

Marco Winzker

# Elektronik für Entscheider

Grundwissen für Wirtschaft und Technik

*2. Auflage*

 Springer Vieweg

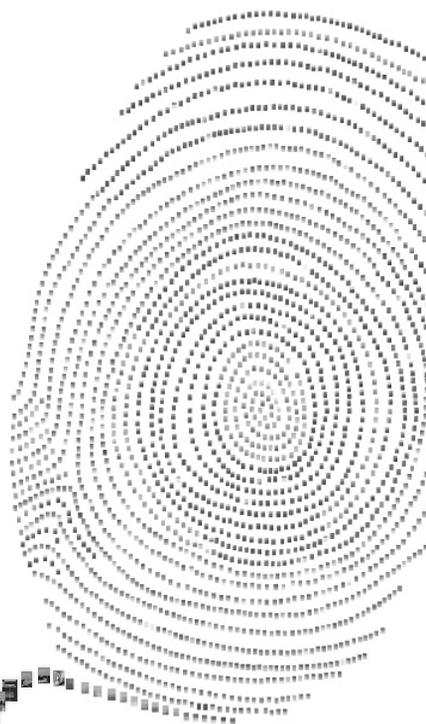
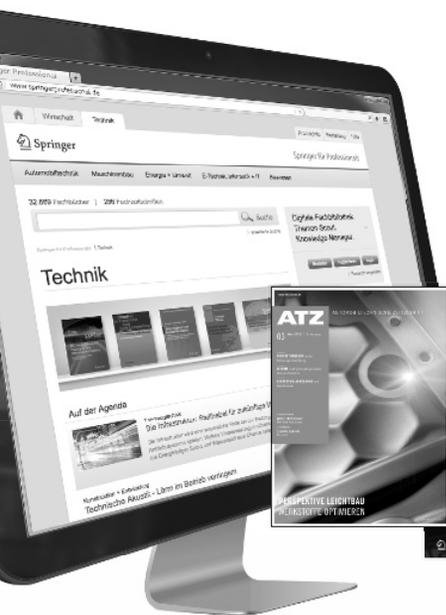
---

# Elektronik für Entscheider

# Lizenz zum Wissen.

Sichern Sie sich umfassendes Technikwissen mit Sofortzugriff auf tausende Fachbücher und Fachzeitschriften aus den Bereichen: Automobiltechnik, Maschinenbau, Energie + Umwelt, E-Technik, Informatik + IT und Bauwesen.

Exklusiv für Leser von Springer-Fachbüchern: Testen Sie Springer für Professionals 30 Tage unverbindlich. Nutzen Sie dazu im Bestellverlauf Ihren persönlichen Aktionscode **C0005406** auf [www.springerprofessional.de/buchaktion/](http://www.springerprofessional.de/buchaktion/)



Jetzt  
30 Tage  
testen!

Springer für Professionals.  
Digitale Fachbibliothek. Themen-Scout. Knowledge-Manager.

-  Zugriff auf tausende von Fachbüchern und Fachzeitschriften
-  Selektion, Komprimierung und Verknüpfung relevanter Themen durch Fachredaktionen
-  Tools zur persönlichen Wissensorganisation und Vernetzung

[www.entschieden-intelligenter.de](http://www.entschieden-intelligenter.de)

Springer für Professionals

 Springer

---

Marco Winzker

# Elektronik für Entscheider

Grundwissen für Wirtschaft und Technik

2., aktualisierte Auflage

Mit Aufgaben und Lösungen sowie  
Anwendungsbeispielen

 Springer Vieweg

Marco Winzker  
Fachbereich Elektrotechnik, Maschinenbau  
und Technikjournalismus  
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg  
Sankt Augustin, Deutschland

ISBN 978-3-8348-0616-1  
DOI 10.1007/978-3-8348-2035-8

ISBN 978-3-8348-2035-8 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2008, 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

# 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 herausuchen, 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*

## **Vorwort zur zweiten Auflage**

Für die zweite Auflage wurden alle technischen Angaben und die Referenzen aktualisiert. Außerdem wurden die Anwendungsbeispiele auf den neuesten Stand gebracht, sodass weiterhin der Bezug zu aktuellen technischen Einsatzfeldern deutlich wird.

