

Marco Winzker

Elektronik für Entscheider

Grundwissen für Wirtschaft und Technik

3. Auflage

 Springer Vieweg



Elektronik für Entscheider

Marco Winzker

Elektronik für Entscheider

Grundwissen für Wirtschaft und Technik

3. aktualisierte Auflage

Mit Aufgaben und Lösungen sowie Anwendungsbeispielen

Marco Winzker
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Sankt Augustin, Deutschland

ISBN 978-3-658-40090-3 ISBN 978-3-658-40091-0 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-40091-0>

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

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2008, 2017, 2023

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 allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

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.

Planung/Lektorat: Reinhard Dapper

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

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

Vorwort zur dritten Auflage

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

Für die dritte Auflage wurde der Abschnitt „Elektronik in der Energietechnik“ aufgenommen, um die Bedeutung dieses Technikfeldes zu berücksichtigen.

Bad Honnef
im März 2023

Marco Winzker

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 nichttechnische 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

Inhaltsverzeichnis

Teil I Einleitung

1	Bedeutung der Elektronik	3
1.1	Kurze geschichtliche Einordnung	3
1.2	Gesellschaftliche Bedeutung	6
1.3	Wirtschaftliche Bedeutung	7

Teil 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	17
2.5	Übersicht über Formelzeichen und Einheiten	18
3	Bauelemente der Elektronik	19
3.1	Passive Bauelemente	19
3.2	Aktive Bauelemente	22
3.3	Integrierte Schaltungen	23
3.4	Platinen	25
3.5	Weitere Komponenten	28

Teil III Analog- und Digitaltechnik

4	Analoge Signale	33
4.1	Grundformen analoger Signale	33
4.2	Amplitude und Frequenz	36
4.3	Frequenzbereiche technischer Systeme	38
4.4	Analoge Datenübertragung	40

5	Grundschaltungen der Analogtechnik	43
5.1	Schaltungsdarstellung in der Elektrotechnik	43
5.2	Diodenschaltungen zum Gleichrichten	45
5.3	Verstärkerschaltungen mit Transistoren	48
6	Digitale Signale	53
6.1	Digitaltechnik	53
6.2	Zahlendarstellungen und Codes	56
6.3	Darstellung und Übertragung digitaler Daten	58
6.4	Digitalisierung	61
7	Grundschaltungen der Digitaltechnik	63
7.1	Verarbeitung von digitalen Daten	63
7.2	Schaltungselemente	66
7.3	Speicherelemente	67
7.4	Implementierung digitaler Schaltungen	69
 Teil IV Halbleitertechnik		
8	Halbleitertechnik und Dotierung	75
8.1	Aufbau der Materie	75
8.2	Leiter, Isolator, Halbleiter	78
8.3	Elektrische Leitung in Halbleitern	80
8.4	Dotierung von Halbleitermaterial	82
9	Dioden und Transistoren	87
9.1	pn-Übergang	87
9.2	Diode	90
9.3	Transistor	92
9.4	Schaltsymbole	94
10	Optoelektronik	97
10.1	Eigenschaften von Licht	97
10.2	Optoelektronik	98
 Teil V Elektronik in der Energietechnik		
11	Energietechnik	103
11.1	Erzeugung elektrischer Energie	103
11.2	Übertragung elektrischer Energie	105
11.3	Speicherung elektrischer Energie	106
11.4	Nutzung elektrischer Energie	108
11.5	Wasserstoff zur Energieübertragung und Speicherung	108

