

Marco Winzker

**Elektronik
für Entscheider**

Weitere Bücher **aus dem Programm Elektronik**

Mikrowellenelektronik

von W. Bächtold

Sensorschaltungen

von P. Baumann

Elektroniksimulation mit PSPICE

von B. Beetz

Elemente der angewandten Elektronik

von E. Böhmer, D. Ehrhardt und W. Oberschelp

Elemente der Elektronik – Repetitorium und Prüfungstrainer

von E. Böhmer

Mechatronik

herausgegeben von B. Heinrich

Hochfrequenztechnik

von H. Heuermann

Elektronik für Ingenieure

herausgegeben von L. Palotas

Automobilelektronik

von K. Reif

Grundkurs Leistungselektronik

von J. Specovius

Handbuch der Kraftfahrzeugelektronik

herausgegeben von H. Wallentowitz und K. Reif

Elektronik

von D. Zastrow

Bussysteme in der Fahrzeugtechnik

von W. Zimmermann und R. Schmidgall

vieweg

Marco Winzker

Elektronik für Entscheider

**Grundwissen für
Wirtschaft und Technik**

Mit 120 Abbildungen, 6 Tabellen, 26 Beispielen,
16 Übungen und 82 Aufgaben

Vieweg Praxiswissen



Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

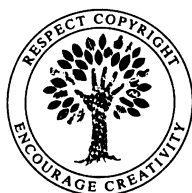
1. Auflage 2008

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008

Lektorat: Reinhard Dapper

Der Vieweg Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.
www.vieweg.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de

Technische Redaktion: FROMM MediaDesign, Selters/Ts.

Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0288-0

Vorwort

Bei der Entwicklung, Produktion und Vermarktung elektronischer Güter arbeiten Personen aus verschiedenen Fachgebieten interdisziplinär zusammen, um Produkte zum richtigen Preis, mit den richtigen Eigenschaften und zum richtigen Zeitpunkt anbieten zu können. Jedoch können Kosten, Qualität und Entwicklungszeit eines Produktes nicht unabhängig voneinander optimiert werden. Also müssen die Verantwortlichen eines Projektes miteinander über Projektziele kommunizieren können.

Darum vermitteln Hochschulen in den Ingenieurstudiengängen in deutlichem Umfang nicht-technische Themen, wie Betriebswirtschaftslehre, Projektmanagement und Recht. Ingenieure können so die Sichtweise von „Nicht-Technikern“ verstehen und ihnen technische Zusammenhänge besser vermitteln.

Dieses Buch soll der „anderen Seite“, den Managern, Betriebswirten, Juristen, PR-Fachleuten und Journalisten, aber auch Ingenieuren aus anderen Fachgebieten, die Möglichkeit geben, sich ein Stück auf das Gebiet der Elektronik zu begeben, um sowohl Aufgaben als auch Sprache und Denkweise der Ingenieure verstehen zu können. Ziel ist es dabei nicht, dass Sie nach dem Lesen dieses Buches eine elektronische Schaltung entwickeln können. Im Vordergrund steht vielmehr ein generelles Verständnis für die Zusammenhänge und Grundbegriffe der Elektronik.

Grundlage für Kommunikation ist eine gemeinsame Sprache, darum werden die wesentlichen Fachausdrücke eingeführt und erläutert. Formeln hingegen brauchen Sie nicht zu lernen. An den wenigen Stellen, an denen dann doch eine Formel auftaucht, steht sie zusätzlich zu einem im Text erläuterten Zusammenhang und dient als Brücke zu einer ingenieurmäßigen Darstellung.

Ein Wort zum Aufbau. Ich würde mich natürlich freuen, wenn Sie dieses Buch so spannend finden, dass Sie es ohne innezuhalten von vorne bis hinten lesen. Ich freue mich aber genauso, wenn Sie sich genau die Informationen heraussuchen, die Sie für Ihre spezielle Fragestellung benötigen. Und hier hat sicher der PR-Leiter eines IT-Dienstleisters andere Schwerpunkte als die Juristin mit einem Mandanten aus der Elektronikfertigung.

Die einzelnen Kapitel können darum relativ unabhängig voneinander gelesen werden. Bezüge zwischen den Kapiteln werden hergestellt; es ist Ihnen aber freigestellt, diesen Verbindungen zu folgen. Für Ihre Auswahl und Übersicht sorgen Lernziele am Anfang der Kapitel sowie eine Zusammenfassung der wichtigsten Aussagen am Kapitelende.

Die zum Verständnis notwendigen allgemeinen Informationen über Elektrizität und elektronische Bauelemente werden im Abschnitt „Grundwissen“ erläutert. Diesen Abschnitt sollten Sie sich auf jeden Fall ansehen, wobei Ihnen, je nach Vorwissen, diese Informationen möglicherweise schon bekannt sind.

Im Anhang des Buches finden Sie Wiederholungs- und Transferfragen zu den Kapiteln. Außerdem sind dort zur Vertiefung und als weiterer Praxisbezug mehrere ausführliche Anwendungsbeispiele für elektronische Schaltungen enthalten.

