.6	Weitere elektronische Bauelemente	159
2.6.1	Besondere Halbleiterdioden	159
2.6.1.1	Z-Dioden	159
2.6.1.2	Schottkydioden	160
2.6.2	Bipolare Transistoren	160
2.6.3	Unipolare Transistoren (FET)	165
2.6.4	Leistungs-FET	169
2.6.4.1	SiC-MOSFET	169
2.6.5	IGBT	171
2.6.6	Thyristoren	173
2.6.7	Integrierte Schaltungen (IC)	178
2.6.8	Gasentladungsröhren	179
2.6.9	Strahlungsgesteuerte Röhren	180
2.7	Laser	181
2.8	Elektronische Schaltungen mit Strom versorgen	184
2.8.1	Netzgeräte	184
2.8.2	Prinzip der Gleichrichtung	184
2.8.3	Gleichrichterschaltungen	185
2.8.4	Glätten der gleichgerichteten Spannung	188
2.8.5	Stabilisieren	190
2.8.5.1	Stabilisierungsfaktor	190
2.8.5.2	Lineare Spannungsregler	191
2.8.5.3	Lineare Spannungsregler-ICs	193
2.8.6	Projektaufgabe Netzteil	195
2.9	Verstärker	198
2.9.1	Grundbegriffe	198
2.9.2	Verstärker mit bipolaren Transistoren	202
2.9.2.1	Verstärkergrundschaltungen	202
2.9.2.2	Arbeitspunkt	203
2.9.2.3	Emitterschaltung	204
2.9.2.4	Gegenkopplung	206
2.9.2.5	Gegentaktschaltungen	207
2.9.3	Verstärker mit Feldeffekttransistoren	208
2.9.4	Verstärker für den D-Betrieb	211
2.9.5	Operationsverstärker	212
2.9.5.1	Eigenschaften	212
2.9.5.2	Schaltungsaufbau	213
2.9.5.3	Betriebsverhalten	213
2.9.5.4	Grundschaltungen	214
2.9.6	Treiberverstärker	220
2.10	Generatoren und Kippschaltungen	221
2.10.1	Sinusgeneratoren	221
2.10.2	Sägezahngenerator	223
2.10.3	Elektronische Schalter	223
2.10.4	Bistabile Kippschaltung	224
2.10.5	Zeitgeberbaustein NE555	224
2.10.6	Monostabile Kippschaltung	225
2.10.7	Astabile Kippschaltung (Rechteckgenerator)	226
2.10.8	Schwellwertschalter	227
2.11	Messgeräte	228
2.11.1	Zeigermessgeräte	228
2.11.2	Digitalmultimeter	229

2.11.3	Oszilloskop	230
2.11.3.1	Analog-Oszilloskop	230
2.11.3.2	Digitales Speicheroszilloskop DSO	232
2.11.3.3	Scopemeter	234
2.11.3.4	PC-Oszilloskop	235
2.11.3.5	Logikanalysatoren	236
2.11.4	PC-Messtechnik	237
2.11.5	Simulationssysteme anwenden	241
2.12	Schutzmaßnahmen	245
2.12.1	Schutz gegen elektrischen Schlag	245
2.12.2	Verteilungssysteme, Fehlerarten	246
2.12.3	Überstromschutz	247
2.12.4	Fehlerstromschutz	248
2.12.5	Schutz durch Gehäuse	249
2.12.6	Schutz durch automatische Abschaltung	249
2.12.7	Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzklasse II)	251
2.12.8	Schutz durch Schutztrennung	251
2.12.9	Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV	252
2.12.10	Prüfung elektrischer Anlagen und Betriebsmittel	253
2.12.11	Wiederholungsprüfung an ortsveränderlichen elektrischen Geräten	254
2.12.12	Prüfung der elektrischen Ausrüstung von Maschinen	255
2.12.13	Elektrotechnische Qualifizierungsmaßnahmen	256

3 Digitaltechnik

3.1	Einführung in die Digitaltechnik	257
3.1.1	Dualcode	257
3.1.2	Binäre Elemente	258
3.1.3	Grundlagen der Schaltalgebra	261
3.1.4	Analyse und Synthese von Schaltungen	263
3.1.5	Binäre Elemente mit besonderen Ausgängen	264
3.1.6	Digitale Schaltkreise	265
3.1.7	Daten von binären Elementen	266
3.1.8	Karnaugh-Diagramm	268
3.1.9	Binärcodes	270
3.1.9.1	BCD-Codes	270
3.1.9.2	Gray-Code	271
3.1.9.3	Strichcodes (Barcodes)	271
3.1.9.4	Flächencodes	273
3.1.9.5	Codeleser	273
3.1.9.6	Darstellung von alphanumerischen Zeichen	274
3.1.10	Anwendung Codeumsetzer	275
3.2	Sequenzielle Digitaltechnik (Schaltwerke)	276
3.2.1	Binärspeicher	276
3.2.2	Asynchrone Kippglieder (Flipflops)	278
3.2.3	Synchrone Kippglieder (Flipflops)	279
3.2.4	Monoflops und Verzögerungselemente	282
3.2.5	Asynchrone Zähler	283
3.2.6	Synchrone Zähler	285
3.2.6.1	Wertetabelle und Zeitablaufdiagramm	285
3.2.6.2	Schaltfunktionen aus der Wertetabelle	285
3.2.6.3	Zähler mit T-Kippgliedern	286
3.2.7	Zähldekaden	288
3.2.8	Schieberegister	290
3.2.9	Zähler mit Codeumsetzer	292
3.2.10	Frequenzteiler	293
3.2.11	Projektaufgabe Signalanlage	294
3.3	Anwendungen der Digitaltechnik	296
3.3.1	Programmierbare Logikelemente	296
3.3.1.1	Aufbau und Programmierung	296
3.3.1.2	PAL-Schaltkreise	297
3.3.1.3	Schaltkreise mit zwei programmierbaren Feldern	300
3.3.1.4	PAL-Schaltkreis als PROM	300
3.3.1.5	EPLD-Logikschaltkreis EP 310	301

3.3.1.6	ISP-Bauelemente	303
3.3.2	Binäre Übertragungsfehler erkennen	306
3.4	DA-Umsetzer und AD-Umsetzer	307
3.4.1	Digital-Analog-Umsetzer	307
3.4.2	Analog-Digital-Umsetzer	308
3.4.2.1	Momentanwert-AD-Umsetzer	308
3.4.2.2	Integrierende AD-Umsetzer	310

