



Jonathan Bartlett

Elektronik für Einsteiger

Eine praktische Einführung in
Schaltpläne, Schaltkreise und
Mikrocontroller



Springer Vieweg

ELEKTRONIK FÜR EINSTEIGER

EINE PRAKTISCHE EINFÜHRUNG
IN SCHALTPLÄNE, SCHALTKREISE UND
MIKROCONTROLLER

Jonathan Bartlett



Springer Vieweg

Elektronik für Einsteiger: Eine praktische Einführung in Schaltpläne, Schaltkreise und Mikrocontroller

Jonathan Bartlett

Tulsa, USA

ISBN-13 (pbk): 978-3-662-66242-7

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-66243-4>

ISBN-13 (elektronisch): 978-3-662-66243-4

Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an APress Media, LLC, ein Teil von Springer Nature 2023

Dieses Werk unterliegt dem Urheberrecht. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Wiedergabe von Abbildungen, des Vortrags, der Sendung, der Vervielfältigung auf Mikrofilm oder in sonstiger Weise sowie der Funksendung, der Speicherung und Wiedergabe von Informationen, der elektronischen Verarbeitung, der Funksoftware und ähnlicher Verfahren, gleichgültig ob diese Verfahren bereits bekannt sind oder erst noch entwickelt werden, sind dem Verlag vorbehalten.

In diesem Buch können markenrechtlich geschützte Namen, Logos und Bilder vorkommen. Anstatt bei jedem Vorkommen eines markenrechtlich geschützten Namens, Logos oder Bildes ein Markensymbol zu verwenden, verwenden wir die Namen, Logos und Bilder nur in redaktioneller Weise und zum Nutzen des Markeninhabers, ohne die Absicht einer Verletzung der Marke.

Die Verwendung von Handelsnamen, Warenzeichen, Dienstleistungsmarken und ähnlichen Begriffen in dieser Veröffentlichung, auch wenn sie nicht als solche gekennzeichnet sind, ist nicht als Meinungsäußerung darüber zu verstehen, ob sie Gegenstand von Eigentumsrechten sind oder nicht.

Obwohl die Ratschläge und Informationen in diesem Buch zum Zeitpunkt der Veröffentlichung als wahr und richtig angesehen werden, können weder die Autoren noch die Herausgeber noch der Verlag eine rechtliche Verantwortung für etwaige Fehler oder Auslassungen übernehmen. Der Herausgeber übernimmt keine Garantie, weder ausdrücklich noch stillschweigend, in Bezug auf das hier enthaltene Material.

Geschäftsführender Direktor, Apress Media LLC: Welmoed Spahr

Akquisitionsredakteurin: Natalie Pao

Entwicklungsredakteur: James Markham

Koordinierender Redakteur: Jessica Vakili

Weltweit an den Buchhandel vertrieben von Springer Science+Business Media New York, 233 Spring Street, 6th Floor, New York, NY 10013. Telefon 1-800-SPRINGER, Fax (201) 348-4505, E-Mail orders-ny@springer-sbm.com oder www.springeronline.com. Apress Media, LLC ist eine kalifornische LLC und das einzige Mitglied (Eigentümer) ist Springer Science + Business Media Finance Inc (SSBM Finance Inc). SSBM Finance Inc ist eine Gesellschaft nach **Delaware**.

Für Informationen über Übersetzungen wenden Sie sich bitte an booktranslations@springernature.com; für Nachdruck-, Taschenbuch- oder Audiorechte wenden Sie sich bitte an bookpermissions@springernature.com.

Apress-Titel können in großen Mengen für akademische Zwecke, Unternehmen oder Werbezwecke erworben werden. Für die meisten Titel sind auch eBook-Versionen und -Lizenzen erhältlich. Weitere Informationen finden Sie auf unserer Webseite für Print- und eBook-Massenverkäufe unter <http://www.apress.com/bulk-sales>.

Jeglicher Quellcode oder anderes ergänzendes Material, auf das der Autor in diesem Buch verweist, ist für die Leser auf GitHub über die Produktseite des Buches verfügbar, die sich unter www.apress.com/978-3-662-66242-7 befindet. Für weitere Informationen besuchen Sie bitte <http://www.apress.com/source-code>.

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Dieses Buch ist Forrest M. Mims III gewidmet, dessen „Engineer's Mini-Notebook“-Buchreihe ich als Jugendlicher ununterbrochen gelesen habe und dessen Arbeit als Bürgerwissenschaftler mich und viele andere inspiriert hat.

Inhaltsverzeichnis

Über den Autor	VII
Über den technischen Prüfer	IX
Danksagungen	XI
Kapitel 1: Einführung	1
1.1 Arbeiten mit Beispielen	2
1.2 Erstes Handwerkzeug und Zubehör	3
1.3 Sicherheitsrichtlinien	5
1.4 Elektrostatische Entladung	6
1.5 Richtiges Benutzen des Multimeters	6
Kapitel 2: Der Umgang mit Einheiten	9
2.1 SI-Einheiten	10
2.2 Skalierungseinheiten	11
2.3 Verwendung von Abkürzungen	13
2.4 Signifikante Zahlen	14
2.5 Anwenden, was Sie gelernt haben	16
Teil I: Grundlegende Konzepte	
Kapitel 3: Was ist Elektrizität?	21
3.1 Ladung	22
3.2 Messung von Ladung und Strom	24
3.3 AC vs. DC	26
3.4 In welche Richtung fließt der Strom?	27
3.5 Rückblick	28
3.6 Anwenden, was Sie gelernt haben	29
Kapitel 4: Spannung und Widerstand	31
4.1 Beschreibung der Spannung	31
4.2 Spannungen sind relativ	32
4.3 Relative Spannungen und Massepotenzial	33
4.4 Widerstand	34
4.5 Rückblick	36
4.6 Anwenden, was Sie gelernt haben	37