12	Energieelektronik	111
12.1	Bauelemente der Leistungselektronik	111
12.2	Solartechnik	112
12.3	Umwandlung elektrischer Energie	115
Teil VI Entwicklung und Fertigung		
13	Entwicklung elektronischer Systeme	121
13.1	Produktentwicklung	121
13.2	Spezifikation und Schaltungskonzept	123
13.3	Schaltungsentwurf	126
13.4	Verifikation	128
13.5	Rechnergestützter Schaltungsentwurf	129
14	Fertigung	133
14.1	Beschaffung elektronischer Komponenten	133
14.2	Fertigungsschritte	135
14.3	Auslagerung von Arbeitsschritten	140
14.4	Lebensdauer und umweltverträgliche Fertigung	142
15	Inbetriebnahme	145
15.1	Methodik	145
15.2	Ausstattung der Arbeitsplätze	148
15.3	Messgeräte	149
16	Wirtschaftliche Betrachtungen	155
16.1	Markteinführung von Produkten	155
16.2	Investitionen und Profit	157
16.3	Disruptive Technologien	159
16.4	Patente und ihre Bedeutung	161
Teil VII Mikro- und Nanoelektronik		
17	Integrierte Schaltungen	167
17.1	Überblick	167
17.2	Aufbau integrierter Schaltungen	171
17.3	Entwicklung	173
18	Chip-Technologie	177
18.1	CMOS-Technologie	177
18.2	Funktionsprinzip der CMOS-Technologie	178
18.3	Physikalischer Aufbau	181
18.4	Herstellung	184

19 Halbleiterspeicher	187
19.1 Grundstruktur	187
19.2 Flüchtige Speicher	188
19.3 Nichtflüchtige Speicher	190
Teil VIII Automobilelektronik und Embedded System	
20 Elektronik im Kraftfahrzeug	195
20.1 Überblick	195
20.2 Anforderungen an Automobilelektronik	197
20.3 Steuerung und Regelung	199
20.4 Anwendungsgebiete	200
21 Bussysteme in der Automobiltechnik	203
21.1 Grundlagen von Bussystemen	203
21.2 Eigenschaften aktueller Bussysteme	206
22 Embedded System und Mikrocontroller	209
22.1 Anwendungsgebiete	209
22.2 Begriffsbestimmung	210
22.3 Software-Entwicklung für Embedded System	212
A Fragen zur Selbstkontrolle	215
B Rechnen in der Elektronik	221
C Ausführliche Anwendungsbeispiele	227
Stichwortverzeichnis	247

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Elektronenröhre, Transistor, integrierte Schaltung – Entwicklungsschritte der Elektronik im 20. Jahrhundert	5
Abb. 1.2	Überwachungskamera – Vereitelung von Straftaten oder Verlust der Privatsphäre?	7
Abb. 1.3	Eine elektronische Steuerung verbessert das Fahrverhalten in Kurven. (Foto: Bosch)	9
Abb. 2.1	Anziehung und Abstoßung elektrischer Ladungen	14
Abb. 2.2	Prinzipielle Schaltung einer Taschenlampe	15
Abb. 2.3	Schaltplan der Taschenlampe.	17
Abb. 3.1	Widerstände in verschiedenen Bauformen (von links: SMD-Widerstände, bedrahtete Widerstände, Hochlastwiderstände)	20
Abb. 3.2	Kondensatoren in verschiedenen Bauformen	21
Abb. 3.3	Spule und Kondensatoren auf einem Computer-Motherboard	22
Abb. 3.4	Diode – der Farbring gibt die Sperrrichtung an.	23
Abb. 3.5	Transistoren in verschiedenen Bauformen.	24
Abb. 3.6	Mikrochips in verschiedenen Gehäusen	25
Abb. 3.7	Platine mit Stecker für Steckverbinder und starr-flexible Platine. (Fotos: Ilfa GmbH)	26
Abb. 3.8	Querschnitt durch eine 4-Lagen-Platine	26
Abb. 3.9	Durchsteckmontage (links) und Oberflächenmontage (rechts)	27
Abb. 3.10	Gehäuse mit Ball-Grid-Array auf einer Platine.	27
Abb. 4.1	Eine Schallwelle wird durch ein Mikrofon in Spannungswerte gewandelt	34
Abb. 4.2	Die Sinusfunktion ist die Grundform analoger Signale.	34
Abb. 4.3	Nichtsinusförmige Signale bestehen aus der Überlagerung mehrerer Sinusfunktionen.	35
Abb. 4.4	Zeitlicher Verlauf der 230 V, 50 Hz Netzspannung in Deutschland	37
Abb. 4.5	Frequenzbereiche technischer Systeme und Anwendungen	39
Abb. 4.6	Übertragung analoger Signale durch Modulation	41