4 Datentechnik

4.1	PC-System	313
4.1.1	Bestandteile eines PC-Systems	313
4.1.2	Externe Schnittstellen am PC	314
4.1.3	Tastatur des PC	315
4.1.4	Inbetriebnahme eines PC	315
4.1.5	PCI-Express-Schnittstelle	316
4.2	Merkmale und Arten von Computeranlagen	317
4.2.1	Leistungsfähigkeit	317
4.2.2	Arten von Computern	317
4.2.3	Client-Server-Systeme	319
4.2.4	Aufgabenbereiche von Computern	320
4.3	Mikrocomputer	321
4.3.1	Aufbau eines Mikrocomputers	321
4.3.2	Wirkungsweise von Mikroprozessoren	322
4.3.3	Mikroprozessorfamilie x86	324
4.3.4	Weitere Mikroprozessoren	326
4.3.5	Speicherverwaltungen	327
4.3.5.1	Adressierungsarten	327
4.3.5.2	FIFO-Speicherverwaltung	328
4.3.5.3	Stack-Speicherverwaltung	328
4.3.5.4	Virtuelle Speicherverwaltung	329
4.4	Systementwicklung	331
4.4.1	Systemanalyse, Aufgabenanalyse	331
4.4.2	Agiles Projektmanagement	334
4.4.3	Programmentwicklung	335
4.4.4	CPU-Programmierung mit Hochsprachen	336
4.5	Programmieren mit Visual C#	339
4.5.1	Begriffe des Programmierens	339
4.5.2	Strukturierte Anweisungen	340
4.5.3	Programmieren in Visual C#	342
4.5.4	Vereinbarungen (Deklarationen)	343
4.5.5	Methoden für die Eingabe und Ausgabe	345
4.5.6	Operatoren und Ausdrücke	347
4.5.7	Bedingte Anweisungen	348
4.5.8	Inkrementoperatoren und Dekrementoperatoren	350
4.5.9	Iterationsanweisungen	350
4.5.10	Vergleich der Schleifenanweisungen	352
4.6	Mikrocontroller	353
4.6.1	Allgemeines	353
4.6.2	AVR-Mikrocontroller	356
4.6.3	Raspberry Pi	357
4.6.4	Programmierung von Mikrocontrollern	360
4.6.4.1	Programmierung von Mikrocontrollern in C	362
4.6.5	ARDUINO	364
4.6.6	Online-Programmierung mit Mbed OS 5	366
4.6.6.1	Einrichten von Mbed für Nucleo F103RB	366
4.6.6.2	Programme für Nucleo-F103RB erstellen	367
4.6.6.3	Anwendungen programmieren für Nucleo-F103RB	368
4.6.7	Periphere Busse	369
4.6.7.1	I ² C-Bus	369
4.6.8	Serial Peripheral Interface SPI	371
4.7	Betriebssystem	373
4.7.1	Aufgaben eines Betriebssystems	373
4.7.2	BIOS und UEFI	374

4.7.3	Befehlszeilenkommandos	376
4.7.4	Windows anwenden	378
4.7.4.1	Installation von Anwendersoftware	379
4.7.4.2	Dateiverwaltung	380
4.7.4.3	Konfigurieren von Windows	381
4.7.5	Linux anwenden	382
4.8	Datenbank, Tabellenkalkulation, Präsentation, Lernplattform	384
4.8.1	Datenbanksystem Access	384
4.8.2	Tabellenkalkulation	388
4.8.3	Präsentationsprogramm PowerPoint	392
4.8.4	Lernen mit Moodle	394
4.9	Speichertechnik	396
4.9.1	RAM	396
4.9.2	ROM	398
4.9.3	Speicheradressierung	399
4.9.4	Datenzugriff	400
4.9.5	Festplattenspeicher	401
4.9.6	Halbleiterlaufwerke	403
4.9.7	Optische Speicher	404
4.9.8	Speicher für Backup	406
4.9.9	Chipkarten	408
4.9.10	RFID-Transponder	410
4.10	Dateneingabe und Datenausgabe	411
4.10.1	Eingabegeräte	411
4.10.1.1	Tastaturen	411
4.10.1.2	Dateneingabe am Bildschirm	411
4.10.1.3	Befehls- und Dateneingaben durch Gestik und Tracking	413
4.10.1.4	Scanner	414
4.10.2	Ausgabegeräte	414
4.10.2.1	Drucker	414
4.10.2.2	3D-Drucker	416
4.10.2.3	Displays und Beamer	418
4.10.2.4	Interaktives Whiteboard	419
4.10.3	Schnittstellen für periphere Geräte	420
4.10.3.1	Aufgaben und Art der Schnittstellen	420
4.10.3.2	USB-Schnittstelle	421
4.10.3.3	Firewire (IEEE 1394)	421
4.10.3.4	Serielle Schnittstellen	422
4.11	Datenübertragung	425
4.11.1	Verhalten von Leitungen bei hoher Frequenz	425
4.11.2	Modulation und Demodulation	427
4.11.2.1	Analoge Modulation	427
4.11.2.2	Digitale Modulation	428
4.11.2.3	Demodulation	432
4.11.3	Multiplexverfahren	433
4.11.3.1	Zeitmultiplexverfahren	433
4.11.3.2	Weitere Multiplexverfahren	435
4.11.4	Datenetze und Feldbusysteme	436
4.11.4.1	Begriffe zu Datenetzen	436
4.11.4.2	Netztopologie und Netzzugriffsverfahren	437
4.11.4.3	Übertragungsgeschwindigkeiten	437
4.11.4.4	Ethernet-LAN	438
4.11.4.5	Power over Ethernet (PoE)	442
4.11.4.6	Powerline Communication	443
4.11.4.7	CAN-Bus	444
4.11.4.8	AS-i-Feldbus	446
4.11.4.9	IO-Link	448
4.11.4.10	Gateways für Feldbusse	449
4.11.4.11	PROFIBUS, PROFIBUS-DP	450
4.11.4.12	PROFINET	451
4.11.4.13	PROFIsafe	452
4.11.4.14	Gebäudeleittechnik und Gebäudesystemtechnik mit KNX	453