VI Inhaltsverzeichnis

Kapitel 5: Ihr erster Schaltkreis	39
5.1 Schaltungsanforderungen.....	39
5.2 Grundlegende Komponenten	41
5.3 Erstellen Ihres ersten Schaltkreises	42
5.4 Hinzufügen von Drähten	45
5.5 Zeichnen von Schaltkreisen.....	45
5.6 Zeichnen der Masse	48
5.7 Rückblick	49
5.8 Anwenden, was Sie gelernt haben	50
Kapitel 6: Konstruieren und Testen von Schaltungen.....	53
6.1 Das lötfreie Breadboard	54
6.2 Aufsetzen einer Schaltung auf einem Breadboard.....	56
6.3 Weniger Drähte verwenden	60
6.4 Prüfen von Schaltkreisen mit einem Multimeter	63
6.5 Verwendung eines Multimeters mit einem Breadboard.....	66
6.6 Strommessung mit einem Multimeter	67
6.7 Verwendung eines Leistungsreglers.....	68
6.8 Rückblick	70
6.9 Anwenden, was Sie gelernt haben	72
Kapitel 7: Analyse von Reihen- und Parallelschaltungen.....	73
7.1 Reihenschaltungen	73
7.2 Parallelschaltungen	75
7.2.1 Kirchhoffsches Gesetz	75
7.2.2 Kirchhoffsches Gesetz	77
7.3 Äquivalenter Parallelwiderstand	79
7.4 Drähte in einem Stromkreis	83
7.5 Verdrahtung paralleler Schaltungen auf einem Breadboard	84
7.6 Rückblick	86
7.7 Anwenden, was Sie gelernt haben	87
Kapitel 8: Dioden und ihre Verwendung	91
8.1 Grundlegendes Verhalten von Dioden	91
8.2 Berechnung von Schaltungen mit in Reihe geschalteten Dioden	92
8.3 Berechnung von Schaltungen mit parallel geschalteten Dioden	94
8.4 Diodenkurzschlüsse	97
8.5 Nicht leitende Dioden	98
8.6 Verwendung von Dioden	99
8.7 Andere Arten von Schutzdioden	103
8.8 Zener-Dioden	104
8.9 Schottky-Diode	106

8.10 Diodenähnliches Verhalten in anderen Bauteilen	106
8.11 Rückblick	106
8.12 Anwenden, was Sie gelernt haben	108
Kapitel 9: Grundlegende Muster für Widerstandsschaltungen	111
9.1 Schalter und Tasten	112
9.2 Muster des Strombegrenzungswiderstandes	114
9.3 Spannungsteilmuster	114
9.3.1 Berechnung der Spannungen	115
9.3.2 Ermittlung von Widerstandsverhältnissen	116
9.3.3 Ermittlung der Widerstandswerte	117
9.3.4 Allgemeine Überlegungen	119
9.4 Der Pull-up-Widerstand	119
9.5 Pull-down-Widerstände	121
9.6 Rückblick	121
9.7 Anwenden, was Sie gelernt haben	123
Kapitel 10: Leistung verstehen	125
10.1 Wichtige Begriffe im Zusammenhang mit Leistung	125
10.2 Leistung in der Elektronik	127
10.3 Leistungsbegrenzungen der Bauteile	128
10.4 Handhabung der Verlustleistung mit Kühlkörpern	129
10.5 Energie umwandeln	130
10.6 Verstärkung von Signalen mit geringer Leistung	132
10.7 Rückblick	133
10.8 Anwenden, was Sie gelernt haben	134
Kapitel 11: Integrierte Schaltungen und Widerstandssensoren	137
11.1 Die Teile einer integrierten Schaltung	138
11.2 Der Spannungskomparator LM393	140
11.3 Die Bedeutung und die Probleme von Datenblättern	142
11.4 Eine einfache Schaltung mit dem LM393	143
11.5 Resistive Sensoren und Spannungen	145
11.6 Erkennen und Reagieren auf Dunkelheit	146
11.7 Quellen und Senken	148
11.8 Rückblick	149
11.9 Anwenden, was Sie gelernt haben	151
Teil II: Digitale Elektronik und Mikrocontroller	
Kapitel 12: Verwendung von Logik-ICs	155
12.1 Logik-ICs	155
12.2 Nutzung einer 5-V-Quelle	161
12.3 Pull-down-Widerstände	163

VIII Inhaltsverzeichnis

12.4 Kombinieren von Logikschaltungen	164
12.5 Chipnamen verstehen.....	169
12.6 Rückblick	170
12.7 Anwenden, was Sie gelernt haben	171
Kapitel 13: Einführung in Mikrocontroller	175
13.1 Der ATmega328/P-Chip.....	176
13.2 Die Arduino-Umgebung.....	178
13.3 Der Arduino Uno	179
13.4 Programmieren des Arduino	180
13.5 Rückblick	183
13.6 Anwenden, was Sie gelernt haben	183
Kapitel 14: Projekte mit einem Arduino bauen.....	185
14.1 Stromversorgung des Breadboards über einen Arduino Uno ..	185
14.2 Verdrahtung von Eingängen und Ausgängen mit einem Arduino Uno	186
14.3 Ein einfaches Arduino-Projekt mit LEDs	187
14.4 Ändern der Funktionalität ohne Neuverkabelung	190
14.5 Rückblick	191
14.6 Anwenden, was Sie gelernt haben	192
Kapitel 15: Analoge Eingabe und Ausgabe auf einem Arduino	193
15.1 Lesen von Analogeingängen	193
15.2 Analoger Ausgang mit PWM.....	196
15.3 Rückblick	199
15.4 Anwenden, was Sie gelernt haben	200
Teil III: Kondensatoren und Induktoren	
Kapitel 16: Kondensatoren	203
16.1 Was ist ein Kondensator?.....	203
16.2 Wie Kondensatoren funktionieren	204
16.3 Arten von Kondensatoren	207
16.4 Aufladen und Entladen eines Kondensators	209
16.5 Kondensatoren in Reihe- und parallel geschaltet.....	211
16.6 Kondensatoren und AC und DC.....	214
16.7 Verwendung von Kondensatoren in einer Schaltung	214
16.8 Rückblick	216
16.9 Anwenden, was Sie gelernt haben	218
Kapitel 17: Kondensatoren als Timer	219
17.1 Zeitkonstanten	219
17.2 Aufbau einer einfachen Timerschaltung	222
17.3 Zurücksetzen unseres Timers	226
17.4 Rückblick	229
17.5 Anwenden, was Sie gelernt haben	230