Bad Honnef, im März 2017

*Marco Winzker*

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort ..... V

## I Einleitung

**1 Bedeutung der Elektronik ..... 3**  
1.1 Kurze geschichtliche Einordnung ..... 3  
1.2 Gesellschaftliche Bedeutung ..... 5  
1.3 Wirtschaftliche Bedeutung ..... 6

## II Grundwissen

**2 Elektrische Ladung, Strom, Spannung ..... 13**  
2.1 Elektrische Ladung ..... 13  
2.2 Strom und Spannung ..... 14  
2.3 Zusammenhang von Strom und Spannung ..... 15  
2.4 Darstellung als Schaltplan ..... 16  
2.5 Übersicht über Formelzeichen und Einheiten ..... 17

**3 Bauelemente der Elektronik ..... 19**  
3.1 Passive Bauelemente ..... 19  
3.2 Aktive Bauelemente ..... 21  
3.3 Integrierte Schaltungen ..... 23  
3.4 Platinen ..... 24  
3.5 Weitere Komponenten ..... 27

## III Analog- und Digitaltechnik

**4 Analoge Signale ..... 31**  
4.1 Grundformen analoger Signale ..... 31  
4.2 Amplitude und Frequenz ..... 33  
4.3 Frequenzbereiche technischer Systeme ..... 36  
4.4 Analoge Datenübertragung ..... 38

**5 Grundsaltungen der Analogtechnik ..... 41**  
5.1 Schaltungsdarstellung in der Elektrotechnik ..... 41  
5.2 Diodenschaltungen zum Gleichrichten ..... 43  
5.3 Verstärkerschaltungen mit Transistoren ..... 45

<b>6</b>	<b>Digitale Signale</b> .....	<b>49</b>
6.1	Digitaltechnik .....	49
6.2	Zahlendarstellungen und Codes .....	51
6.3	Darstellung und Übertragung digitaler Daten .....	54
6.4	Digitalisierung .....	56
<b>7</b>	<b>Grundsaltungen der Digitaltechnik</b> .....	<b>59</b>
7.1	Verarbeitung von digitalen Daten .....	59
7.2	Schaltungselemente .....	61
7.3	Speicherelemente .....	62
7.4	Implementierung digitaler Schaltungen .....	64

## IV Halbleitertechnik

<b>8</b>	<b>Halbleitertechnik und Dotierung</b> .....	<b>71</b>
8.1	Aufbau der Materie .....	71
8.2	Leiter, Isolator, Halbleiter .....	74
8.3	Elektrische Leitung in Halbleitern .....	75
8.4	Dotierung von Halbleitermaterial .....	77
<b>9</b>	<b>Dioden und Transistoren</b> .....	<b>81</b>
9.1	pn-Übergang .....	81
9.2	Diode .....	84
9.3	Transistor .....	85
9.4	Schaltsymbole .....	87
<b>10</b>	<b>Optoelektronik und Solartechnik</b> .....	<b>89</b>
10.1	Eigenschaften von Licht .....	89
10.2	Optoelektronik .....	89
10.3	Solartechnik .....	91

## V Entwicklung und Fertigung

<b>11</b>	<b>Entwicklung elektronischer Systeme</b> .....	<b>97</b>
11.1	Produktentwicklung .....	97
11.2	Spezifikation und Schaltungskonzept .....	99
11.3	Schaltungsentwurf .....	102
11.4	Verifikation .....	103
11.5	Rechnergestützter Schaltungsentwurf .....	105
<b>12</b>	<b>Fertigung</b> .....	<b>109</b>
12.1	Beschaffung elektronischer Komponenten .....	109
12.2	Fertigungsschritte .....	111
12.3	Auslagerung von Arbeitsschritten .....	116
12.4	Lebensdauer und umweltverträgliche Fertigung .....	117