4.12	All-IP-Technologie	459	5.2.3	GRAF CET	524
4.12.1	Next Generation Network (NGN)	459	5.2.3.1	Die GRAFCET-Struktur	524
4.12.2	Digital Subscriber Line DSL	460	5.2.3.2	Schritte	525
4.12.3	Voice over IP (VoIP), Internettelefonie	462	5.2.3.3	Aktionen	526
4.13	Internet	463	5.2.3.4	Transitionen und Ablaufstrukturen	527
4.13.1	Aufbau des Internet	463	5.2.4	Digitale Steuerungen (Beispiele)	528
4.13.2	Internet-Zugangsarten	464	5.2.5	Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	529
4.13.3	Kommunikationsprotokolle	465	5.2.5.1	Aufbau und Funktionsweise	529
4.14	Digitalisierung	466	5.2.5.2	Projekt	530
4.14.1	Big Data	466	5.2.5.3	Programmstruktur	531
4.14.2	Internet der Dinge (IoT)	467	5.2.5.4	Programmiersprachen	531
4.14.2.1	Teilnehmer im Verbraucher-IoT	467	5.2.5.5	SPS-Programmerstellung	532
4.14.2.2	IIoT in der Industrie	468	5.2.5.6	Ansteuerung der SPS	534
4.14.3	Gerätekommunikation mit MQTT	469	5.2.5.7	Programmieren in AWL, KOP, FUP	534
4.14.4	Mobile Kommunikation	471	5.2.5.8	Programmieren von Zeitfunktionen	536
4.14.4.1	Mobile Netze	471	5.2.5.9	Zähler in SPS	537
4.14.4.2	Mobilfunksystem GSM	472	5.2.5.10	Ablaufsprache	538
4.14.4.3	LTE 4 und 5 G	473	5.2.5.11	Ablaufsteuerung mit S7-Graph	539
4.14.5	Funknetzwerke mit geringem Energiebedarf (LPWAN)	475	5.2.5.12	Bibliotheksfähige SPS-Bausteine	540
4.14.6	Funkbussysteme	476	5.2.5.13	Strukturierter Text	541
4.14.7	Bluetooth	477	5.2.5.14	Zustandsgraph	542
4.14.8	Funkanwendungen auf ISM-Bändern	479	5.2.5.15	Dokumentation von SPS-Programmen	543
4.14.8.1	Überblick	479	5.2.5.16	Sicherheits-SPS	544
4.14.8.2	Einige ISM-Anwendungen	479	5.2.6	Fertigungsautomatisierung und TIA-Portal	545
4.14.9	WLAN	480	5.2.6.1	TIA-Portal	546
4.14.9.1	WLAN-Betriebsarten	480	5.2.6.2	TIA-Variablen und Konstanten	547
4.14.9.2	Störungen bei Funkübertragung im industriellen Umfeld	481	5.2.6.3	Programmorganisation	548
4.14.10	App mit Android Studio entwickeln	482	5.2.6.4	Bibliotheksfähige Bausteine	549
4.15	Datensicherung und Datenschutz	486	5.2.6.5	TIA-Projekt	551
4.15.1	Maßnahmen zur Datensicherung	486	5.2.7	Programmierungsumgebung CODESYS	552
4.15.2	Maßnahmen gegen unbefugte Nutzung	488	5.2.8	Mensch-Maschine-Schnittstellen	555
4.15.3	Schutz vor Computerviren	490	5.2.9	Kleinsteuerungen	557
4.15.4	Gesetzlicher Datenschutz	491	5.2.9.1	Logo!8 im Netzwerk	560
4.15.5	EU-Datenschutzgrundverordnung DSGVO	492	5.3	Fernwirktechnik	562
4.15.6	Kryptografie	493	5.3.1	Fernwirken und Fernüberwachen	562
4.15.6.1	Einfache Verschlüsselungsverfahren	493	5.3.2	Fernwartung (Remote Control)	564
4.15.6.2	Komplexe Verschlüsselungsverfahren	494	5.3.3	Elektrizitätszähler	566
4.15.7	Passwörter	496	5.4	Regelungstechnik	567
			5.4.1	Grundbegriffe	567
			5.4.2	Regelungsarten	568
			5.4.3	Regelkreisglieder	569
			5.4.4	Regler	574
			5.4.5	Digitale Regelungstechnik	577
			5.4.5.1	Digitalisierung und Signalabtastung	577
			5.4.5.2	Regelalgorithmus	578
			5.4.6	Regelkreise (Beispiele)	581
			5.4.6.1	Regelung von P-Strecken	581
			5.4.6.2	Regelung von I-Strecken	582
			5.4.6.3	Einstellen eines Reglers	584
			5.4.6.4	Selbstoptimierende Regler	585
			6 Leistungselektronik		
			6.1	Stromversorgung	586
			6.1.1	Geräte mit elektrischer Energieversorgen	586
			6.1.2	Leistungsgrenzen am öffentlichen Netz	586
			6.1.3	Gesteuerte Gleichrichter	589
			6.1.4	Gleichstromsteller	594
			6.1.5	Wechselrichter	594
			6.1.6	Durchflusswandler und Sperrwandler	596
			6.1.7	Schaltregler	598
			6.1.8	Industrielle Netzgeräte	601
			6.1.9	SSV-Systeme	603
			6.2	Bemessung von Leitungen	606
			6.2.1	Leitungen der Energietechnik	606
			6.2.2	Allgemeine Grundsätze	607

5 Messen, Steuern, Regeln

5.1	Messgrößenaufnehmer (Sensoren)	497
5.1.1	Analoge Sensoren	498
5.1.1.1	Eigenschaften	498
5.1.1.2	Sensoren für Wege, Winkel und Abstände	499
5.1.1.3	Näherungsschalter	505
5.1.1.4	Lichtschranken, Lichtvorhänge, Scan-Mikrometer	506
5.1.1.5	Sensoren für Kräfte, Dehnungen und Drücke	507
5.1.1.6	Beschleunigungssensoren	509
5.1.1.7	Temperatursensoren	510
5.1.1.8	Sensoren der Sicherheitstechnik	512
5.1.2	Digitale Weg- und Winkelmessung	514
5.1.2.1	Inkrementelle Weg- und Winkelmessung	514
5.1.2.2	Codelineale und Winkelcodierer	515
5.1.2.3	Drehmelder (Synchro)	515
5.1.3	Messwertgeber für elektrische Größen (Messumformer)	516
5.1.4	Störungen in Messleitungen	517
5.1.5	Bestimmungen für Messeinrichtungen	519
5.2	Steuerungstechnik	520
5.2.1	Steuerungsarten	520
5.2.2	Binäre Steuerungen	521

6 Leistungselektronik

6.1	Stromversorgung	586
6.1.1	Geräte mit elektrischer Energieversorgen	586
6.1.2	Leistungsgrenzen am öffentlichen Netz	586
6.1.3	Gesteuerte Gleichrichter	589
6.1.4	Gleichstromsteller	594
6.1.5	Wechselrichter	594
6.1.6	Durchflusswandler und Sperrwandler	596
6.1.7	Schaltregler	598
6.1.8	Industrielle Netzgeräte	601
6.1.9	SSV-Systeme	603
6.2	Bemessung von Leitungen	606
6.2.1	Leitungen der Energietechnik	606
6.2.2	Allgemeine Grundsätze	607