Kapitel 18: Einführung in Oszillatorschaltungen	231
18.1 Grundlagen der Oszillation	231
18.2 Die Bedeutung von Oszillatoren	233
18.3 Bau eines Oszillators	234
18.4 Berechnung der Ein- und Ausschaltzeiten mit dem 555er	239
18.5 Auswahl des Kondensators	243
18.6 Rückblick	244
18.7 Anwenden, was Sie gelernt haben	247
Kapitel 19: Klangerzeugung mit Oszillationen	249
19.1 Wie der Ton von Lautsprechern erzeugt wird	249
19.2 Elektrizität grafisch darstellen	250
19.3 Ausgeben eines Tons an den Kopfhörer	252
19.4 AC vs. DC	253
19.5 Verwendung von Kondensatoren zur Trennung von AC- und DC-Bauteilen	254
19.6 Wattzahl der Lautsprecher	255
19.7 Klangregler	257
19.8 Rückblick	258
19.9 Anwenden, was Sie gelernt haben	260
Kapitel 20: Induktoren	261
20.1 Induktoren, Spulen und magnetischer Fluss	261
20.1.1 Was ist ein Induktor?	261
20.1.2 Was ist ein magnetischer Fluss?	262
20.1.3 Was ist der Unterschied zwischen elektrischen und magnetischen Feldern?	262
20.2 Induzierte Spannungen	264
20.3 Widerstand gegen Änderungen des Stroms	264
20.4 Analogie aus der Mechanik	265
20.5 Verwendungen von Induktoren	265
20.6 Induktiver Kick	266
20.7 Rückblick	268
20.8 Anwenden, was Sie gelernt haben	269
Kapitel 21: Induktoren und Kondensatoren in Schaltkreisen	271
21.1 RL-Schaltungen und Zeitkonstanten	271
21.2 Induktoren und Kondensatoren als Filter	273
21.3 Parallel und in Reihe geschaltete Kondensatoren und Induktoren	274
21.4 Rückblick	275
21.5 Anwenden, was Sie gelernt haben	276
Kapitel 22: Blindwiderstand und Impedanz	279
22.1 Blindwiderstand	279
22.2 Impedanz	281
22.3 RLC-Schaltungen	284

x Inhaltsverzeichnis

22.4 Ohmsches Gesetz für Wechselstromkreise	286
22.5 Resonanzfrequenzen von RLC-Schaltungen	288
22.6 Tiefpassfilter	290
22.7 Umwandlung eines PWM-Signals in eine Spannung	290
22.8 Rückblick	291
22.9 Anwenden, was Sie gelernt haben	293
Kapitel 23: Gleichstrommotoren	295
23.1 Theorie der Funktionsweise	295
23.2 Wichtige Fakten über Motoren	296
23.3 Verwendung eines Motors in einer Schaltung	297
23.4 Befestigen von Dingen an Motoren	298
23.5 Bidirektionale Motoren	300
23.6 Servomotoren	300
23.7 Schrittmotoren	301
23.8 Rückblick	301
23.9 Anwenden, was Sie gelernt haben	302
Teil IV: Verstärkerschaltungen	
Kapitel 24: Leistungsverstärkung mit Transistoren	307
24.1 Ein Gleichnis zur Verstärkung	308
24.2 Verstärkung mit Transistoren	309
24.3 Teile des BJT	310
24.4 Grundlagen des npn-Transistorbetriebs	312
24.4.1 Regel 1: Der Transistor ist standardmäßig ausgeschaltet	312
24.4.2 Regel 2: V_{BE} muss 0,6 V betragen, um den Transistor einzuschalten	312
24.4.3 Regel 3: V_{BE} wird immer genau 0,6 V betragen, wenn der Transistor eingeschaltet ist	313
24.4.4 Regel 4: Der Kollektor sollte immer positiver sein als der Emitter	313
24.4.5 Regel 5: Wenn der Transistor eingeschaltet ist, ist I_{CE} eine lineare Verstärkung von I_{BE}	313
24.4.6 Regel 6: Der Transistor kann nicht mehr verstärken, als der Kollektor liefern kann	314
24.4.7 Regel 7: Wenn die Basisspannung größer ist als die Kollektorspannung, ist der Transistor gesättigt	314
24.5 Der Transistor als Schalter	314
24.6 Anschließen eines Transistors an einen Arduino-Ausgang	318
24.7 Stabilisierung des Betawerts des Transistors mit einem Rückkopplungswiderstand	319
24.8 Ein Wort der Warnung	320
24.9 Rückblick	320
24.10 Anwenden, was Sie gelernt haben	322

Kapitel 25: Transistorspannungsverstärker	325
25.1 Umwandlung von Strom in Spannung mit dem ohmschen Gesetz	325
25.2 Ablesen des verstärkten Signals	327
25.3 Verstärkung eines Audiosignals.	328
25.4 Hinzufügen einer zweiten Stufe	333
25.5 Verwendung eines Oszilloskops	336
25.6 Rückblick	336
25.7 Anwenden, was Sie gelernt haben.	338
Kapitel 26: Prüfung von Teilstromkreisen	339
26.1 Die Notwendigkeit eines Modells	339
26.2 Berechnung der Thévenin-Äquivalentwerte	341
26.3 Ein anderer Weg zur Berechnung des Thévenin-Widerstands.	343
26.4 Ermittlung des Thévenin-Äquivalents eines Wechselstromkreises mit reaktiven Elementen	345
26.5 Verwendung von Thévenin-äquivalenten Beschreibungen	345
26.6 Experimentelle Ermittlung von Thévenin- Äquivalentschaltungen	346
26.7 Rückblick	350
26.8 Anwenden, was Sie gelernt haben.	351
Kapitel 27: Verwendung von Feldeffekttransistoren für Schalt- und Logikanwendungen	353
27.1 Funktionsweise eines FET	354
27.2 Der n-Kanal-MOSFET im Anreicherungsmodus	356
27.3 Verwendung eines MOSFETs	356
27.4 MOSFETs in Logikschaltungen	360
27.5 Rückblick	362
27.6 Anwenden, was Sie gelernt haben.	362
Kapitel 28: Weiter gehen	363
Anhang A: Glossar	365
Anhang B: Elektroniksymbole	379
Anhang C: Namenskonventionen für integrierte Schaltkreise	383
Anhang D: Mehr Mathematik, als Sie wissen wollten	387
Anhang E: Vereinfachte Datenblätter für gängige Geräte	407

Über den Autor

Jonathan Bartlett ist ein leitender Software-F&E-Spezialist bei Specialized Bicycle Components, der sich auf die Erstellung erster Prototypen für eine Vielzahl von IoT-Projekten (Internet of Things) konzentriert. Jonathan unterrichtet die Tech-Community seit mehr als einem Jahrzehnt. Sein erstes Buch, *Programming from the Ground Up*, ist ein Internetklassiker und wurde von Joel Spolsky, Mitbegründer von Stack Exchange, empfohlen. Es war eines der ersten Open-Source-Bücher und wurde von einer ganzen Generation von Programmierern benutzt, um zu lernen, wie Computer von innen heraus funktionieren, wobei Assembler als Ausgangspunkt diente. Kürzlich veröffentlichte er *Building Scalable PHP Web Applications Using the Cloud* sowie das Analysislehrbuch *Calculus from the Ground Up*. Jonathan schreibt außerdem eine Mischung aus technischen und populären Artikeln für eine Reihe von Websites, darunter den neuen Technologieblog MindMatters.ai. Seine anderen Artikel sind auf der IBM-DeveloperWorks-Website, Linux.com und Medium.com zu finden. Er ist auch der Leiter von Tulsa Open Source Hardware, einer lokalen Gruppe, die sich auf Do-it-yourself-Elektronikprojekte konzentriert.