Abb. 5.1	Häufig verwendete Schaltsymbole für Schaltpläne	44
Abb. 5.2	Durchfluss- und Sperrrichtung im Symbol einer Diode	45
Abb. 5.3	Einfache Gleichrichterschaltung	46
Abb. 5.4	Schaltung eines Steckernetzteils	47
Abb. 5.5	Verstärker in einem Megaphon	48
Abb. 5.6	Analogie von Transistor und Ventil	49
Abb. 5.7	Prinzip eines Transistorverstärkers	50
Abb. 5.8	Komplette Schaltung eines Verstärkers mit zwei Transistoren	50
Abb. 6.1	Befestigung in einem „digitalen“ und einem „analogen“ Regal	54
Abb. 6.2	Binärdaten werden durch Spannungspegel dargestellt (hier im LVTTTL-Standard)	58
Abb. 6.3	Differentielle Datenübertragung im Vergleich zur Einzelleitung	59
Abb. 7.1	Funktionstabellen für Nicht-, Und-, Oder-, EXOR-Funktion	65
Abb. 7.2	Symbole für Inverter sowie Und-, Oder-, EXOR-Gatter	66
Abb. 7.3	CMOS-Schaltung für ein Und-Gatter	67
Abb. 7.4	Symbol für das Speicherelement D-Flip-Flop (D-FF).	67
Abb. 7.5	Beispiel für den Zeitverlauf einer D-FF-Ansteuerung.	68
Abb. 7.6	IC 7408 mit vier Und-Gattern	69
Abb. 7.7	Programmierbare Schaltung (FPGA)	70
Abb. 8.1	Atomaufbau nach dem Bohrschen Atommodell	76
Abb. 8.2	Kristallgitter eines Halbleiters	77
Abb. 8.3	Kristallgitter eines Halbleiters in zweidimensionaler Darstellung	77
Abb. 8.4	Halbleiter in monokristalliner, polykristalliner und amorpher Struktur	78
Abb. 8.5	Leiter, Isolator und Halbleiter	79
Abb. 8.6	Elektronenleitung in einem Halbleiter.	80
Abb. 8.7	Löcherleitung in einem Halbleiter	81
Abb. 8.8	Halbleiter dotiert mit 5-wertigen Atomen	83
Abb. 8.9	Halbleiter dotiert mit 3-wertigen Atomen	84
Abb. 9.1	pn-Übergang – Halbleiter mit zwei verschiedenen Dotierungen.	88
Abb. 9.2	Detailansicht des pn-Übergangs	88
Abb. 9.3	Die Sperrschicht am pn-Übergang ist abhängig von der äußeren Spannung.	89
Abb. 9.4	Kennlinien einer Diode und eines Widerstandes	90
Abb. 9.5	Kennlinie der Diode 1N5059. (Quelle: NXP)	91
Abb. 9.6	Dotierungsbereiche für Diode und Transistor	92
Abb. 9.7	Stromfluss in einem Bipolartransistor	92
Abb. 9.8	Ansteuerung eines Feldeffekttransistors	93
Abb. 9.9	Schaltsymbole für Transistoren	94
Abb. 10.1	Schaltymbol und Foto von Leuchtdiode und Photodiode	99
Abb. 11.1	Prinzip eines elektrischen Generators	104
Abb. 11.2	Freilandleitung mit drei Leitungen für Dreiphasenwechselstrom	105