<b>13 Inbetriebnahme</b> .....	<b>119</b>
13.1 Methodik .....	119
13.2 Ausstattung der Arbeitsplätze .....	121
13.3 Messgeräte .....	123
<b>14 Wirtschaftliche Betrachtungen</b> .....	<b>127</b>
14.1 Markteinführung von Produkten .....	127
14.2 Investitionen und Profit .....	129
14.3 Disruptive Technologien .....	131
14.4 Patente und ihre Bedeutung .....	133

## **VI Mikro- und Nanoelektronik**

<b>15 Integrierte Schaltungen</b> .....	<b>139</b>
15.1 Überblick .....	139
15.2 Aufbau integrierter Schaltungen .....	143
15.3 Entwicklung .....	145
<b>16 Chip-Technologie</b> .....	<b>149</b>
16.1 CMOS-Technologie .....	149
16.2 Funktionsprinzip der CMOS-Technologie .....	150
16.3 Physikalischer Aufbau .....	152
16.4 Herstellung .....	156
<b>17 Halbleiterspeicher</b> .....	<b>159</b>
17.1 Grundstruktur .....	159
17.2 Flüchtige Speicher .....	160
17.3 Nichtflüchtige Speicher .....	162

## **VII Automobilelektronik und Embedded System**

<b>18 Elektronik im Kraftfahrzeug</b> .....	<b>167</b>
18.1 Überblick .....	167
18.2 Anforderungen an Automobilelektronik .....	169
18.3 Steuerung und Regelung .....	171
18.4 Anwendungsgebiete .....	172
<b>19 Bussysteme in der Automobiltechnik</b> .....	<b>175</b>
19.1 Grundlagen von Bussystemen .....	175
19.2 Eigenschaften aktueller Bussysteme .....	178
<b>20 Embedded System und Mikrocontroller</b> .....	<b>181</b>
20.1 Anwendungsgebiete .....	181
20.2 Begriffsbestimmung .....	182
20.3 Software-Entwicklung für Embedded System .....	184

**VIII Anhang**

<b>A Fragen zur Selbstkontrolle .....</b>	<b>189</b>
<b>B Rechnen in der Elektronik .....</b>	<b>195</b>
<b>C Ausführliche Anwendungsbeispiele .....</b>	<b>201</b>
C.1 Analogtechnik – Dämmerungsschalter .....	201
C.2 Digitaltechnik – Elektronischer Würfel .....	203
C.3 Fertigung – USB-Stick .....	207
C.4 Embedded System – Stoppuhr .....	212
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>219</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>221</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>224</b>
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>225</b>

# **I 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.

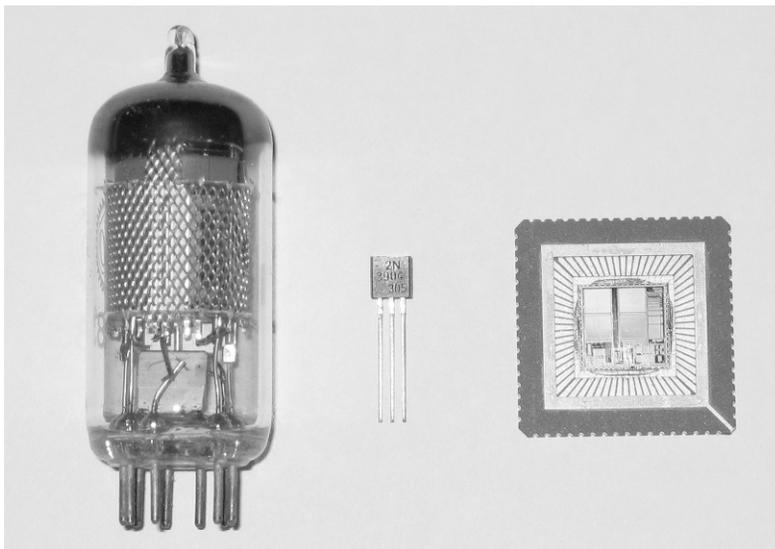
## Heute

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 über zehn Milliarden 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.