Jonathan ist auch an einer Reihe von akademischen Arbeiten beteiligt. Er ist assoziiertes Mitglied des Walter Bradley Center for Natural and Artificial Intelligence. Dort forscht er auf dem Gebiet der Grundlagenmathematik und der Mathematik der künstlichen Intelligenz. Außerdem ist er Mitglied des Redaktionsausschusses der Zeitschrift *BIO-Complexity*, wo er sich auf die Überprüfung von informationstheoretischen Arbeiten für die Zeitschrift konzentriert und bei der Erstellung von LaTeX-Sätzen behilflich ist.

Außerdem hat Jonathan mehrere Bücher über das Zusammenspiel von Philosophie, Mathematik und Wissenschaft geschrieben, darunter *Engineering and the Ultimate* und *Naturalism and Its Alternatives in Scientific Methodologies*. Jonathan fungierte als Herausgeber des Buches *Controllability of Dynamic Systems: The Green's Function Approach*, das mit dem RA Presidential Award der Republik Armenien im Bereich „Technische Wissenschaften und Informationstechnologien“ ausgezeichnet wurde.

xiv **Über den Autor**

Jonathan ist zusammen mit seiner Frau Christa, mit der er seit 20 Jahren verheiratet ist, Mitglied des Vorstands von Homeschool Oklahoma. Sie inspirieren ihre Gemeinschaft auf verschiedene Weise, z. B. durch das Schreiben von Lehrmaterial, das Erstellen von Lehrvideos, die Nachhilfe für Schüler durch Classical Conversations und das Teilen ihrer eigenen Geschichten von Tragödien und Erfolg mit anderen.

Über den technischen Prüfer

Mike McRoberts ist der Autor von *Beginning Arduino* von Apress. Er ist der Gewinner von Pi Wars 2018 und ein Mitglied von Medway Makers. Er ist ein Arduino- und Raspberry-Pi-Enthusiast.

Mike McRoberts verfügt über Fachkenntnisse in einer Vielzahl von Sprachen und Umgebungen, darunter C/C++, Arduino, Python, Processing, JS, Node-RED, NodeJS und Lua.

Danksagungen

Ich möchte in erster Linie meiner Homeschool-Co-op-Gemeinschaft danken. Dieses Buch entstand ursprünglich aus einer Reihe von Kursen, die ich in unserer örtlichen Co-op gab und meine Schüler waren die Versuchskaninchen für diesen Inhalt. Ich habe viel Zuspruch von dieser Klasse erhalten, und sowohl die Schüler als auch die Eltern waren von dem Material begeistert. Ich möchte mich bei meiner Frau bedanken, die es ertragen hat, dass ich ständig am Computer getippt habe, um das Material zusammenzustellen. Ich möchte auch der Tulsa Open Source Hardware Community (sowie der größeren Tulsa WebDevs Community) danken, die mich bei der Zusammenstellung dieses Buches sehr ermutigt hat und die sich auch viele Präsentationen, die auf diesem Material basieren, angesehen hat.

Einführung

Willkommen in der Welt der Elektronik! In der modernen Welt sind elektronische Geräte allgegenwärtig, aber immer weniger Menschen scheinen zu verstehen, wie sie funktionieren oder wie man sie zusammensetzt. Gleichzeitig war es noch nie so einfach, dies als Einzelperson zu tun. Das Angebot an Schulungen, Werkzeugen, Bauteilen, Anleitungen, Videos und Tutorials für den Heimexperimentator ist enorm gestiegen und die Kosten für die Ausrüstung sind fast auf null gesunken.

Was jedoch bisher fehlte, war ein guter Leitfaden, der die Schüler von dem Wunsch, die Funktionsweise elektronischer Schaltungen zu verstehen, dazu bringt, sie tatsächlich zu begreifen und ihre eigenen zu entwickeln. Für Hobbybastler gibt es viele Leitfäden, die zeigen, wie man einzelne Projekte durchführt, aber sie bieten oft nicht genug Informationen, um den Lesern die Möglichkeit zu geben, eigene Projekte zu entwickeln. In Physikbüchern gibt es viele Informationen über die Physik der Elektrizität, aber es gelingt ihnen nicht, die Informationen in die Praxis umzusetzen. Eine Ausnahme bildet das Buch *The Art of Electronics* von Horowitz und Hill. Dieses Buch ist ein hervorragendes Nachschlagewerk für den Entwurf praktischer Schaltungen. Allerdings richtet es sich hauptsächlich an Elektroingenieure oder andere sehr fortgeschrittene Schaltkreisentwickler. Und nicht nur das: Das Buch selbst ist unerschwinglich teuer.

Was schon lange gebraucht wurde, ist ein Buch, das Sie von der Unkenntnis über Elektronik bis hin zur Fähigkeit führt, echte Schaltungen zu bauen, die Sie selbst entwerfen. Dieses Buch kombiniert Theorie, Praxis, Projekte und Entwurfsmuster, um Sie in die Lage zu versetzen, Ihre eigenen Schaltungen

2 Kapitel I | Einführung

von Grund auf zu bauen. Darüber hinaus ist dieses Buch ganz auf eine sichere, stromsparende DC-Versorgung (Direct Current, DC, Gleichstrom) ausgelegt. Wir bleiben in diesem Buch weit weg von der Steckdose, um sicherzustellen, dass Sie eine unterhaltsame und weitgehend sorgenfreie Erfahrung mit Elektronik machen.

Dieses Buch ist für zwei Personengruppen gedacht. Erstens kann dieses Buch als Leitfaden für Hobbyisten (oder solche, die es werden wollen) verwendet werden, um selbst zu lernen. Es enthält viele Projekte, an denen man arbeiten und mit denen man experimentieren kann. Zweitens kann dieses Buch auch im Elektronikunterricht für Schüler und Studenten verwendet werden. Es enthält Aufgaben, die bearbeitet werden müssen, Aktivitäten, die durchgeführt werden müssen, und Übersichten am Ende eines jeden Kapitels.

Die Bedürfnisse dieser Gruppen unterscheiden sich nicht so sehr voneinander. Selbst wenn Sie ein Hobbyist sind und dieses Buch zum Selbststudium verwenden möchten, empfehle ich Ihnen, nicht nur die wichtigsten Teile des Kapitels zu lesen, sondern auch die Aktivitäten und Hausaufgaben zu erledigen. Das Ziel der Hausaufgaben ist es, Ihren Verstand zu trainieren, um wie ein Schaltungsentwickler zu denken. Wenn Sie die Beispielprobleme durcharbeiten, wird das Analysieren und Entwerfen von Schaltungen zu einer reinen Gewohnheit.