6.2.3	Mindestquerschnitte	607	6.7.2	Windkraftanlagen	673
6.2.4	Strombelastbarkeit	607	6.7.3	Brennstoffzellen	675
6.2.5	Spannungsfall in Wohngebäuden	610	6.7.4	Hybridantriebe	677
6.2.6	Überlastschutz und Kurzschlusschutz	611	6.7.5	Elektromobilität	678
6.3	Elektrische Antriebssysteme auswählen und integrieren	612			
6.3.1	Drehbewegungen	612	7	Umwelttechnik	
6.3.2	Kennlinien von Arbeitsmaschinen	613	7.1	Umweltrecht	679
6.3.3	Kennwerte von Elektromotoren	613	7.2	Umwelthaftung	679
6.3.4	Drehfeldmaschinen	615	7.3	Belastung durch elektrotechnische Produkte	680
6.3.5	Synchronmotoren	616	7.4	Umgang mit Abfall	681
6.3.6	Reluktanzmotoren	617	7.4.1	Begriffe der Abfallwirtschaft	681
6.3.7	Schrittmotoren	618	7.4.2	Träger der Entsorgung	681
6.3.8	Piezo-Antriebe	620	7.4.3	Betriebsbeauftragte	682
6.3.9	Asynchronmotor (Induktionsmotor)	621	7.5	Elektromagnetische Verträglichkeit EMV	683
6.3.10	Energiesparende Antriebe	624	7.5.1	Bedeutung der EMV	683
6.3.11	Stromwendermotoren	625	7.5.2	Störungen durch elektrische Felder	683
6.3.12	Linearantriebe	628	7.5.3	Störungen durch elektromagnetische Felder	686
6.3.13	Motoren in vier Quadranten betreiben	630			
6.4	Steuerung und Regelung elektrischer Antriebe	631	8	Wirtschaftliche Vorgänge	
6.4.1	Maschinensicherheit	631	8.1	Betrieb und Umfeld	689
6.4.2	Funktionale Sicherheit	633	8.1.1	Betrieb und Unternehmen	689
6.4.3	Drehzahlsteuerung	634	8.2	Geschäftsprozesse	690
6.4.3.1	Universalmotor	634	8.3	Verkaufsprozesse	693
6.4.3.2	Drehzahlsteuerung beim fremderregten Gleichstrommotor	635	8.3.1	Verkaufskalkulation	693
6.4.3.3	Gleichstromsteller mit H-Brücke	636	8.3.2	Erstellung eines Angebots	693
6.4.4	Elektronisch kommutierte Motoren	637	8.3.3	Verträge	693
6.4.4.1	Überblick, Vergleich mit Kommutatormotor	637	8.3.4	Rechnungsstellung	695
6.4.4.2	EC-Motor mit Hallsensoren	638	8.4	Beschaffungsprozesse	695
6.4.4.3	Sensorlose Steuerung des EC-Motors	639	8.5	Kundenberatung und Service	697
6.4.4.4	Vektorregelung eines EC-Motors	640	8.5.1	Umgang mit Kunden	697
6.4.4.5	Geschalteter Reluktanzmotor (SRM)	641	8.5.2	Kundenservice	699
6.4.5	Asynchronmotoren steuern	642	8.5.3	Kundenbindung	699
6.4.5.1	Motorschutzgeräte	642	8.5.4	Beschwerdemanagement (Reklamationen)	700
6.4.5.2	Motorschutz auswählen	643	8.5.5	Konformitätserklärung	701
6.4.5.3	Anlassen von Kurzschlussläufermotoren (Ständeranlassverfahren)	645	8.5.6	Qualitätsmanagement	702
6.4.6	Drehzahl mit Frequenzrichter FU steuern	647			
6.4.6.1	Frequenzrichter mit Zwischenkreis	647	9	Projektaufgabe	
6.4.6.2	Pulsweitenmodulation (PWM)	648	10	Anhang	
6.4.6.3	Zusammenhang zwischen Spannung und Frequenz	650	10.1	Größen und Einheiten	710
6.4.6.4	Kurzschlussläufermotoren am Frequenzrichter betreiben	651	10.2	Mathematische Begriffe und Basiseinheiten	714
6.4.6.5	Frequenzrichter auswählen	652	10.3	Vorsätze, Größen und Einheiten der IT-Technik – Prefixes, Quantities and Units of IT-Technology	715
6.4.6.6	Projektaufgabe Positionierung Transportband	653	10.4	Wichtige Normen	716
6.4.6.7	Frequenzrichter anschließen	655	10.5	Bildquellenverzeichnis	718
6.4.7	Servomotoren	656	10.6	Verzeichnis der Firmen und Dienststellen	719
6.4.7.1	Anforderungen an Servomotoren	656	10.7	Software- und Literaturverzeichnis	720
6.4.7.2	Servomotoren im Antriebssystem	657			
6.4.7.3	Messsysteme auswählen	658			
6.4.7.4	Achsmechanik einstellen	659			
6.4.7.5	Maßbezug herstellen	660			
6.4.7.6	Achsen positionieren	660			
6.4.7.7	Synchronisieren mehrerer Achsen	662			
6.4.7.8	Elektronisches Nockenschaltwerk	663			
6.5	Roboter	664			
6.5.1	Einteilung	664			
6.5.2	Industrieroboter	664			
6.6	Bildverarbeitung	668			
6.7	Alternative Energieversorgung	670			
6.7.1	Solartechnik	670			
6.7.1.1	Solarthermie	670			
6.7.1.2	Fotovoltaik	671			

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 eine Weltraumstation (**Bild 1**). Ohne diese Anziehungskraft würde die Weltraumstation mit gleich bleibender Geschwindigkeit in den Weltraum fliegen.

Massen von Körpern üben aufeinander eine Anziehungskraft aus, die auch aus der Ferne wirkt. Diese Anziehungskraft ist umso größer, je größer die Massen 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.

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*.

Jeder Raum ist von Feldern erfüllt.

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 1.7**). In der Nähe von Magneten ist ein *magnetisches Feld* wirksam (**Abschnitt 1.8**). Sich rasch ändernde elektrische bzw. magnetische Felder sind immer miteinander verknüpft. Man nennt sie deshalb *elektromagnetische Felder*. Bei der Weltraumstation in Bild 1 sind gleichzeitig mehrere *elektromagnetische Felder* wirksam. Die verschiedenen Antennen empfangen Felder oder strahlen sie ab. Die Flächen mit Solarzellen¹ nehmen die elektromagnetischen Felder der Lichtstrahlung auf und versorgen den Satelliten mit elektrischem Strom. Außerdem sind Schwerefelder wirksam, vor allem das Schwerefeld der Erde ist wirksam.

1.1.2 Masse und Kraft

Die Angabe der Masse eines Körpers gibt Auskunft darüber, ob es leicht oder schwer ist, den Körper in Bewegung zu versetzen oder die Bewegung des Körpers hinsichtlich des Betrags oder hinsichtlich der Richtung



Bild 1: Weltraumstation *Mir* im All, im Schwerefeld der Erde

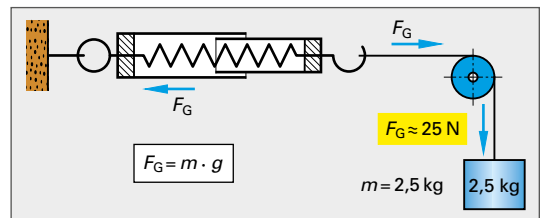


Bild 2: Kraftmessung

zu ändern. Die Masse ist unabhängig von Ort und Umgebung. Die Einheit der Masse ist das Kilogramm mit dem Einheitenzeichen kg.

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

Ihre Messung erfolgt auf einer Balkenwaage durch Vergleich mit geeichten Massen.

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 Newton² mit dem Einheitenzeichen N.

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

¹ lateinisch sol = Sonne

² Sir Isaac Newton, englischer 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 und 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 dienen zur Abkürzung von Größen, insbesondere bei Berechnungen. Man verwendet als Formelzeichen Buchstaben des lateinischen oder des griechischen Alphabets. Formelzeichen werden in diesem Buch *kursiv* (schräg) gedruckt.

Physikalische Größen, aus denen die anderen Größen abgeleitet werden können, nennt man *Basisgrößen* (**Tabelle 1**).

Vektoren sind Größen, zu denen eine Richtung gehört, z. B. ist die Kraft ein Vektor.

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: Geschwindigkeit berechnen

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

Lösung:

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

Einheiten

Die meisten physikalischen Größen haben Einheiten. Die Einheit ist oft aus einem Fremdwort entstanden, z. B. Meter vom griechischen Wort 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 aufrecht gedruckt.

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 Einheiten-

$$F_G = m \cdot g$$

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

F_G Gewichtskraft

g Fallbeschleunigung, Ortsfaktor;

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 1: Basisgrößen

Größe	Formelzeichen	Basiseinheit	Einheitenzeichen
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Lichtstärke	I_v	Candela	cd

Tabelle 2: Abgeleitete Einheiten (Beispiele)

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

i Namensgeber wichtiger Einheiten

¹ André Marie Ampère, franz. Physiker 1775 bis 1836

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

zeichen. 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 Volt⁴ (V), Ohm⁵ (Ω), Watt⁶ (W), Farad⁷ (F) und Henry⁸ (H).

Die abgeleitete Einheit einer Größe erhält man durch Einsetzen der Einheiten in die Berechnungsformel. Dafür gibt es die Schreibweise mit eckigen Klammern.

¹ André Marie Ampère, französischer Physiker, 1775 bis 1836

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

³ Heinrich R. Hertz, deutscher Physiker, 1857 bis 1894

⁴ Alessandro G. Volta, italienischer Physiker, 1745 bis 1827

⁵ Georg Simon Ohm, deutscher Physiker, 1789 bis 1854

⁶ James Watt, schottischer Erfinder, 1736 bis 1819

⁷ Michael Faraday, englischer Physiker, 1791 bis 1867

⁸ Joseph Henry, amerikanischer Physiker, 1797 bis 1878

Beispiel: Geschwindigkeitsberechnung

Die Geschwindigkeit v 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:

$$v = \frac{s}{t} \rightarrow [v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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.