## 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.



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

Die Mikro- und Nanotechnik gilt als Hauptimpulsgeber für Innovationen [9]. 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 der MP3-Codierung ist ein Beispiel für gesellschaftliche Veränderungen durch Elektronik.

### Beispiel: MP3-Codierung

Technisch ermöglicht wurde die MP3-Codierung sowie portable MP3-Player durch mehrere wesentliche Entwicklungen. Dies ist zunächst der eigentliche 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. Eine weitere wichtige Entwicklung sind Flash-Speicher, die es ermöglichen, tausende von Liedern zuverlässig auf einem kleinen Elektronikbaustein zu speichern. Außerdem steht durch das Internet ein Medium bereit, auf dem komprimierte Musik sehr einfach transportiert werden kann.

Mit der Tauschbörse Napster entwickelte sich ein Forum zum Austausch von Musik, bei dem allerdings die Künstler und die Musikindustrie übergangen und um Ihren Verdienst gebracht wurden. Dies rief Protest hervor und führte in vielen Ländern zu verschärften Gesetzen und neuen Regelungen zum Urheberrecht.

Mittlerweile wird Musik immer weniger auf CD, sondern mehr als Download verkauft oder über Streaming gemietet. Während man früher ganze Alben von Künstlern kaufte, ist es heute einfacher sich einzelne Lieder herauszupicken oder bestimmte Musikgenres zu abonnieren. Als weitere Entwicklung ist mit Podcasting eine neue Form der Kommunikation entstanden.

### **Beispiel: Elektronische Überwachung**

Hohe Rechenleistung und Datenkommunikation über das Internet bieten auch für die Überwachung neue Möglichkeiten. Überwachungskameras sind seit längerem an vielen öffentlichen Plätzen zu finden, aber noch immer wird über ihren Einsatz debattiert. In welchem Maße können sie Straftaten verhindern oder zumindest bei deren Aufklärung helfen? Werden unbeteiligte Bürger in ihrer Freiheit unzulässig eingeschränkt?

Für diese Diskussion sollte auch die zukünftige Entwicklung der Technik bedacht werden. Durch die Weiterentwicklung der Elektronik wird es zukünftig möglich sein, dass Kameras individuelle Personen identifizieren, mit Fahndungsfotos vergleichen oder über mehrere Kamerastandorte hinweg verfolgen. Durch Bewegungs- und Verhaltenserkennung können vermeintlich verdächtige Aktivitäten identifiziert werden. Eine Diskussion über elektronische Überwachung sollte auch solche zukünftigen Szenarien rechtzeitig gesellschaftlich hinterfragen.

### **Elektronik verändert die Welt**

Es lassen sich viele weitere Beispiele finden, bei denen Fortschritte in der Elektronik zu kleineren oder größeren gesellschaftlichen Veränderungen führen. Autonom fahrende Kraftfahrzeuge können die Verkehrssicherheit erhöhen, legen aber auch große Verantwortung in die Hände einer Maschine und den Menschen, die diese entwickeln.

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 an Wertschöpfung, Exporten und Patenten**

Schaut man sich die reinen Zahlen an, beträgt der Anteil der Elektroindustrie an der Wertschöpfung der Bundesrepublik Deutschland etwa 3 %. Diese Wertschöpfung erfolgt vor allem



**Bild 1.2**  
Überwachungskamera –  
Vereitelung von Straftaten oder  
Verlust der Privatsphäre?

in Bereichen, die international sehr konkurrenzfähig sind, denn der Anteil der Elektroindustrie an Exporten beträgt 14,6 %. Die hohe Innovationskraft lässt sich an dem Anteil an Patenten von 40 % erkennen. (Daten für das Jahr 2015 nach [9].)