I.1 Arbeiten mit Beispielen

In diesem Buch sollten alle Beispiele mit Dezimalzahlen und nicht mit Brüchen gerechnet werden. Dies ist ein Ingenieurkurs, kein Mathematikkurs, Sie können also gerne einen Taschenrechner benutzen. Allerdings werden Sie bei einigen der Antworten oft sehr lange Reihen von Dezimalzahlen erhalten. Sie können Ihre Antworten gerne runden, aber geben Sie immer mindestens eine Dezimalstelle an. Wenn ich z. B. 5 durch 3 teile, zeigt mir mein Taschenrechner 1,66666667 an. Ich kann die endgültige Antwort jedoch einfach als 1,7 angeben. Dies gilt nur für die endgültige Antwort. Sie müssen Ihre Dezimalzahlen beibehalten, während Sie Ihre Berechnungen durchführen.

Wenn Ihre Antwort eine Dezimalzahl ist, die mit einer Null beginnt, sollten Sie Ihre Antwort so runden, dass die ersten zwei bis vier Ziffern, die keine Null sind, enthalten sind. Wenn ich also eine Antwort von 0,000003333333 habe, kann ich sie auf 0,0000033 runden. Wenn Sie genau wissen wollen, wie Sie die Ergebnisse runden müssen, lesen Sie den Abschnitt über signifikante Zahlen im nächsten Kapitel. Für Anfänger und Hobbybastler ist dies weniger ein Problem und wir werden uns in diesem Buch im Allgemeinen als Hobbybastler verstehen.

Kurz gesagt, als Ingenieure sind wir mindestens so präzise, wie wir sein müssen, oder maximal so präzise, wie wir sein können. Das Maß an Präzision, das wir

benötigen, ist von Projekt zu Projekt unterschiedlich, und das Maß an Präzision, das wir erreichen können, hängt von unseren Werkzeugen, unseren Komponenten und anderen Dingen ab, mit denen wir arbeiten. Daher wird in diesem Buch nicht so sehr darauf eingegangen, wie viele Dezimalstellen genau zu verwenden sind. Ausführlichere Beschreibungen zum Umgang mit signifikanten Zahlen finden Sie in anderen wissenschaftlichen Büchern. Wenn Sie bei den Aufgaben in den Kapiteln aufgrund von Rundungsfehlern um eine einzige Stelle daneben liegen, brauchen Sie sich keine Sorgen zu machen.

1.2 Erstes Handwerkzeug und Zubehör

Man kann mit einem minimalen Satz an Handwerkzeug in die Elektronik einsteigen, aber man kann auch so ausgefallen sein, wie man es sich leisten kann. Dieses Buch konzentriert sich auf das bescheidenere Handwerkzeug, das für so gut wie jeden Geldbeutel erschwinglich ist.

Das Buch führt Sie durch eine Vielzahl von Bauteilen für verschiedene Arten von Schaltungen, aber jeder Elektronikbastler sollte mit den folgenden Bauteilen beginnen:

1. Multimeter: Mit Multimetern lassen sich Spannung, Strom, Widerstand und andere wichtige Werte messen. Für diese Projekte ist das billigste Digitalmultimeter, das Sie finden können, völlig ausreichend. Sie brauchen nur eines von diesen.
2. Lötfreie Breadboards: Lötfreie Breadboards halten Ihre Projekte an Ort und Stelle und verbinden Ihre Komponenten miteinander. Breadboards werden nach der Anzahl der Löcher, den sog. Tie Points, verkauft, die das Breadboard enthält. Wenn Sie Ihre Projekte aufbewahren wollen, sollten Sie für jedes Projekt ein eigenes Breadboard haben. Das Schöne an lötfreien Breadboards (Steckplatten) ist jedoch, dass sie wiederverwendet werden können, wenn Sie wollen.
3. Überbrückungsdrähte: Überbrückungsdrähte sind wie normale isolierte Drähte, mit dem Unterschied, dass ihre Enden fest und stabil genug sind, um in Ihr Breadboard gesteckt zu werden. Die Drähte selbst können flexibel oder starr sein. Es gibt auch Überbrückungsdrähte mit weiblichen Enden (ein Loch anstelle eines Drahts), die in Schaltkreise eingesteckt werden können, aus denen Metallstifte herausragen (sog. Header), an die man sie anschließen kann. Jeder Bastler, den ich kenne, hat eine

4 Kapitel I | Einführung

riesige Menge an Überbrückungsdrähten. Sie werden normalerweise in Bündeln von 65 Drähten geliefert, was für den Anfang völlig ausreichend ist.

4. Widerstände: Widerstände leisten einen großen Teil der Arbeit in einem Schaltkreis. Sie widerstehen dem Stromfluss, was u. a. verhindert, dass andere Teile des Stromkreises beschädigt werden. Widerstände werden in Ohm (Ω) gemessen. Die meisten Bastler haben eine große Auswahl an Widerständen. Sie sollten eine Auswahl an Widerständen von 200–1.000.000 Ω haben. Wenn Sie sich jedoch für einen Wert entscheiden müssten, funktionieren 1000- Ω -Widerstände in einer Vielzahl von Situationen. Die Widerstände für dieses Buch sollten für 1/4 W Leistung ausgelegt sein.
5. LEDs: LEDs (lichtemittierende Dioden) sind stromsparende Lichter, die häufig in elektronischen Geräten verwendet werden. Ich empfehle, sich eine Vielzahl von LED-Farben zuzulegen, weil das Leben dadurch einfach mehr Spaß macht. Die meisten einfarbigen Standard-LEDs haben ungefähr die gleichen Spezifikationen, der Hauptunterschied ist also die Farbe.
6. Knöpfe und Schalter: Taster und Schalter sind die wichtigsten Ein- und Ausgabemethoden in diesen Schaltungen. Sie sollten Taster und Schalter kaufen, die speziell für Breadboards geeignet sind.
7. Leistungsregler: Während die meisten dieser Projekte direkt mit einer Batterie betrieben werden können, sorgt eine Stromreglerplatine dafür, dass Sie eine vorhersehbare Spannung von Ihrer Batterie erhalten, unabhängig davon, wie gut geladen oder entladen die Batterie ist. Die YwRobot-Breadboard-Stromversorgung ist extrem billig (billiger als die meisten Batterien) und versorgt Ihr Projekt auch mit einem Ein-/Ausschalter. Sie sollten für jedes Breadboard, das Sie besitzen, ein solches Netzteil kaufen. Es gibt auch andere Breadboard-Netzteile (stellen Sie sicher, dass sie 5 V ausgeben), aber in unseren Zeichnungen wird das YwRobot-Netzteil verwendet.
8. 9-V-Batterie und Stecker: Die einfachste Art, den Leistungsregler mit Strom zu versorgen, ist eine 9-V-Batterie mit einem Standardzylinderstecker (2,1 mm × 5,5 mm), der in das YwRobot-Netzteil passt.