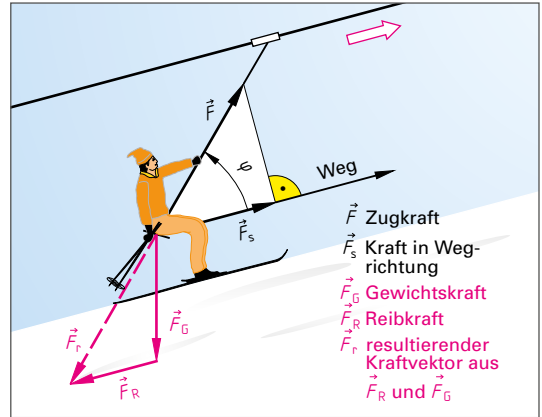


Bild 1: Kräfte bei einem Schlepplift

1.1.4 Kraft als Beispiel eines Vektors

Ein beweglicher Körper kann durch eine Kraft beschleunigt werden, also seine Geschwindigkeit ändern. Als *Beschleunigung* bezeichnet man den Quotienten aus Geschwindigkeitsänderung durch den 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 den Pfeil \vec{F} (sprich: Vektor F) dargestellt wird (**Bild 1**). Die Länge des Pfeils gibt $|\vec{F}| = F$ (sprich: Betrag des Vektors F) an, die Pfeilrichtung gibt die Wirkungsrichtung. Bei der Addition hängt man die Kraftvektoren unter Berücksichtigung ihrer Richtung aneinander.

Vektoren werden geometrisch addiert oder geometrisch subtrahiert.

1.1.5 Arbeit

Eine Arbeit wird aufgewendet, wenn infolge einer Kraft ein Wegstück zurückgelegt wird, z. B. von einem Hubstapler gegen die Gewichtskraft der Last. Der Größenwert der mechanischen Arbeit ist also das Produkt aus Kraft und Weg.

Die Einheit der Arbeit ist das Newtonmeter (Nm) mit dem besonderen Einheitennamen Joule¹ (J). Liegen Kraft und Weg nicht auf derselben Geraden, so wird zur Berechnung der Arbeit nur die Teilkraft in Wegrichtung berücksichtigt (Bild 1).

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

$$[a] = (\text{m/s})/\text{s} = \text{m/s}^2$$

$$F = m \cdot a$$

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

$$W = F_s \cdot s$$

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

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

- a Beschleunigung
- Δv Geschwindigkeitsänderung (Δ griech. Großbuchstabe 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

Tabelle 1: Vorsätze und Vorsatzzeichen

Faktor	Vorsatz	Vorsatzzeichen	Faktor	Vorsatz	Vorsatzzeichen
10 ²⁴	Yotta	Y	10 ⁻¹	Dezi	d
10 ²¹	Zetta	Z	10 ⁻²	Zenti	c
10 ¹⁸	Exa	E	10 ⁻³	Milli	m
10 ¹⁵	Peta	P	10 ⁻⁶	Mikro	μ
10 ¹²	Tera	T	10 ⁻⁹	Nano	n
10 ⁹	Giga	G	10 ⁻¹²	Piko	p
10 ⁶	Mega	M	10 ⁻¹⁵	Femto	f
10 ³	Kilo	k	10 ⁻¹⁸	Atto	a
10 ²	Hekto	h	10 ⁻²¹	Zepto	z
10 ¹	Deka	da	10 ⁻²⁴	Yokto	y

¹ James P. Joule, englischer 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. Dann kann elektrische Energie ans Netz zurückgeliefert werden.

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*.

Durch physikalische, chemische oder biologische Vorgänge kann Energie von einer Energieform in eine andere Energieform umgewandelt werden.

Potenzielle Energie 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 Energie¹ bedeutet hier das in Lage 1 gespeicherte Arbeitsvermögen gegenüber einer Lage 0 (Bezugslage). Für die Menge der potenziellen Energie ist also vor allem die *Bezugslage* (Ausgangslage) maßgebend.

Beispiel 1: Berechnen der potenziellen Energie

In einem Stausee, 600 m über dem Turbinenhaus befinden sich 10^6 m^3 Wasser (Dichte 10^3 kg/m^3). Wie groß ist die potenzielle Energie gegenüber der Lage des Turbinenhauses?

Lösung:

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

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

¹ lateinisch potentia = Vermögen, Macht

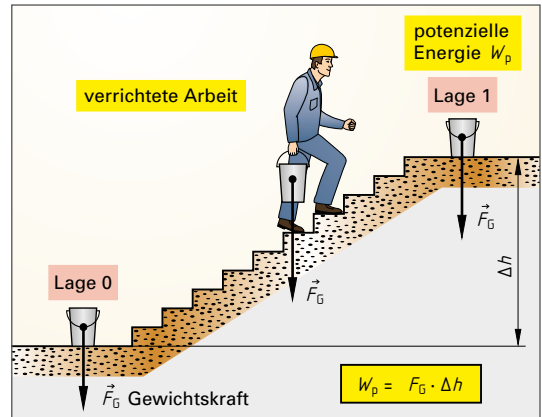


Bild 1: Änderung der Energie durch Arbeit

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

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

W_p potenzielle Energie
 m Masse
 g Fallbeschleunigung
 $(g \approx 10 \text{ N/kg})$

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

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

Δh Höhendifferenz
 W_k kinetische Energie
 v Geschwindigkeit

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.

Kinetische Energie ist in einer bewegten Masse gespeichert. Die kinetische Energie ist unabhängig von einer Bezugslage. Sie hängt nur von der Masse und von deren Geschwindigkeit ab.

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. Welche physikalischen Größen können in einem Raum ohne Materie vorhanden sein?
2. Nennen Sie drei Kraftfelder.
3. Auf eine Masse von 2000 kg wirkt eine Beschleunigungskraft von 1000 N. Wie groß ist die Beschleunigung?
4. Erklären Sie den Begriff Vektor.
5. Worin liegt der Unterschied zwischen Arbeit und Energie?
6. 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.

Reibt man einen Polystyrolstab mit einem Wolltuch und bringt ihn in die Nähe von Papierschnitzeln (**Bild 1**), so werden diese angezogen. Für diese Kräfte sind *elektrische Ladungen* verantwortlich.

Stäbe aus Isolierstoffen, wie z. B. Acrylglas, Polystyrol, die man mit einem Wolltuch reibt, üben wegen der Ladungen aufeinander Abstoßungskräfte (**Bild 2**) oder Anziehungskräfte (**Bild 3**) aus.

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

Die Ladung des Acrylglasstabes bezeichnet man als *positive Ladung* (Plusladung), die Ladung des Polystyrolstabes als *negative Ladung* (Minusladung). Ladungen üben Kräfte aufeinander aus (**Bild 4**). Das Entstehen von Ladungen kann am Atommodell erklärt werden.

Enthält der Kern eines Atoms so viele Protonen, wie Elektronen um den Kern kreisen, so ist das Atom elektrisch neutral (**Bild 5**). 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.

Die elektrische Ladung Q 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 *Elementarladung*. Die Elementarladung eines Elektrons beträgt $-0,1602 \cdot 10^{-18}$ C, die Elementarladung eines Protons beträgt $+0,1602 \cdot 10^{-18}$ C.