Das vorliegende Buch entstand aus der Vorlesung „Elektronik für Technikjournalisten“ an der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg. Den Studentinnen und Studenten danke ich für ihre Fragen und skeptischen Blicke an den Stellen, an denen ich Sachverhalte noch besser erklären musste.

Für vielfältige Anregungen zu Inhalt und Form geht mein Dank an Fachleute aus Industrie und Hochschule, von denen ich hier insbesondere Prof. Dr.-Ing. Klaus Grüger, Prof. Dr. Irene Rothe, Dr.-Ing. Mirjam Schönfeld und Dipl.-Ing. Andrea Schwandt nennen möchte. Für die Bereitstellung von aktuellem Bildmaterial danke ich den jeweils angegebenen Firmen. Besonders erwähnt sei die Firma Freescale für die umfangreichen, im Anhang zitierten Unterlagen.

Mein größter Dank geht an meine Eltern und meine Frau für ihre stete Unterstützung, weit über die Erstellung dieses Buches hinaus.

Königswinter, im November 2007

Marco Winzker

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Einleitung	1
1 Bedeutung der Elektronik	1
1.1 Kurze geschichtliche Einordnung	1
1.2 Gesellschaftliche Bedeutung	3
1.3 Wirtschaftliche Bedeutung	5
Grundwissen	8
2 Elektrische Ladung, Strom, Spannung	8
2.1 Elektrische Ladung	8
2.2 Strom und Spannung	9
2.3 Zusammenhang von Strom und Spannung	10
2.4 Darstellung als Schaltplan	11
2.5 Übersicht über Formelzeichen und Einheiten	12
3 Bauelemente der Elektronik	13
3.1 Passive Bauelemente	13
3.2 Aktive Bauelemente	15
3.3 Integrierte Schaltungen	17
3.4 Platinen	18
3.5 Weitere Komponenten	21
Analog- und Digitaltechnik	23
4 Analoge Signale	23
4.1 Grundformen analoger Signale	23
4.2 Amplitude und Frequenz	26
4.3 Frequenzbereiche technischer Systeme	28
4.4 Analoge Datenübertragung	30
5 Grundsaltungen der Analogtechnik	32
5.1 Schaltungsdarstellung in der Elektrotechnik	32
5.2 Diodenschaltungen zum Gleichrichten	34
5.3 Verstärkerschaltungen mit Transistoren	36

6	Digitale Signale	40
6.1	Digitaltechnik	40
6.2	Zahlendarstellungen und Codes	42
6.3	Darstellung und Übertragung digitaler Daten	45
6.4	Digitalisierung	47
7	Grundsaltungen der Digitaltechnik	50
7.1	Verarbeitung von digitalen Daten	50
7.2	Schaltungselemente	52
7.3	Speicherelemente	53
7.4	Implementierung digitaler Schaltungen	55
Halbleitertechnik		59
8	Halbleitertechnik und Dotierung	59
8.1	Aufbau der Materie	59
8.2	Leiter, Isolator, Halbleiter	62
8.3	Elektrische Leitung in Halbleitern	63
8.4	Dotierung von Halbleitermaterial	66
9	Dioden und Transistoren	69
9.1	pn-Übergang	69
9.2	Diode	72
9.3	Transistor	73
9.4	Schaltsymbole	75
10	Optoelektronik und Solartechnik	77
10.1	Eigenschaften von Licht	77
10.2	Optoelektronik	77
10.3	Solartechnik	79
Entwicklung und Fertigung		83
11	Entwicklung elektronischer Systeme	83
11.1	Produktentwicklung	83
11.2	Spezifikation und Schaltungskonzept	85
11.3	Schaltungsentwurf	88
11.4	Verifikation	90
11.5	Rechnergestützter Schaltungsentwurf	91
12	Fertigung	94
12.1	Beschaffung elektronischer Komponenten	94
12.2	Fertigungsschritte	96
12.3	Auslagerung von Arbeitsschritten	100
12.4	Lebensdauer und umweltverträgliche Fertigung	101

13 Inbetriebnahme	104
13.1 Methodik	104
13.2 Ausstattung der Arbeitsplätze	106
13.3 Messgeräte	108
14 Wirtschaftliche Betrachtungen	112
14.1 Markteinführung von Produkten	112
14.2 Investitionen und Profit	114
14.3 Disruptive Technologien	116
14.4 Patente und ihre Bedeutung	118
Mikro- und Nanoelektronik	122
15 Integrierte Schaltungen	122
15.1 Überblick	122
15.2 Aufbau integrierter Schaltungen	126
15.3 Entwicklung	128
16 Chip-Technologie	131
16.1 CMOS-Technologie	131
16.2 Funktionsprinzip der CMOS-Technologie	132
16.3 Physikalischer Aufbau	134
16.4 Herstellung	137
17 Halbleiterspeicher	140
17.1 Grundstruktur	140
17.2 Flüchtige Speicher	141
17.3 Nichtflüchtige Speicher	143
Automobilelektronik und Embedded System	145
18 Elektronik im Kraftfahrzeug	145
18.1 Überblick	145
18.2 Anforderungen an Automobilelektronik	147
18.3 Steuerung und Regelung	149
18.4 Anwendungsgebiete	150
19 Bussysteme in der Automobiltechnik	152
19.1 Grundlagen von Bussystemen	152
19.2 Eigenschaften aktueller Bussysteme	155
20 Embedded System und Mikrocontroller	157
20.1 Anwendungsgebiete	157
20.2 Begriffsbestimmung	158
20.3 Software-Entwicklung für Embedded System	160