Spätere Projekte werden spezielle Komponenten erfordern, aber dies sind die Komponenten, die für fast jedes Projekt benötigt werden, das Sie kennenlernen oder selbst entwerfen werden. Wenn Sie einen Bausatz mit allen Komponenten, die Sie für dieses Buch benötigen, bestellen möchten, finden Sie diese unter www.bplearning.net.

1.3 Sicherheitsrichtlinien

Dieses Buch befasst sich fast ausschließlich mit Gleichstrom aus kleinen Batteriequellen. Dieser Strom ist von Natur aus ziemlich sicher, da kleine Batterien nicht in der Lage sind, die Strommenge zu liefern, die nötig ist, um zu verletzen oder zu schaden. Bei diesen Projekten können Sie ungestört Drähte berühren und mit aktiven Schaltkreisen arbeiten, ohne sich zu schützen, denn der Strom ist nicht in der Lage, Sie zu verletzen. Das Hauptproblem, das manchmal auftritt, ist, dass bei schlecht ausgeführten Schaltungen Bauteile überhitzen und gelegentlich (aber selten) Feuer fangen können. Außerdem kann die Batterie selbst überhitzen/schädlich werden und Batterien bestehen oft aus potenziell giftigen Chemikalien.

Bitte beachten Sie die folgenden Sicherheitsrichtlinien, wenn Sie an Projekten arbeiten (sowohl an Projekten aus diesem Buch als auch an Projekten, die Sie selbst bauen). Sie tragen zu Ihrer Sicherheit bei und verhindern, dass Sie versehentlich Ihre eigene Ausrüstung beschädigen:

1. Wenn Sie Schnittwunden oder andere offene Stellen auf Ihrer Haut haben, decken Sie diese bitte ab. Die Haut bietet den größten elektrischen Schutz an Ihrem Körper.
2. Bevor Sie Ihren Stromkreis mit Strom versorgen, überprüfen Sie, ob Sie nicht versehentlich einen Kurzschluss zwischen dem Plus- und Minuspol Ihrer Batterie verursacht haben.
3. Wenn sich Ihr Stromkreis nicht so verhält, wie Sie es erwarten, wenn Sie den Akku einstecken, stecken Sie ihn sofort aus und überprüfen Sie ihn auf Probleme.
4. Wenn der Akku oder ein Bauteil warm wird, trennen Sie den Akku oder das Bauteil sofort von der Stromversorgung.
5. Wenn Sie Brand- oder Rauchgeruch wahrnehmen, unterbrechen Sie sofort die Stromzufuhr.
6. Entsorgen Sie alle Batterien in Übereinstimmung mit den örtlichen Vorschriften.
7. Befolgen Sie bei wiederaufladbaren Batterien die Anweisungen auf der Batterie für das richtige Aufladen.

Bitte beachten Sie, dass Sie beim Umgang mit Wechselstrom (AC) oder großen Batterien (z. B. Autobatterien) weitaus mehr Vorsichtsmaßnahmen ergreifen müssen als in diesem Buch beschrieben, da diese Geräte in sich selbst und in den Stromkreisen genügend Energie erzeugen, um Sie bei falscher Handhabung zu verletzen oder zu töten (manchmal sogar, nachdem der Strom abgeschaltet wurde).

1.4 Elektrostatische Entladung

Wenn Sie schon einmal einen Türknauf berührt und einen kleinen Schlag erhalten haben, haben Sie eine elektrostatische Entladung („electrostatic discharge“ ESD) erlebt. Eine elektrostatische Entladung ist für Sie nicht gefährlich, aber für Ihre Geräte kann sie gefährlich sein. Selbst Erschütterungen, die Sie nicht spüren, können Ihre Geräte beschädigen. Bei modernen Bauteilen ist eine elektrostatische Entladung selten ein Problem, aber dennoch ist es wichtig zu wissen, wie man sie vermeiden kann. Sie können diese Vorsichtsmaßnahmen auslassen, wenn Sie wollen, aber Sie sollten wissen, dass es gelegentlich vorkommen kann, dass Sie einen Chip oder Transistor kurzschließen, weil Sie nicht vorsichtig waren. Eine elektrostatische Entladung ist auch problematischer, wenn Sie Teppichböden haben, da diese dazu neigen, statische Elektrizität aufzustauen.

Hier sind einige einfache Regeln, die Sie befolgen können, um Probleme mit elektrostatischer Entladung zu vermeiden:

1. Lagern Sie IC-Bauteile (d. h. Elektronikchips; Integrated Circuit, IC) so, dass die Kabel in leitfähigen Schaumstoff eingewickelt sind. Dadurch wird verhindert, dass sich während der Lagerung Spannungsunterschiede aufbauen.
2. Tragen Sie natürliche Stoffe aus 100 % Baumwolle.
3. Verwenden Sie eine spezielle ESD-Bodenmatte und/oder ein Handgelenkband, um Sie und Ihren Arbeitsbereich auf Erdpotenzial zu halten.
4. Wenn Sie kein ESD-Band oder keine ESD-Matte verwenden, berühren Sie vor Beginn der Arbeit einen großen Metallgegenstand. Führen Sie dies nach jeder Bewegung erneut durch.

1.5 Richtiges Benutzen des Multimeters

Wir haben zwar noch nicht alle Details behandelt, die wir für die Verwendung unseres Multimeters brauchen, aber da wir uns mit dem richtigen Umgang mit Geräten befassen, füge ich diesen Abschnitt hier zu den anderen hinzu. Sie

können diesen Abschnitt gerne überspringen, bis wir im Buch mit der Verwendung von Multimetern beginnen.

Um die Funktionsfähigkeit Ihres Multimeters zu erhalten, ist es wichtig, einige grundlegende Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Multimeter, v. a. billige, können durch unsachgemäße Handhabung leicht beschädigt werden. Befolgen Sie die folgenden Schritte, um zu verhindern, dass Sie Ihr Multimeter beschädigen oder Ihren Schaltkreis mit dem Multimeter beschädigen:

1. Versuchen Sie nicht, den Widerstand in einem aktiven Stromkreis zu messen. Nehmen Sie den Widerstand ganz aus dem Stromkreis heraus, bevor Sie versuchen, ihn zu messen.
2. Wählen Sie die entsprechende Einstellung an Ihrem Multimeter, bevor Sie es anschließen.
3. Wählen Sie immer zuerst die hohen Werte, insbesondere für Strom und Spannung. Verwenden Sie die hohen Werte für Strom und Spannung, um Ihrem Multimeter den maximalen Schutz zu bieten. Wenn Sie den Wert zu hoch eingestellt haben, ist es leicht, ihn niedriger zu setzen. Wenn Sie ihn zu niedrig eingestellt haben, müssen Sie vielleicht ein neues Multimeter kaufen!