Beispiel 1: Ladungsmenge berechnen

In einem elektrischen Leiter fließt ein Strom I mit 150 mA. Welche Ladungsmenge ΔQ wird je Minute im Leiter transportiert?

Lösung:

$$\Delta Q = I \cdot \Delta t = 150 \text{ mA} \cdot 1 \text{ min} = 150 \text{ mA} \cdot 60 \text{ s}$$

$$= 9000 \text{ mAs} = \mathbf{9 \text{ As}}$$

Bei $I = \text{const.}$ und mit Anfangsladung:

$$\Delta Q = I \cdot \Delta t$$

Bei $I = \text{const.}$ und ohne Anfangsladung:

$$Q = I \cdot t$$

ΔQ Ladungsänderung

I konstante Stromstärke

Δt Zeitabschnitt

Q Ladung

Δ (griech. Großbuchst. Delta) Zeichen für Differenz

t Zeit

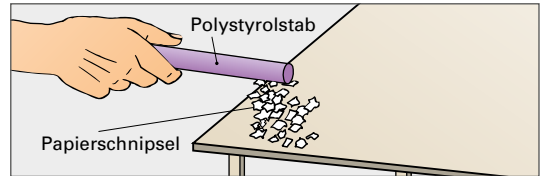


Bild 1: Anziehung von Teilchen durch Ladungen

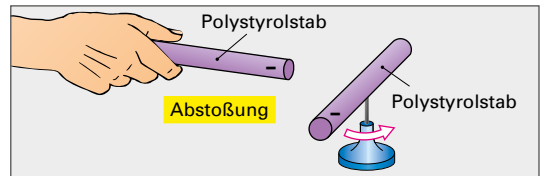


Bild 2: Abstoßung gleichartiger Ladungen

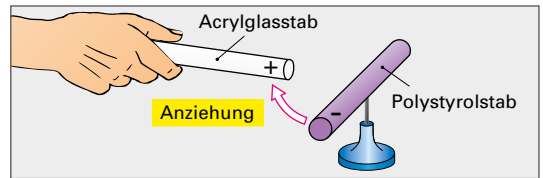


Bild 3: Anziehung ungleichartiger Ladungen

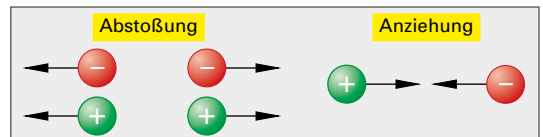


Bild 4: Ladungswirkungen

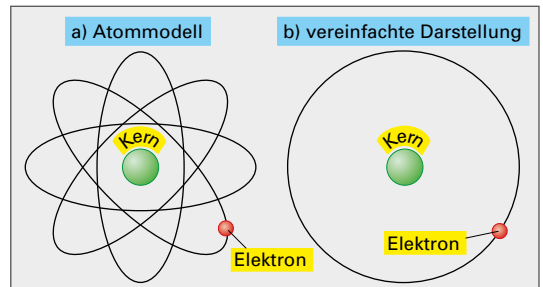


Bild 5: Aufbau eines Wasserstoffatoms

¹ Charles A. de Coulomb, französischer Physiker, 1736 bis 1806

1.2.2 Spannung

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

Die elektrische Spannung ist die zur Ladungstrennung aufgewendete Arbeit je Ladung.

Elektrische Spannung entsteht durch Trennung von Ladungen.

Je höher die erzeugte Spannung ist, desto größer ist das Bestreben der Ladungen sich auszugleichen (**Bild 1**). Elektrische Spannung ist also auch das Ausgleichsbestreben von Ladungen. Die elektrische Spannung (Formelzeichen U) misst man mit dem *Spannungsmessgerät* (**Bild 2**).

Zur Messung der Spannung wird das Spannungsmessgerät parallel zu den Anschlüssen des Erzeugers oder Verbrauchers geschaltet.

Einheit der elektrischen Spannung U ist das Volt¹ (V). Im Schaltzeichen des Spannungsmessgerätes steht V.

$[U] = V$.

($[U]$ spricht: Einheit von U).

Die Ladungstrennung und damit die Spannungserzeugung kann auf verschiedene Arten geschehen (**Abschnitt 1.5**). Bei einem Spannungserzeuger liegt die Spannung zwischen zwei Anschlüssen, dem Pluspol und dem Minuspol (**Bild 3**).

Der Pluspol ist gekennzeichnet durch Elektronenmangel, der Minuspol durch Elektronenüberschuss. Man unterscheidet Gleichspannung, Wechselspannung und Mischspannung. In einer an Gleichspannung von ca. 90 V liegenden Glühlampe leuchtet der negative Pol. Bei Wechselspannung leuchten die Pole im Wechsel.

Potenzial nennt man eine auf einen *Bezugspunkt* bezogene Spannung, d. h. die Spannung gegen Erde oder die Spannung gegen Masse. Spannung kann als Differenz zweier Potentiale aufgefasst werden (Bild 2). Zwischen dem Knotenpunkt mit dem Potenzial φ_A und dem Punkt mit dem Potenzial φ_B liegt die Spannung $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 12\text{ V} - 3\text{ V} = 9\text{ V}$. φ_C hat 0 V.

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

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

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

U Spannung

Q Ladung

W Arbeit

φ Potenzial

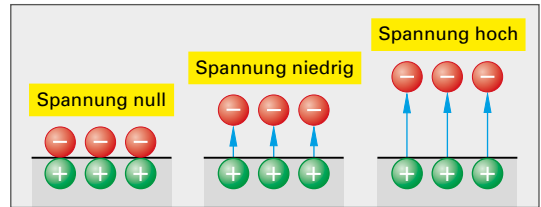


Bild 1: Spannung durch Ladungstrennung

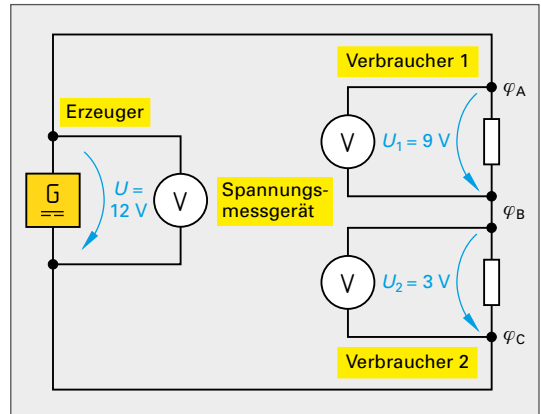


Bild 2: Spannungsmessung

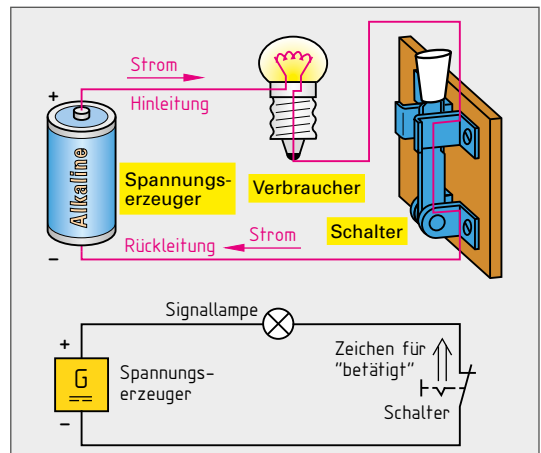
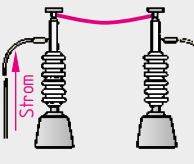
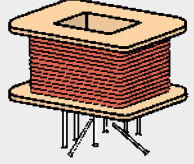
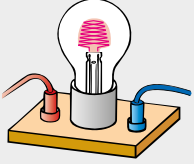
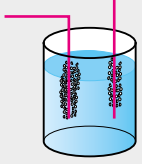