Anhang	163
A Fragen zur Selbstkontrolle	163
B Rechnen in der Elektronik	168
C Ausführliche Anwendungsbeispiele	173
C.1 Analogtechnik – Dämmerungsschalter	173
C.2 Digitaltechnik – Elektronischer Würfel	175
C.3 Fertigung – USB-Stick	179
C.4 Embedded System – Stoppuhr	184
Literaturverzeichnis	190
Abbildungsverzeichnis	192
Tabellenverzeichnis	195
Sachwortverzeichnis	196

Einleitung

1 Bedeutung der Elektronik

In diesem Kapitel lernen Sie,

- wie sich die Elektronik über die letzten Jahrhunderte und Jahrzehnte entwickelt hat,
- warum die Elektronik so wichtig ist, dass Sie dieses Buch weiter lesen sollten.

1.1 Kurze geschichtliche Einordnung

Antike

Kenntnisse über Elektrizität waren bereits in vorchristlicher Zeit vorhanden. Im antiken Griechenland war bekannt, dass Bernstein nach dem Reiben kleine Gegenstände anziehen kann. Grund hierfür ist eine elektrische Aufladung. Das altgriechische Wort für Bernstein „elektron“ bildet daher den Wortstamm für die Elektronik.

Aufklärung

Im Zeitalter der Aufklärung, also ab dem 17. Jahrhundert, untersuchten Forscher in ganz Europa das Wesen der Elektrizität. Das Prinzip der Ladungserzeugung durch Reibung wurde zu Ladungsgeneratoren weiterentwickelt. Die ersten Kondensatoren, die Leidener Flaschen, erlaubten diese Ladung zu speichern. Mit Ladungsgeneratoren konnte jedoch nur eine geringe Menge Ladung erzeugt werden. Für weitere Versuche war eine konstante Quelle für elektrischen Strom erforderlich. Diese wurde schließlich in den ersten Batterien gefunden, bei denen durch eine chemische Reaktion Spannung entsteht.

Die Wirkung des Stroms war Gegenstand weiterer Experimente. Es wurde erkannt, dass fließender Strom eine Magnetnadel auslenken kann. Dies ist der sogenannte elektromagnetische Effekt, auf dem zum Beispiel Elektromotoren basieren. Umgekehrt kann Bewegungsenergie in elektrische Energie gewandelt werden, was am Fahrraddynamo alltäglich beobachtet werden kann. Diese Forschungen dienten zunächst dem Erkenntnisgewinn und bildeten das Wissen über das Phänomen Elektrizität. Zu den bedeutendsten Forschern zählen, neben vielen anderen, Leibniz, Volta, Ampere, Ørsted und Maxwell.

Industrielle Nutzung

Neben der weiteren Erforschung der Grundlagen begann in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die wirtschaftliche Nutzung der Elektrizität. Sie hat entscheidend zu der heutigen Bedeutung der Elektrizität geführt. Als wichtige Persönlichkeiten können hier Siemens und Edison stellvertretend für andere genannt werden.

Die Nutzung der Elektrizität erfolgt damals wie heute für zwei Hauptanwendungen:

- Die Übertragung von Energie.
- Die Übertragung von Informationen.

Ein Schalten und Verstärken der elektrischen Ströme und Spannungen erfolgte zunächst mechanisch und elektromechanisch. Mechanische Schalter sind auch heute noch im Einsatz, zum Beispiel als Lichtschalter, ebenso elektromechanische *Relais*, bei denen ein Elektromagnet den Schalter bewegt.

20. Jahrhundert

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde die *Elektronenröhre* entwickelt, die nicht nur ein Ein- und Ausschalten erlaubt, sondern auch ein stufenloses Verstärken von Signalen ermöglicht. Diese Fähigkeit zur Verstärkung bildet die Grundlage zu dem Teilgebiet der Elektrotechnik, welches als *Elektronik* bezeichnet wird.

Werden Ströme hingegen mechanisch ein- und ausgeschaltet, spricht man im Gegensatz zur Elektronik von *Elektrik*. Der Begriff *Elektrotechnik* umfasst die gesamte technische Nutzung der Elektrizität.

Die Erfindung des *Transistors* im Jahre 1947 war ein weiterer Meilenstein in der Geschichte der Elektronik. Transistoren können, wie Elektronenröhren, Signale verstärken, sind aber wesentlich preisgünstiger und kompakter. Transistoren haben deshalb die Elektronenröhre mittlerweile fast vollständig abgelöst.