Abb. 11.3	Prinzip eines Akkumulators	108
Abb. 12.1	Phasenanschnittsteuerung mit Thyristor	112
Abb. 12.2	Prinzipieller Aufbau einer Solarzelle	113
Abb. 12.3	Solarzellen, monokristallin (links) und polykristallin (Mitte und rechts). (Foto: SolarWorld AG, Bonn)	113
Abb. 12.4	Photovoltaikanlage mit zwei Solarmodulen und Wechselrichter	115
Abb. 12.5	Funktionsprinzip eines Wechselrichters	116
Abb. 12.6	Pulsweitenmodulation im Wechselrichter	116
Abb. 13.1	Ablauf der Produktentwicklung	122
Abb. 13.2	Magisches Dreieck aus Qualität, Kosten und Zeit	123
Abb. 13.3	Blockschaltbilder zweier Konzepte für einen USB-Stick	126
Abb. 13.4	Ausschnitt aus einem Schaltplan. (Quelle: Freescale, jetzt NXP)	127
Abb. 13.5	Oberste Verdrahtungslage einer Platine für einen USB-Stick. (Quelle: Freescale, jetzt NXP)	127
Abb. 13.6	Schaltplaneingabe mit EDA-Tool. (Quelle: Cadence)	130
Abb. 14.1	Platinenfertigung in Subtraktivtechnik	136
Abb. 14.2	Galvanisierungsanlage. (Foto: Bungard Elektronik)	137
Abb. 14.3	Gurt mit SMD-Bausteinen sowie Stange und Tray mit ICs	137
Abb. 14.4	Bestückungsautomat. (Foto: Fritsch GmbH)	138
Abb. 14.5	Wellenlöten	139
Abb. 14.6	Produktionslinie für die Elektronikfertigung (Bild: www. surfacemountprocess.com)	140
Abb. 14.7	Badewannenkurve der Ausfallrate elektronischer Geräte	142
Abb. 15.1	Blockschaltbild eines USB-Sticks	146
Abb. 15.2	Elektroarbeitsplatz. (Foto: Elabo)	149
Abb. 15.3	Videogenerator zur Erzeugung von Testbildern. (Foto: Quantum)	149
Abb. 15.4	Multimeter in verschiedener Ausstattung. (Fotos: Conrad)	150
Abb. 15.5	Oszilloskop. (Foto: Agilent)	151
Abb. 15.6	Logikanalysator. (Foto: Tektronix)	151
Abb. 15.7	Analyse einer USB-Übertragung mit einem Protokollanalysator. (Quelle: LeCroy)	152
Abb. 15.8	Vergleich der Informationen von Oszilloskop, Logikanalysator und Protokollanalysator	152
Abb. 16.1	Kosten, Ertrag und Gewinn für ein Projekt	158
Abb. 17.1	Transistor im Elektronenmikroskop. (Foto: IBM)	169
Abb. 17.2	Das Moore'sche Gesetz beschreibt die stetige Zunahme an Transistoren je integrierter Schaltung	171
Abb. 17.3	Silizium-Wafer. (Foto: Intel)	172
Abb. 17.4	Die mit Bond-Drähten im geöffneten Gehäuse. (Foto: IMEC, Belgien)	173
Abb. 18.1	Grundprinzip und reales Schaltbild eines NAND-Gatters	178