Bild 3: Elektrischer Stromkreis

¹ Alessandro Volta, italienischer Physiker, 1745 bis 1827

Tabelle 1: Stromwirkungen

Wärmewirkung immer vorhanden	Magnetkraftwirkung immer vorhanden	Lichtwirkung in Gasen, in manchen Halbleitern	Chemische Wirkung in leitenden Flüssigkeiten	Wirkung auf Lebewesen bei Menschen und Tieren
				
Heizung, Lötkolben, Schmelzsicherung	Relaispule, Türöffner, Elektromotor, Laut- sprecher, Magnet- schwebebahn	Glimmlampe, LED, Leuchtstofflampe, Elektro-Schweißen	Ladevorgang bei Akku- mulatoren, belastete Elemente	Negativ: Unfälle, Positiv: Herzschritt- macher

1.2.3 Elektrischer Strom

Die Spannung bewirkt den *elektrischen Strom*, der nur im geschlossenen Stromkreis fließt. Ein *Stromkreis* besteht aus dem Erzeuger, dem Verbraucher und der Hin- und Rückleitung zwischen Erzeuger und Verbraucher (Bild 3, Seite 16). Mit dem Schalter kann man den Stromkreis öffnen und schließen.

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

Metalle besitzen 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 1).

Die gerichtete Bewegung von Elektronen nennt man Elektronenstrom.

Freie Elektronen entstehen dadurch, dass die Elektronen der Außenschale eines Atoms genauso weit vom Kern des Nachbaratoms entfernt sein können wie vom eigenen Atomkern. Die Anziehungskräfte beider Kerne heben sich auf.

Der Spannungserzeuger übt eine Kraft auf die freien Elektronen aus. Diese Krafteinwirkung breitet sich nach dem Schließen eines Stromkreises fast mit Lichtgeschwindigkeit aus. Bei der Festlegung der Richtung des elektrischen Stromes ging man ursprünglich von der Bewegungsrichtung positiver Ionen in Flüssigkeiten aus (Bild 1).

Die Elektronen bewegen sich entgegengesetzt zur technischen Stromrichtung.

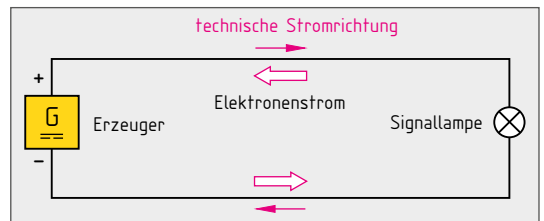


Bild 1: Stromrichtung

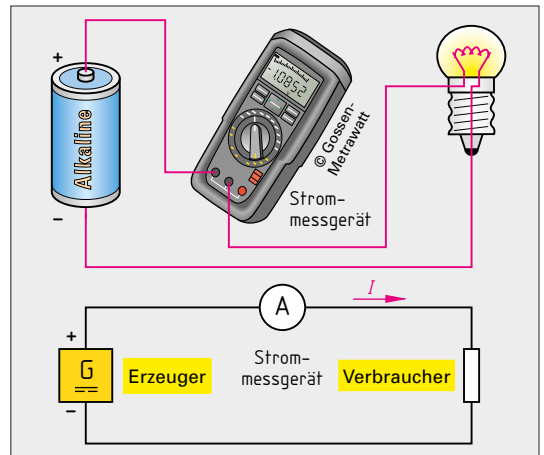


Bild 2: Strommessung

Die elektrische Stromstärke (Formelzeichen I) misst man mit dem Strommessgerät (Bild 2). Die Einheit der elektrischen Stromstärke I ist das Ampere (A). Im Schaltzeichen des Strommessgerätes steht A.

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

Bei *Gleichstrom* bleibt der Strom bei gleicher Spannung konstant (**Tabelle 1**). Die Elektronen fließen vom Minuspol durch den Verbraucher zum Pluspol. Das Kurzzeichen für Gleichstrom ist DC (von Direct Current = Einrichtungsstrom).

Gleichstrom ist elektrischer Strom, der dauernd in gleicher Richtung und gleicher Stärke fließt.

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

Wechselstrom ist elektrischer Strom, der ständig seine Richtung und Stärke ändert.

Ein gleichgerichteter Wechselstrom enthält Gleichstrom und Wechselstrom. Man nennt ihn *Mischstrom*. Das Kurzzeichen für Mischstrom ist UC (von Universal Current = allgemeiner Strom).

Mischstrom ist Gleichstrom mit überlagertem Wechselstrom.

Ionenstrom ist die Ionenbewegung in Flüssigkeiten oder Gasen. Ein positives Ion ist ein Atom oder Molekül, dem ein oder mehrere Elektronen fehlen. Ein negatives Ion ist ein Atom oder Molekül, das ein oder mehrere Elektronen zu viel hat.

Ladungsträgerbeweglichkeit. Die Bewegung der Ladungsträger (Driftgeschwindigkeit, von to drift = abtreiben) im Stromkreis unter Einwirkung eines elektrischen Feldes (**Abschnitt 1.7**) in oder gegen die Richtung der elektrischen Feldlinien ist vom Leiterwerkstoff und von der elektrischen Feldstärke abhängig. Unter der Beweglichkeit der Ladungsträger versteht man das Verhältnis Driftgeschwindigkeit zu elektrischer Feldstärke.

Beispiel 1: Driftgeschwindigkeit berechnen

Bei einer Halbleiterstrecke beträgt die elektrische Feldstärke 50 V/mm, die Ladungsträgerbeweglichkeit 0,39 m²/(Vs). Wie groß ist die Driftgeschwindigkeit?

Lösung:

$$b = \frac{v}{E} \Rightarrow v = b \cdot E = \frac{0,39 \text{ m}^2}{\text{Vs}} \cdot 50 \frac{\text{kV}}{\text{m}} = 19,5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Bei Elektronen ist der Betrag der Beweglichkeit in Metallen 0,0044 m²/(Vs), in Halbleitern 0,01 m²/(Vs) bis 1 m²/(Vs). Die Beweglichkeit der Ladungsträger in Metallen ist infolge der großen Zahl freier Elektronen wesentlich kleiner als bei Halbleitern, weil die vielen Ladungsträger einander mehr hemmen, als wenn es nur wenige Ladungsträger wären.

$$b = \frac{v}{E}$$

$$[b] = \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\frac{\text{V}}{\text{m}}} = \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$$

b Ladungsträgerbeweglichkeit

v Driftgeschwindigkeit
E elektrische Feldstärke

Tabelle 1: Stromarten

Bezeichnung	Kennlinie
Gleichstrom DC, d. c. Zeichen — oder ==	
Gleichstrom AC, a. c. Zeichen ~	
Gleichstrom UC, u. c. Zeichen ≈	

1.2.4 Elektrischer Widerstand

Die Werkstoffe setzen dem elektrischen Strom einen verschieden großen Widerstand entgegen.

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

Beispiel 2: Leitwert berechnen

Ein Widerstand beträgt 2 Ω. Wie groß ist der Leitwert?