Weiterhin können mehrere Transistoren zu einem Baustein zusammengefasst werden. Eine solche *integrierte Schaltung* entstand erstmals 1958 und umfasste einige wenige Bauelemente.

Die Erfinder des Transistors Shockley, Bardeen und Brattain wurden 1956 durch den Nobelpreis geehrt, ebenso Kilby im Jahre 2000 als Erfinder der integrierten Schaltung.

Heute

Kennzeichnend für die Entwicklung der Elektronik in den letzten Jahrzehnten bis zum heutigen Tage ist eine kontinuierliche Steigerung der *Integration*. Das heißt, immer mehr Transistoren können auf immer kleinerem Raum untergebracht werden. In einer integrierten Schaltung, zum Beispiel einem Computer-Prozessor, finden heute etliche Millionen Transistoren Platz.

Ermöglicht wurde diese Entwicklung durch kleine wie große Verbesserungen und Ideen etlicher Physiker, Chemiker und Ingenieure. Ein Ende dieser kontinuierlichen Leistungssteigerung wird für die nahe Zukunft nicht erwartet.

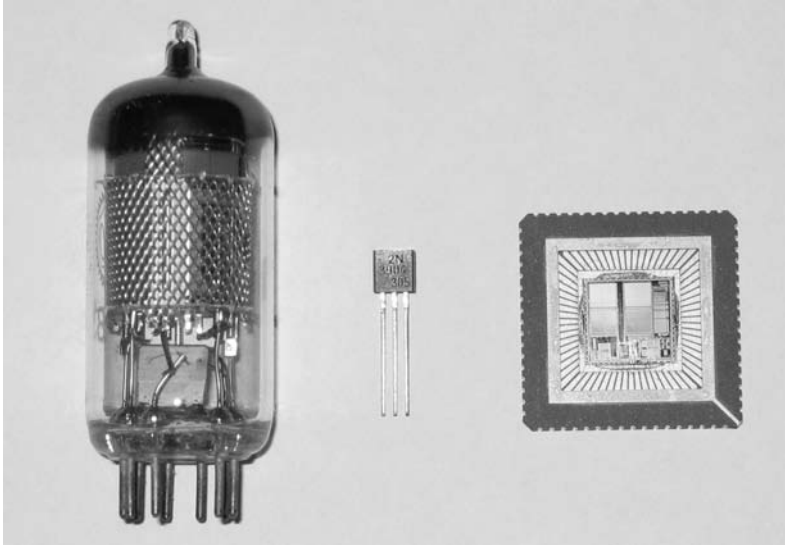


Bild 1.1 Elektronenröhre, Transistor, integrierte Schaltung –
Entwicklungsschritte der Elektronik im 20. Jahrhundert

Zukunft der Elektronik

Auch für das 21. Jahrhundert ist eine weitere Fortentwicklung der Elektronik zu erwarten. Absehbar ist eine weiter steigende Integration, insbesondere durch noch kleinere Bauelemente der Nanoelektronik.

Die Mikro- und Nanotechnik gilt als Hauptimpulsgeber für Innovationen [8]. Insbesondere die in Deutschland starken Branchen Maschinenbau und Automobiltechnik werden ihre Produkte durch den Einsatz elektronischer Komponenten aufwerten können und müssen. Außerdem entstehen innovative Anwendungen, wie die Kombination von Elektronik und Sensoren zu einem kleinen Labor auf einem Chip, geeignet für Umwelt- und Medizintechnik.

1.2 Gesellschaftliche Bedeutung

Neue Möglichkeiten der Kommunikation und der Datenverarbeitung, die sich durch die Entwicklung der Elektronik ergeben, können zu Veränderungen in der Gesellschaft führen. Die Entwicklung des Radios ist ein Beispiel für gesellschaftliche Veränderungen durch Elektronik.

Beispiel: Radio

Bis in die 1950er Jahre waren Radios teuer und voluminös. Viele Familien hatten darum ein einziges Radio im Wohnzimmer und die Familie musste sich einigen, welches Programm gehört wurde. Mitte der 1950er wurde das erste Radio vorgestellt, welches Transistoren statt Elektronenröhren als Verstärkerbauelement verwendete. Ab den 1960ern setzten sich diese

„Transistorradios“ durch, denn sie waren kleiner, günstiger und verbrauchten weniger Energie. Damit konnte jedes Familienmitglied sein eigenes Radio besitzen und den eigenen Sender wählen; die Erwachsenen vielleicht Kultur und Schlager, die Jugendlichen wohl eher Popmusik.

Auch heute entwickelt sich das Medium Radio weiter. Mit digitaler Kurzwelle können große Gebiete mit Radiosignalen versorgt werden. Ein digitaler Radioempfänger, betrieben mit Solarzellen, ermöglicht auch in abgelegenen Landstrichen Zugang zu aktuellen und unabhängigen Informationen. Damit können sich auch Menschen in weniger industrialisierten Ländern aus verschiedenen Quellen informieren und sich eine eigene Meinung zu aktuellen Fragen bilden.