Der Umgang mit Einheiten

Bevor wir mit der Erforschung der Elektronik beginnen, müssen wir über **Maßeinheiten** sprechen. Eine Maßeinheit ist im Grunde ein Standard, mit dem wir etwas messen. Wenn wir z. B. die Länge von etwas messen, verwenden wir normalerweise die Maßeinheiten Fuß und Meter. Sie können die Länge auch in Zoll, Yards, Zentimetern, Kilometern, Meilen usw. messen. Darüber hinaus gibt es einige obskure Längeneinheiten wie Achtelmeile, Elle, Meile und Pace.

Jede Art von Menge hat ihre eigenen Arten von Einheiten. Zum Beispiel messen wir die Zeit in Sekunden, Minuten, Stunden, Tagen, Wochen und Jahren. Wir messen die Geschwindigkeit in Meilen pro Stunde, Kilometern pro Stunde, Metern pro Sekunde usw. Wir messen die Masse in Pfund, Unzen, Gramm, Kilogramm, Körnern usw. Wir messen die Temperatur in Fahrenheit, Celsius, Kelvin und Rankine.

Einheiten für dieselbe Art von Menge können mit der richtigen Formel ineinander umgerechnet werden.

2.1 SI-Einheiten

Die wissenschaftliche Gemeinschaft hat sich weitgehend auf eine einheitliche Norm für Einheiten geeinigt, das **Internationale Einheitensystem**, abgekürzt **SI-Einheiten**. Dies ist die moderne Form des metrischen Systems. Aufgrund der großen Zahl der verfügbaren Einheitensysteme bestand das Ziel der Schaffung der SI-Norm darin, einen einzigen Satz von Einheiten zu schaffen, der auf einer physikalischen Grundlage beruht und eine einheitliche Art und Weise zur Darstellung größerer und kleinerer Mengen bietet.

Das imperiale Mengensystem veranschaulicht das Problem, das sie zu lösen versuchten. Im imperialen System gab es Gallonen. Wenn man eine Gallone in vier Teile teilte, erhielt man Quarts. Wenn man Quarts halbiert, erhält man Pints. Wenn man ein Pint in Zwanzigstel teilte, erhielt man Unzen.

Das imperiale System war sehr verwirrend. Es gab nicht nur eine enorme Anzahl von Einheiten, sondern sie waren auch alle durch unterschiedliche Beträge teilbar. Ähnlich verhielt es sich mit der Länge – 12 Zoll sind 1 Fuß, aber 3 Fuß sind 1 Yard und 1760 Yards sind 1 Meile. Das war eine Menge, die man sich merken musste und es war nicht einfach, die Berechnungen durchzuführen.

Das imperiale System hat zwar einige Vorteile (die im imperialen System verwendeten Größen entsprechen den Größen, die normalerweise bei menschlichen Aktivitäten verwendet werden – nur wenige Menschen bestellen Getränke in Millilitern), aber für Arbeiten, die viele Berechnungen und Einheiten erfordern, hat sich das SI-System weitgehend durchgesetzt. Wissenschaftliche Größen werden fast immer in SI-Einheiten ausgedrückt. In der Technik ist es eher eine Mischung, so wie die Technik selbst eine Mischung aus wissenschaftlicher Forschung und menschlichem Nutzen ist. Die eher technischen Bereiche sind jedoch im Allgemeinen zu SI-Einheiten übergegangen und haben diese beibehalten.

Im SI-System gibt es nur sieben Basiseinheiten. Es gibt auch andere Einheiten, die jedoch alle in Bezug auf diese Basiseinheiten gemessen werden können. Die Basiseinheiten für das SI-System sind in Abb. 2-1 dargestellt.

Einheit Typ	Einheit	Abkürzung
Länge	Meter	m
Zeit	Sekunde	s
Masse	Gramm ^a	g
Temperatur	Kelvin	K
Beleuchtungsstärke	Candela	cd
Stromstärke	Ampere	A
Menge ^b	Mol	mol

^aTechnisch gesehen ist die Basiseinheit der Masse aus historischen Gründen eigentlich das *Kilogramm*, aber es macht mehr Sinn, das Gramm selbst als Basiseinheit zu betrachten. Das Kilogramm ist eine Basiseinheit in dem Sinne, dass das standardisierte Gewicht auf dem Kilogramm beruht. Das Gramm ist jedoch eine Basiseinheit in dem Sinne, dass alle Präfixe auf dem Gewicht eines Gramms beruhen.

^bDiese Einheit wird vor allem in der Chemie zum Zählen von kleinen Dingen wie Atomen und Molekülen verwendet.

Abb. 2 - I . SI-Basiseinheiten

Viele andere Einheiten sind von diesen abgeleitet und werden als abgeleitete SI-Einheiten bezeichnet. Zum Beispiel wird zur Messung des Volumens oft der Liter verwendet.¹ Ein Liter ist jedoch nicht als solcher definiert, sondern in Bezug auf Meter. Ein Liter ist ein Tausendstel eines Kubikmeters. Wir können also die Längeneinheit nehmen und sie zur Beschreibung einer Volumeneinheit verwenden.

Ein komplizierteres Beispiel ist das Newton, eine Einheit der Kraft. Im SI-System ist das Newton definiert als ein „Kilogramm-Meter pro Sekunde zum Quadrat“. Dies ist eine andere Art zu sagen, dass ein Newton die Kraft ist, die 1 kg pro Sekunde 1 m pro Sekunde beschleunigt.

Alle Dinge, die uns in diesem Buch interessieren, werden letztlich in Form von SI-Basiseinheiten definiert. Für die Zwecke dieses Buches ist es nicht wichtig zu wissen, welche Einheiten Basiseinheiten oder abgeleitete Einheiten sind, und es ist v. a. unnötig zu wissen, wie sie abgeleitet werden. Wichtig ist nur, dass Sie ein gut durchdachtes, standardisiertes Einheitensystem verwenden werden. Wenn die Einheiten gut zusammenpassen scheinen, liegt das daran, dass sie so konzipiert wurden.

2.2 Skalierungseinheiten

Manchmal misst man wirklich große Mengen, und manchmal misst man sehr kleine Mengen. Im imperialen System gibt es insgesamt verschiedene Einheiten, um einen unterschiedlichen Maßstab für eine Menge zu erreichen. So gibt es

¹ Technisch gesehen ist der Liter nicht durch das SI definiert, aber er wird hier aufgeführt, weil er die einfachste Veranschaulichung des Punktes ist.