Lösung:

$$R = \frac{1}{G} \Rightarrow G = \frac{1}{R} = \frac{1}{2 \Omega} = 0,5 \text{ S}$$

¹ Georg Simon Ohm, deutscher Physiker, 1789 bis 1854

² Werner von Siemens, deutscher Erfinder, 1816 bis 1892

Leiterwiderstand

Der Widerstand eines Leiters hängt von der Länge, vom Querschnitt und vom Leiterwerkstoff ab. Ein Kupferdraht von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt hat z. B. mehr freie Elektronen als ein Eisendraht gleicher Abmessung.

Der spezifische¹ Widerstand von Drähten hat die Einheit Ω · mm²/m. Bei Isolierstoffen und Halbleiterwerkstoffen wird die Einheit Ω · cm²/cm = Ω · cm verwendet. Dann gibt der spezifische Widerstand an, wie groß der Widerstand eines Würfels von 1 cm Kantenlänge ist.

Der spezifische Widerstand ρ gibt den Widerstand eines Leiters von der Länge 1 m und dem Querschnitt 1 mm² an.

Der *spezifische Widerstand* ρ wird meist für 20 °C angegeben. Oft wird mit der *Leitfähigkeit* γ statt mit dem spezifischen Widerstand gerechnet. Die Leitfähigkeit γ ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes ρ.

Die Namensgeber für die Einheiten Ohm und Siemens sind deutsche Wissenschaftler (**Tabelle 1**).

Die Leitfähigkeit γ ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes ρ.

Beispiel 1: Leiterwiderstand berechnen

Auf einer Kabeltrommel befindet sich ein 42 m langes 3-adriges Kupferkabel. Die Querschnitte der Leiter betragen je 1,5 mm². Berechnen Sie den Leiterwiderstand, wenn ein Verbraucher angeschlossen wird.

Leitfähigkeit von Kupfer (Cu): γ = 56 $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$

Lösung:

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot A} = \frac{2 \cdot 42 \text{ m}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 1,5 \text{ mm}^2} = 1 \Omega$$



1.2.5 Ohm'sches Gesetz

Stellt man an einem Schiebewiderstand einen festen Widerstandswert ein, schließt ihn an einen Spannungserzeuger mit veränderbarer Spannung an und erhöht die Spannung von 0 V ausgehend, so nehmen die Spannung und die Stromstärke im gleichen Verhältnis zu. 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 ~ U (sprich: I ist proportional U) ist, so spricht man von einem *linearen* Widerstand. Die Gerade verläuft umso flacher, je größer der Widerstand ist. Mit zunehmendem Widerstand nimmt also die Stromstärke ab.

$R = \frac{1}{G}$	$\gamma = \frac{1}{\rho}$
$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$	$R = \frac{l}{\gamma \cdot A}$
$[R] = \frac{1}{[G]} = \frac{1}{S} = \Omega$	

<p>R Widerstand (Resistanz) G Leitwert γ Leitfähigkeit, spezifischer Leitwert (γ griech. Kleinbuchstabe Gamma)</p>	<p>ρ spezifischer Widerstand (ρ griech. Kleinbuchstabe Rho) l Länge des Leiters A Querschnitt des Leiters</p>
--	---

Tabelle 1: Wissenschaftler

	<p>Ohm, Georg Simon, 1789 bis 1854, geb. in Erlangen, Realschullehrer und Gymnasiallehrer für Mathematik, später Professor für Physik in Nürnberg und München. Er fand 1826 heraus, dass Stromstärke und Spannung im elektrischen Leiter proportional sind $I \sim U$.</p>
© ullstein bild – Granger Collection	
	<p>Siemens, Werner von, 1816 – 1892, geb. in Lenthe, militärische Ingenieurschule, Unternehmer. Begründer des Galvanisierens, Entwickler der elektrischen Lokomotive, Erbauer der ersten Dynamomaschine. Engagierte sich politisch und sozial für das Wohl der Arbeiter.</p>
© ullstein bild – Granger Collection	

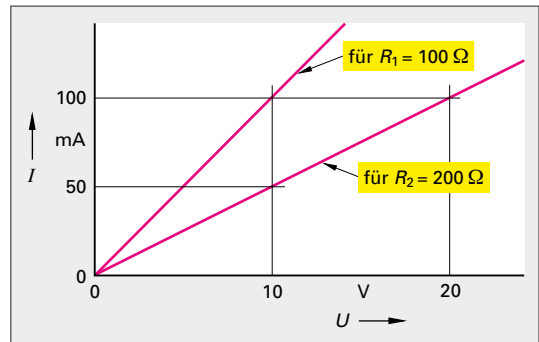


Bild 1: I als Funktion von U beim linearen Widerstand

¹ lateinisch specificus = arzeigen

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

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

Beispiel 1: Stromstärke berechnen

Welche Stromstärke hat eine Glühlampe mit einem Widerstand von 12Ω , die an 6 V angeschlossen ist?

Lösung:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6 \text{ V}}{12 \Omega} = 0,5 \text{ A}$$

1.2.6 Widerstand und Temperatur

Der Widerstand der Leiterwerkstoffe ist von der Temperatur abhängig. Kohle und die meisten Halbleiter leiten in heißem Zustand besser als in kaltem Zustand. Diese Stoffe nennt man deshalb auch *Heißeleiter*. Ihr Widerstand nimmt bei Temperaturerhöhung ab. 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 *Temperaturkoeffizient* α gibt die relative Widerstandsänderung je Grad an (Tabelle 1). Man nennt ihn auch Temperaturbeiwert.

Der Temperaturkoeffizient α gibt an, um wie viel Ohm ein Widerstand von 1Ω größer oder kleiner wird, wenn die Temperatur um 1 K erhöht wird.

Kelvin¹ (K) ist die Einheit des Temperaturunterschieds, gemessen in der Celsiuskala oder in der Kelvinskala. Der Temperaturkoeffizient von Heißeleitern 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 Temperaturkoeffizienten und der Übertemperatur abhängig.

Bei Abkühlung von Leitern nimmt ihr Widerstand ab. Bei sehr tiefen Temperaturen haben einige Stoffe keinen Widerstand mehr. Sie sind *supraleitend* geworden.

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

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

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

$R_2 = R_1 + \Delta R$

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

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

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

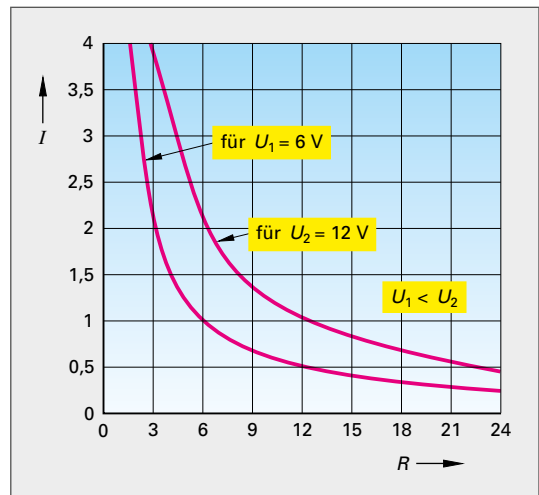


Bild 1: I als Funktion von R beim linearen Widerstand

Tabelle 1: Temperaturkoeffizient α in $1/\text{K}$

Kupfer	3,9 · 10 ⁻³	Nickel	0,15 · 10 ⁻³
Aluminium	3,8 · 10 ⁻³	Manganin	0,02 · 10 ⁻³

Die Werte gelten für eine Temperaturerhöhung ab $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Beispiel 2: Widerstandsänderung berechnen

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

Lösung

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

¹ Lord Kelvin, englischer Physiker, vor Erhebung in den Adelsstand William Thomson, 1824 bis 1907