Noch sind derartige Digitalradios vergleichsweise teuer, aber die Erfahrung lässt erwarten, dass die Preise deutlich sinken werden.

Beispiel: Portable MP3-Player

Eine gesellschaftliche Veränderung durch Elektronik kann auch am Beispiel portabler MP3-Player betrachtet werden. Technisch ermöglicht wurden diese Geräte durch mehrere wesentliche Entwicklungen.

Dies ist zunächst die eigentliche MP3-Codierung, also der Algorithmus mit dem ein Musiksignal so komprimiert werden kann, dass nur einige MByte Daten für ein Lied erforderlich sind. Weiterhin ist leistungsfähige Elektronik zur Signalverarbeitung verfügbar, mit der die umfangreichen Rechenoperationen für die Entschlüsselung des komprimierten Tonsignals durchgeführt werden. Als dritte wichtige Entwicklung seien Flash-Speicher genannt, die es ermöglichen, mehrere hundert Lieder zuverlässig auf einem kleinen Elektronikbaustein zu speichern.

Mit diesen Entwicklungen können sehr kleine und zugleich robuste Wiedergabegeräte entwickelt werden, die in den letzten Jahren zunehmend populärer geworden sind. In Straßenbahnen und Bussen sieht man immer mehr Menschen mit MP3-Player. Die herstellende Industrie begrüßt diesen Trend sicher. Aber ist, für die Gesellschaft gesehen, das Hören von Musik nicht auch eine Abkopplung und ein Rückzug des Einzelnen, eine Hürde für die Kommunikation mit dem Mitmenschen? Oder besteht kein Unterschied zum Lesen eines Buches?

Verbunden mit der noch kurzen Geschichte der MP3-Codierung und der MP3-Player ist das erlaubte und unerlaubte Kopieren von Musik und anderen MP3-Dateien. Die Tauschbörse Napster ermöglichte den einfachen Austausch von Musikdateien über das Internet. Dies rief den Protest der Musikindustrie hervor und führte in vielen Ländern zu verschärften Gesetzen und Regelungen zum Urheberrecht. Andererseits gibt es Künstler, die Musik-Dateien zum Kopieren freigeben, sei es aus Überzeugung oder als Marketing. Auch ist mit Podcasting eine neue Form der Kommunikation entstanden.

Elektronik verändert die Welt

Es lassen sich viele weitere Beispiele finden, bei denen Fortschritte in der Elektronik zu kleineren oder größeren gesellschaftlichen Veränderungen führen. Diese Veränderungen können

**Bild 1.2**

Überwachungskamera –
Vereitelung von Straftaten oder
Verlust der Privatsphäre?

allerdings auch Risiken bedeuten. So kann beispielsweise Videoüberwachung Straftaten verhindern beziehungsweise zu deren Aufklärung beitragen. Andererseits droht ein Verlust der Privatsphäre durch flächendeckende Überwachung.

Elektronik verändert die Welt. Und zwar in einem Tempo, dass die Veränderungen von jedem erlebt und erfahren werden können. Dies ist zum einen spannend zu beobachten und mitzuverfolgen. Zum anderen sollte sich jeder mündige Bürger aber auch informieren und eine Meinung bilden, welche Veränderung wir wünschen und welche nicht.

1.3 Wirtschaftliche Bedeutung

Neben der gesellschaftlichen Bedeutung hat Elektronik auch eine hohe wirtschaftliche Bedeutung.

Anteil am Bruttoinlandsprodukt

Schaut man sich die reinen Zahlen an, beträgt der direkte Anteil der Elektronik, also nur die eigentlichen Bauelemente, am Bruttoinlandsprodukt der Bundesrepublik Deutschland lediglich etwa 0,5 %. Diese Zahl spiegelt ihre Bedeutung aber bei weitem nicht wieder, denn die Elektronik ist eine *Schlüsseltechnologie*, wird also in Geräte eingebaut und wertet diese Produkte auf oder macht sie erst möglich.

Elektronische Bauelemente werden üblicherweise nicht direkt an den Endverbraucher verkauft, ausgenommen Elektronik-Bastler. Vielmehr finden sich die Bauelemente in Elektronikgeräten wie Computern und Mobiltelefonen. Diese reinen Elektronikgeräte machen immerhin schon 2,5 % des Bruttoinlandsprodukts aus. (Alle Zahlenangaben nach [9].)

Die Wirkung der Elektronik geht jedoch über die unmittelbaren Elektronikgeräte hinaus. In vielen Produkten finden sich elektronische Steuerungen, die mechanische Funktionen abgelöst haben. Diese Ablösung kann durch mehrere Gründe veranlasst sein. Meist gehören dazu

geringere Kosten, höhere Zuverlässigkeit und mehr Flexibilität. Diese Entwicklung kann man sich am Beispiel einer Waschmaschine verdeutlichen.

Beispiel: Elektronik zur Steuerung von Waschmaschinen

Vor 30 Jahren hatten viele Waschmaschinen eine einfache mechanische Steuerung. Ein Drehschalter wurde, abhängig vom gewünschten Programm, auf einen Startpunkt gedreht und lief dann durch einen kleinen Antrieb bis zu einer Endstellung. Durch diese Steuerung waren jedoch nur wenige Programme möglich.