Abb. 18.2	Vier Möglichkeiten der Ansteuerung eines NAND-Gatters	179
Abb. 18.3	Funktionstabelle und Symbol eines NAND-Gatters	180
Abb. 18.4	Layout eines n-Kanal Feldeffekttransistors	181
Abb. 18.5	Layout eines NAND-Gatters	182
Abb. 18.6	Teil eines Chip-Layouts. (Quelle: Infineon)	183
Abb. 18.7	Chip-Foto eines Computer-Prozessors. (Foto: AMD)	184
Abb. 18.8	Substrat vor (links) und während (rechts) der Dotierung von Source und Drain eines CMOS-Transistors	185
Abb. 19.1	Grundstruktur eines Halbleiterspeichers	188
Abb. 19.2	SRAM-Speicherzelle	189
Abb. 19.3	DRAM-Speicherzelle	189
Abb. 19.4	Trench-Kondensator eines DRAMs im Elektronenmikroskop, rechts im Detail. (Fotos: Qimonda/Nanya)	190
Abb. 19.5	CMOS-Transistor mit Floating-Gate für Flash-Speicher	190
Abb. 19.6	Kristallstruktur eines FRAM-Speichermaterials	191
Abb. 20.1	Ein elektronisches Fahrstabilitätssystem (unten) verbessert die Stabilität in kritischen Fahrsituationen. (Foto: Knorr-Bremse)	196
Abb. 20.2	Bedienelemente einer Fahrzeugheizung	199
Abb. 20.3	Unit-Injector-System (Einspritzpumpe und Einspritzdüse) mit elektronischem Steuergerät. (Foto: Bosch)	201
Abb. 21.1	Bedienelemente in der Fahrertür eines PKWs. (Foto: Volkswagen)	204
Abb. 21.2	Ansteuerung einer Fahrzeugtür über einen Datenbus	205
Abb. 21.3	Einfaches Datenwort zur Übertragung von Informationen	206
Abb. 22.1	Rechnerarchitektur nach von Neumann.	210
Abb. 22.2	Software-Entwicklung mit Entwicklungsrechner und Zielsystem	213
Abb. C.1	Dämmerungsschalter mit Transistorverstärker	228
Abb. C.2	Zwei mögliche Fälle der Ansteuerung des Transistorverstärkers	228
Abb. C.3	Zustandsübergangsdiagramm des Würfels	230
Abb. C.4	Elektronischer Würfel als Digitalschaltung.	231
Abb. C.5	Werte der Digitalschaltung im Zustand B mit der Codierung ,10 ⁴	231
Abb. C.6	Simulation des elektronischen Würfels	232
Abb. C.7	Im Referenzdesign beschriebener USB-Stick. (Foto: Freescale, jetzt NXP)	233
Abb. C.8	Schaltplan des Referenzdesigns für den USB-Stick. (Quelle: Freescale, jetzt NXP).	234
Abb. C.9	Platinenlayout des USB-Sticks mit vier Lagen. (Quelle: Freescale, jetzt NXP).	236
Abb. C.10	Stoppuhr.	238
Abb. C.11	Flussdiagramm für die Software einer Stoppuhr	239

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Physikalische Größen der Elektronik und ihre Einheiten.	18
Tab. 4.1	Gebräuchliche Vorsätze für Einheiten.	38
Tab. 6.1	Zweierpotenzen von 1 bis 10	56
Tab. 7.1	Alternativen zur Implementierung digitaler Schaltungen.	71
Tab. C.1	Zustandscodierung des Würfels	230
Tab. C.2	Stückliste des USB-Sticks. (Quelle: Freescale, jetzt NXP)	237

Teil I
Einleitung



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 Magnethöhle 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 Abb. 1.1.