Die Elektronik ist somit eine *Schlüsseltechnologie*, wird also in Geräte eingebaut und wertet diese Produkte auf oder macht sie erst möglich. Die Wirkung der Elektronik geht somit 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 40 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 grafische LCD-Anzeige und Touch-Steuerung 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.



**Bild 1.3**  
Eine elektronische Steuerung verbessert das Fahrverhalten in Kurven  
(Foto: Bosch)

### **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 Smartphone.

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 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.

### **Zukunftsfeld: Internet der Dinge**

Für das Zukunftsfeld *Internet der Dinge* („Internet of Things“) werden große Potenziale für den Standort Deutschland gesehen [10]. Dabei vernetzen sich Geräte selbstständig untereinander. Hierfür werden unter anderem Technologien wie Mobilfunk, berührungslose Objekterkennung mit RFID („Radio-Frequency Identification“), eingebettete Systeme und verlustleistungssarme Elektronik genutzt.

In der industriellen Fertigung erfolgt unter dem Stichwort „Industrie 4.0“ bereits eine Vernetzung zwischen einzelnen Maschinen. Damit ist eine stärkere Individualisierung bei der

Produktion möglich. Ebenfalls können Maschinen sich selbst überwachen und bei benötigter Wartung den Service informieren.

Im Consumerbereich wurde die Vision, dass der Kühlschrank selbstständig Milch bestellt, teilweise belächelt. Mittlerweile gibt es eine kleine, mit dem WLAN verbundene „elektronische Taste“, mit der Verbrauchsmaterial, wie Waschmittel oder Taschentücher, einfach bestellt werden kann. Mit einer Kommunikation zwischen Auto und Wohnung, kann die Heizung eingeschaltet werden, wenn man von der Arbeit nach Hause fährt. Ob und wie sich diese Anwendungen durchsetzen können, muss sich noch zeigen.

Bestehende und zukünftige Anwendungen der Elektronik sind somit Grundlage für die Konkurrenzfähigkeit unserer Wirtschaft. Das Verständnis für Elektronik und ihren Einsatz eröffnet 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.

## **II 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.

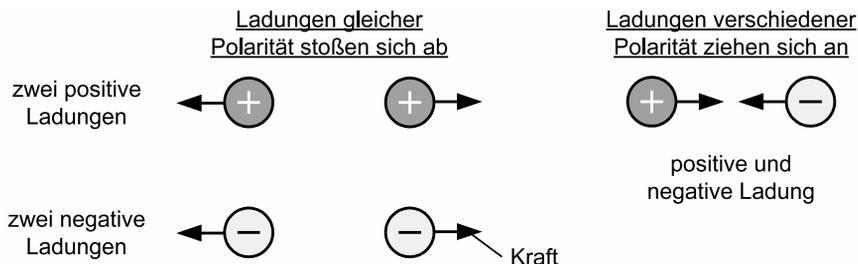
Die elektrische Ladung kann also positiv oder negativ sein. Normalerweise sind in einem Körper gleich viele Protonen wie Elektronen enthalten und der Körper ist elektrisch neutral. Durch Reiben zweier Stoffe kann dieses Gleichgewicht verändert werden, wodurch ein Körper elektrisch geladen wird. Dies 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.

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.



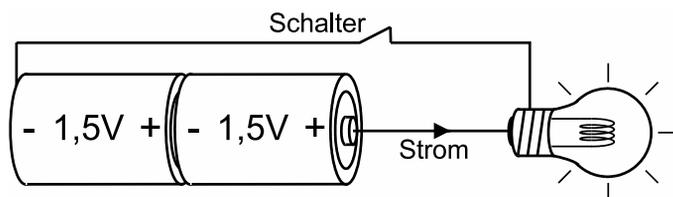
**Bild 2.1** Anziehung und Abstoßung elektrischer Ladungen

### 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



**Bild 2.2** Prinzipielle Schaltung einer Taschenlampe

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 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 Metalleitung 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  $\Omega$ , 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.