Elektronische Steuerungen ermöglichen deutlich mehr Programme und sparen dadurch Energie, beispielsweise indem bei nur leicht verschmutzter Wäsche ein Waschgang gespart wird. Außerdem sind elektronische Steuerungen zuverlässiger, da sich keine mechanischen Teile abnutzen können.

Hochwertige Waschmaschinen können durch eine LCD-Anzeige aufgewertet werden und bieten durch eine Zeitschaltuhr und die Anzeige der verbleibenden Waschzeit mehr Komfort in der Anwendung. Die Kosten für LCD-Anzeige und Elektronik sind nur wenige Euro, aber das Produkt kann mit einem deutlich höheren Preisaufschlag verkauft werden.

Beispiel: Elektronik im Automobil

Der Anteil der Elektronik im Automobil hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. Dies beginnt beim Motor, der durch eine elektronische Steuerung den Benzinverbrauch und die Umweltbelastung reduziert. Für die Sicherheit sorgen Airbag, Antiblockiersystem (ABS) und elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP). Zentralverriegelung und automatische Sitzverstellung bedeuten erhöhten Komfort. Zur Unterhaltung und zur Kommunikation dienen Radio, CD-Spieler und Mobiltelefon.

Am Beispiel Automobilelektronik zeigt sich auch die Bedeutung der Elektronik für die Wettbewerbsfähigkeit. Abhängig von der Fahrzeugklasse ist ein Fahrzeug ohne bestimmte elektronische Ausstattung nicht konkurrenzfähig. Selbst für Kleinwagen ist mittlerweile ABS und Zentralverriegelung eine Standardausrüstung. Bei einem Wagen der Oberklasse wird unter



Bild 1.3

Eine elektronische Steuerung verbessert das Fahrverhalten in Kurven
(Foto: Bosch)

anderem Antriebs-Schlupf-Regelung (ASR), elektronischer Bremsassistent und Einparkhilfe erwartet.

Erwähnt werden müssen jedoch auch die Nachteile eines erhöhten Elektronikanteils im Automobil. Ein steigender Anteil an Störungen war zwischenzeitlich auf die Elektronik zurückzuführen. Darum wurde in letzter Zeit besonders auf erhöhte Zuverlässigkeit Wert gelegt.

Auch in Zukunft wird der Anteil der Elektronik im Automobil weiter steigen, da Umweltanforderungen, Sicherheitsauflagen und erhöhter Komfort oft nur durch leistungsfähige Elektronik zu erfüllen sind.

Wirkungskette der Elektronik

Die wirtschaftliche Bedeutung der Elektronik liegt also zu einem wesentlichen Teil in der Aufwertung von Produkten aus verschiedenen Branchen. Durch diese Wirkungskette macht die Elektronik etwa 25 % des Bruttoinlandsprodukts aus und umfasst im Wesentlichen die fünf Marktsektoren [9]:

- Maschinenbau
- Elektrotechnik
- Fahrzeugbau
- Feinmechanik, Optik
- Büro- und Datentechnik

Die Konkurrenzfähigkeit unserer Wirtschaft ist also zu einem großen Teil von dem Einsatz elektronischer Bauelemente abhängig. Das Verständnis für Elektronik und ihren Einsatz eröffnen somit Marktchancen für Unternehmen und die Menschen, die in ihnen arbeiten; seien es Ingenieure oder Nichtingenieure.

Zusammenfassung

Elektronik ist ein Teilgebiet der Elektrotechnik. Sie befasst sich mit dem Schalten und Verstärken elektrischer Signale.

Elektronische Systeme sind durch kontinuierliche Verbesserungen immer leistungsfähiger geworden. Diese Leistungssteigerung wird auch für die nahe Zukunft anhalten.

Die zunehmenden Fähigkeiten der Elektronik haben sowohl gesellschaftliche als auch wirtschaftliche Bedeutung.

Grundwissen

2 Elektrische Ladung, Strom, Spannung

In diesem Kapitel lernen Sie,

- ▶ ein Grundverständnis der Elektrizität zur Beschäftigung mit Elektronik,
- ▶ welche physikalischen Grundgrößen in der Elektronik verwendet werden und wie sie voneinander abhängen,
- ▶ die verwendeten Einheiten.