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

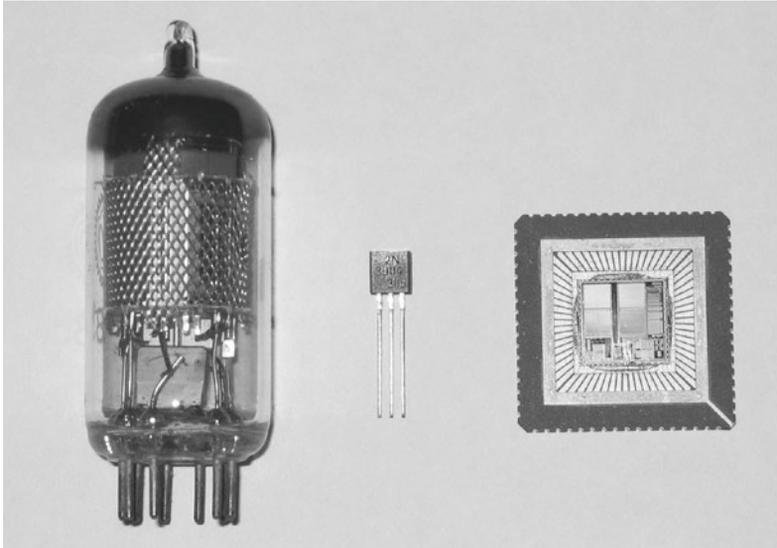


Abb. 1.1 Elektronenröhre, Transistor, integrierte Schaltung – Entwicklungsschritte der Elektronik im 20. Jahrhundert

Schaltung, zum Beispiel einem Computer-Prozessor, finden heute bis zu fünfzig Milliarden Transistoren Platz.

Ermöglicht wurde diese Entwicklung durch kleine wie große Verbesserungen und Ideen aus Physik, Chemie und Ingenieurwissenschaft. Ein Ende dieser kontinuierlichen Leistungssteigerung wird für die nahe Zukunft nicht erwartet.

Zukunft der Elektronik

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

Die Mikro- und Nanotechnik gilt als Hauptimpulsgeber für Innovationen [10]. 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 Musikschrift 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 kaum noch 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 [Abb. 1.2](#), 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.

Abb. 1.2 Überwachungskamera – Vereitelung von Straftaten oder Verlust der Privatsphäre?



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

Die deutsche Elektro- und Digitalindustrie erzeugt laut ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie) ein Zehntel der dt. Industrieproduktion, welches etwa 3% des Bruttoinlandsprodukts beträgt. Diese Wertschöpfung erfolgt vor allem im Bereich Industriegüter, wie Automation, Energietechnik, Medizintechnik. Weitere Produkte sind Halbleiter und Gebrauchsgüter, wie Elektrohausgeräte und Unterhaltungselektronik. Die Produkte haben eine hohe Innovationskraft; 3 von 4 Unternehmen geben regelmäßige

Produkt- oder Prozessinnovationen an und es erfolgen 13.500 Patentanmeldungen pro Jahr. (Daten für das Jahr 2020 nach [10].)

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 50 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.

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 Abb. 1.3.

Erwähnt werden müssen jedoch auch die Nachteile eines erhöhten Elektronikanteils im Automobil. Ein steigender Anteil an Störungen war zwischenzeitlich auf die Elektronik

Abb. 1.3 Eine elektronische Steuerung verbessert das Fahrverhalten in Kurven. (Foto: Bosch)



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 Umweltauflagen, Sicherheitsanforderungen und erhöhter Komfort oft nur durch leistungsfähige Elektronik zu erfüllen sind.

Zukunftsfeld: Internet der Dinge

Das Zukunftsfeld *Internet der Dinge* („Internet of Things“) bietet Potenziale für den Standort Deutschland [11]. Dabei vernetzen sich Geräte selbstständig untereinander. Hierfür werden unter anderem Technologien wie Mobilfunk, berührungslose Objekterkennung mit RFID („Radio-Frequency Identification“), eingebettete Systeme und verlustleistungsarme 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. Auch eine „elektronische Taste“, mit der Verbrauchsmaterial einfach bestellt wird, konnte sich nicht durchsetzen. Dafür sind mittlerweile sprachgesteuerte Assistenten verfügbar, um Einkäufe zu tätigen, aber auch zur Steuerung von Musik und Heizung. Auch eine Anbindung an mobile Geräte ist möglich, so dass die Türsprechanlage mit Kamera aus der Ferne verfügbar ist. Manche Anwendungen werden momentan noch durch eine begrenzte Anzahl an Enthusiasten genutzt, bieten aber Potential für breite Nutzung.

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