2.1 Elektrische Ladung

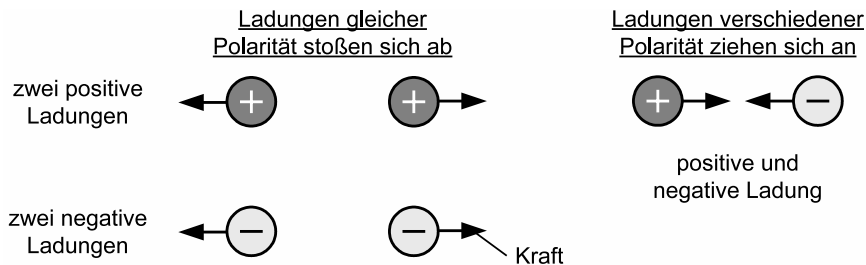
Ursprung

Elektrische Ladung ist ein physikalisches Naturphänomen der Materie. Materie, also alle Stoffe um uns herum, sind aus winzigen *Atomen* aufgebaut. Die Atome wiederum bestehen aus *Protonen*, *Neutronen* und *Elektronen*. Protonen haben eine positive elektrische Ladung, Elektronen haben eine negative Ladung, Neutronen sind elektrisch neutral. Die Elektronen sind wesentlich kleiner als Protonen und Neutronen und können sich daher leichter bewegen.

Die elektrische Ladung kann also positiv oder negativ sein. Normalerweise sind in einem Körper gleich viele Protonen wie Elektronen enthalten und der Körper ist elektrisch neutral. Durch Reiben zweier Stoffe kann dieses Gleichgewicht verändert werden, wodurch ein Körper elektrisch geladen wird. Dies passiert beim Reiben von Bernstein, kann aber auch im Alltag auftreten, zum Beispiel wenn man mit Gummisohlen über einen Teppich geht. Dadurch wird eine Person elektrisch geladen und die Ladung entlädt sich dann spürbar beim Berühren eines geerdeten Metallteils, zum Beispiel einer Türklinke.

Kraftwirkung

Ladungen üben Kräfte aufeinander aus, vergleichbar der Schwerkraft. Anders als bei der Schwerkraft sind jedoch bei der elektrischen Ladung nicht nur Anziehungskräfte sondern auch Abstoßungskräfte möglich.

**Bild 2.1** Anziehung und Abstoßung elektrischer Ladungen

Die Richtung der Kraftwirkung hängt von der *Polarität* ab. Ladungen gleicher Polarität, also zwei positive oder zwei negative Ladungen stoßen sich voneinander ab. Ladungen unterschiedlicher Polarität, also eine positive und eine negative Ladung ziehen sich gegenseitig an (Bild 2.1).

In einem elektrisch neutralen Stoff befinden sich gleich viele positive wie negative Ladungen. Dadurch heben sich insgesamt die Anziehungskräfte und Abstoßungskräfte auf. Lediglich, wenn in einem bestimmten Bereich mehr positive oder negative Ladungen vorhanden sind, tritt eine Wirkung nach außen auf.

Formelzeichen und Einheit

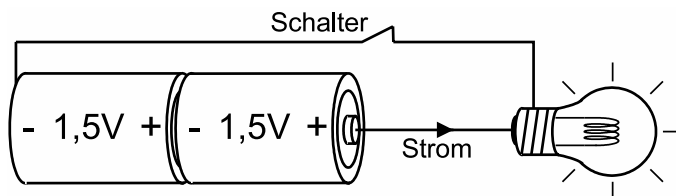
Als Formelzeichen für die Ladung wird in der Elektrotechnik der Buchstabe Q verwendet. Die Einheit der Ladung ist Coulomb, abgekürzt C.

2.2 Strom und Spannung

Taschenlampe als einfacher Stromkreis

Zur Erläuterung von Strom und Spannung soll der in Bild 2.2 dargestellte einfache *Stromkreis* dienen. In einer Taschenlampe ist eine Glühlampe über Leitungen und einen Schalter an zwei Batterien angeschlossen und leuchtet.

Die Batterie übt eine Kraft auf die Ladungsträger aus und treibt sie an. Während die größeren Protonen sich im Leitungsdraht nicht bewegen können, fließen die kleineren Elektronen fast

**Bild 2.2** Prinzipielle Schaltung einer Taschenlampe

ungehindert. Sie bewegen sich von einem Pol der Batterie zur Glühlampe und wieder zurück zum anderen Pol der Batterie. Da in der Glühlampe die Elektronen durch einen sehr dünnen Draht geführt werden, erwärmt sich der Draht durch die Bewegung, glüht und sendet Licht aus.

Strom – Bewegung von Elektronen

Die Bewegung von Elektronen wird als *Strom* bezeichnet. Je mehr Elektronen sich durch eine Leitung bewegen und je schneller sie sind, umso höher ist der Strom.

Als Formelzeichen für den Strom wird der Buchstabe I verwendet. Die Einheit des Stroms ist Ampere, abgekürzt A.

Spannung – Ursache der Bewegung

Die Ursache der Elektronenbewegung wird als *Spannung* bezeichnet. Eine Spannungsquelle hat zwei Anschlüsse, genannt Pole und zieht Elektronen von einem Pol zu dem anderen.

Die Spannung, also die Kraft auf den Strom, entsteht in einer Batterie durch eine chemische Reaktion. Spannung kann aber auch durch andere Effekte hervorgerufen werden, zum Beispiel durch Sonneneinstrahlung auf eine Solarzelle oder durch die Drehbewegung der Achse eines Generators.

Als Formelzeichen für die Spannung wird der Buchstabe U verwendet. Die Einheit der Spannung ist Volt, abgekürzt V.

2.3 Zusammenhang von Strom und Spannung

Elektrischer Widerstand

Wenn Strom durch einen elektrischen Leiter fließt, werden die Elektronen in ihrer Bewegung abgebremst. Dies kann man sich anschaulich wie eine Abbremsung durch Luftwiderstand vorstellen, etwa beim Fahrrad oder Auto. Die Abbremsung des Stroms wird als *elektrischer Widerstand* bezeichnet. Die Metallleitung in der Taschenlampe leitet Strom sehr gut und hat einen geringen elektrischen Widerstand. Die Glühlampe bremst den Strom ab und hat einen höheren elektrischen Widerstand.

Der elektrische Widerstand bestimmt, wie viel Strom in einer Schaltung fließt. Wird an eine Spannungsquelle ein kleiner Widerstand angeschlossen, kann viel Strom fließen. Bei einem hohen Widerstand ist nur ein geringer Stromfluss möglich. Der Strom ist aber auch von der Spannung abhängig. Je höher die Spannung ist, umso höher ist der Strom.

Der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung ist für viele Materialien linear, das heißt, bei doppelter Spannung fließt auch der doppelte Strom. Dieser Zusammenhang wird als *Ohmsches Gesetz* bezeichnet.

Das Ohmsche Gesetz gilt jedoch nicht für alle Materialien. Elektronische Bauelemente sind meist nichtlinear, das heißt, bei doppelter Spannung fließt nicht der doppelte Strom.

Das Formelzeichen für den elektrischen Widerstand ist der Buchstabe R . Die Einheit ist Ohm, abgekürzt durch Ω , den griechischen Buchstaben „Omega“.

Leistung

Durch Elektrizität wird *Leistung* übertragen und kann nutzbringend eingesetzt werden, beispielsweise in der Glühlampe, einem Elektromotor oder einem Elektroherd. Die Leistung berechnet sich aus dem Produkt von Strom und Spannung, das heißt, je höher Strom und/oder Spannung sind, umso mehr Leistung wird übertragen.

Neben der eigentlich gewollten Leistung, der *Nutzleistung*, entsteht oft auch nicht nutzbare *Verlustleistung*, die als Wärme abgegeben wird. Bei einem Motor wird etwa 80 % der elektrischen Leistung genutzt, bei einer Glühlampe hingegen sind es nur etwa 2 %. Der Anteil der Nutzleistung an der gesamten Leistung ist der *Wirkungsgrad*.

Als Formelzeichen für die Leistung wird der Buchstabe P verwendet. Seine Einheit ist Watt, abgekürzt W.

Beispiel Taschenlampe

Der Zusammenhang zwischen Spannung, Strom und Leistung lässt sich am Beispiel der Taschenlampe verdeutlichen. Aus der Batterie wird Leistung an die Glühlampe übertragen. Um eine genügende Leistung und damit Leuchtkraft zu erhalten, wird mit mehreren Batterien eine höhere Spannung erzeugt. Bei alten Batterien sinkt die Spannung und als Folge sinken auch der Strom und die Leuchtkraft.

2.4 Darstellung als Schaltplan

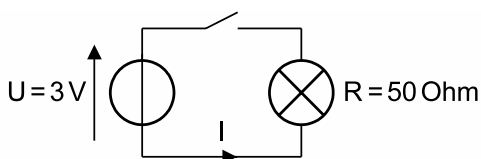


Bild 2.3
Schaltplan der Taschenlampe

Elektrische Schaltungen werden meist als *Schaltplan* (auch Schaltbild) dargestellt. Die oben beschriebene Taschenlampe hat den in Bild 2.3 gezeigten Schaltplan. Auf der linken Seite sind die Batterien als Spannungsquelle mit der Spannung U dargestellt. Die Glühlampe hat einen Widerstand R und ist rechts angegeben. Beide Elemente sind über Leitungen und einen Schalter verbunden.

Ein Schaltplan stellt nur die wichtigen Informationen über eine Schaltung dar. Unnötige Details werden weggelassen. So ist zum Beispiel in Bild 2.3 nicht dargestellt, dass die Spannungsquelle aus zwei Batterien besteht. Derartige Vereinfachungen sind gewollt, da ansonsten ein Schaltplan unübersichtlich wäre.

2.5 Übersicht über Formelzeichen und Einheiten

Tabelle 2.1 Physikalische Größen der Elektronik und ihre Einheiten

Physikalische Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Kurzzeichen der Einheit
Ladung	Q	Coulomb	C
Strom	I	Ampere	A
Spannung	U	Volt	V
Widerstand	R	Ohm	Ω
Leistung	P	Watt	W

Zusammenfassung

Elektrische Ladung kann sich in Form von Elektronen durch elektrisch leitende Materialien bewegen.

Strom entspricht der Bewegung von Ladungsträgern. Je höher der Strom ist, umso mehr Ladungsträger bewegen sich pro Zeiteinheit.

Spannung ist die Kraft auf Ladungsträger. Je höher die Spannung ist, umso stärker werden Ladungsträger angetrieben und umso höher kann der Strom sein.