12 Kapitel 2 | Der Umgang mit Einheiten

beispielsweise Zoll für kleine Entferungen, Yards für mittlere Entferungen und Meilen für große Entferungen. Es gibt Unzen für kleine Mengen und Gallonen für große Mengen.

Im SI-System gibt es jedoch eine einheitliche Standardmethode, um größere und kleinere Mengen auszudrücken. Es gibt eine Reihe von Modifikatoren, die sog. **Einheitenpräfixe**, die an jede Einheit angehängt werden können, um in einem anderen Maßstab zu arbeiten. Die Vorsilbe *Kilo* bedeutet z. B. Tausend. Während also ein Meter eine Längeneinheit ist, ist ein Kilometer eine Längeneinheit, die 1000-mal so groß ist wie ein Meter. Während ein Gramm eine Masseneinheit ist, ist ein Kilogramm eine Masseneinheit, die das 1000-Fache der Masse eines Grammes beträgt.

Es funktioniert auch andersherum. Die Vorsilbe *Milli-* bedeutet Tausendstel,

wie in $\frac{1}{1000}$. Während also ein Meter eine Längeneinheit ist, ist ein Millimeter

eine Längeneinheit, die $\frac{1}{1000}$ eines Meters entspricht. Während ein Gramm

eine Einheit der Masse ist, ist ein Milligramm eine Einheit der Masse, die $\frac{1}{1000}$

der Masse eines Gramms entspricht.

Wenn man sich also einen einzigen Satz von Präfixen merkt, weiß man, wie man alle Einheiten im SI-System ändern kann. Die gemeinsamen Präfixe kommen in jeder Potenz von 1000 vor, wie Sie in Abb. 2-2 sehen können.

Umrechnungsfaktor	Präfix	Abkürzung	Beispiele
1.000.000.000.000	Tera	T	Terameter, Terasekunde, Teragramm
1.000.000.000	Giga	G	Gigameter, Gigasekunde, Gigagramm
1.000.000	Mega	M	Megameter, Megasekunde, Megagramm
1.000	Kilo	k	Kilometer, Kilosekunde, Kilogramm
1			Meter, Sekunde, Gramm
0,001	Milli	m	Millimeter, Millisekunde, Milligramm
0,000001	Mikro	μ oder u	Mikrometer, Mikrosekunde, Mikrogramm
0,000000001	Nano	n	Nanometer, Nanosekunde, Nanogramm
0,000000000001	Pico	p	Picometer, Picosekunde, Picogramm

Abb. 2 - 2 . Übliche SI-Präfixe

Um zwischen einer vorangestellten Einheit (z. B. Kilometer) und einer Basiseinheit (z. B. Meter) umzurechnen, wenden wir einfach den Umrechnungsfaktor an. Wenn also etwas 24,32 kg wiegt, kann ich das in

Gramm umrechnen, indem ich mit 1000 multipliziere. $24,32 * 1000 = 24.320$. Mit anderen Worten: 24,32 kg sind gleich 24 320 g.

Um von der Basiseinheit zu einer vorangestellten Einheit zu gelangen, dividiert man durch den Umrechnungsfaktor. Wenn also etwas 35,2 g wiegt, kann ich es in Kilogramm umrechnen, indem ich es durch 1000 teile. $35,2 / 1000 = 0,0352$. Mit anderen Worten: 35,2 g entsprechen 0,0352 kg.

Sie können auch zwischen zwei vorangestellten Einheiten umrechnen. Sie multiplizieren einfach mit der Vorsilbe und dividieren durch die Zielvorsilbe. Wenn also etwas 220 kg wiegt und ich wissen will, wie viel Mikrogramm das sind, dann multipliziere ich mit der Vorsilbe Kilo (1000) und teile durch die Vorsilbe Mikro (0,000001):

$$\frac{220 \cdot 1000}{0,000001} = 220.000.000.000$$

Mit anderen Worten: 220 kg sind gleich 220.000.000.000 Mikrogramm.

Wenn Sie die Multiplikatoren kennen, können Sie die Skalierung der Einheiten vornehmen, die Sie benötigen. Was mir jedoch in der Regel hilft, mit diesen Multiplikatoren intuitiv umzugehen, ist, sich einfach vor Augen zu führen, wo jeder einzelne Multiplikator in einer einzigen Zahl landet. Die Abb. 2-3 zeigt alle Präfixe in einer einzigen Zahl.

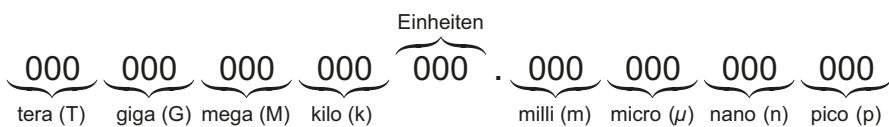


Abb. 2 - 3 . Visualisierung gemeinsamer Einheitenpräfixe

Nehmen wir also an, ich hätte es mit Bruchteilen eines Meters zu tun und hätte etwas, das 0,000000030 m beträgt. Wenn Sie diese Zahl mit dem Diagramm in Abb. 2-3 vergleichen, gibt es nur Nullen in der Einheit – im Milli- und im Mikrobereich. Die ersten Ziffern, die keine Nullen sind, erscheinen in der „Nano“-Gruppe. Aus der Abb. 2-3 ergibt sich, dass die Zahl im Nanobereich 030 ist. Die zu betrachtende Zahl ist also 30 Nanometer.

2.3 Verwendung von Abkürzungen

Das Tippen oder Schreiben von Wörtern wie Kilogramm, Mikrosekunde und Mikrometer ist nicht sonderlich schwierig, aber wenn sie häufig vorkommen (wie es in Gleichungen der Fall sein kann), kann es überwältigend werden. Deshalb hat jede Vorsilbe und jede Einheit eine Abkürzung. Da die Abkürzung

für Gramm g und die Abkürzung für Kilo k lautet, können wir Kilogramm mit kg abkürzen. Gelegentlich sind die Abkürzung für die Einheit und das Skalierungspräfix identisch, wie im Fall von Meter (m) und Milli- (auch m). Das ist in Ordnung, denn wenn man sie zusammensetzt, erhält man Millimeter, das als mm abgekürzt wird.

Am schwierigsten zu schreiben ist der Buchstabe für Mikro-, μ . Dies ist der griechische Buchstabe mu (ausgesprochen „mü“). Es ist im Wesentlichen die griechische Schreibweise des Buchstabens m und wird verwendet, weil wir bereits ein kleines m (Milli-) und ein großes M (Mega-) verwenden. Da das Mikro- mit einem m beginnt, wird es in Ermangelung einer zusätzlichen englischen/lateinischen Schreibweise des m mit dem griechischen μ geschrieben, was jedoch manchmal schwer zu tippen ist. Da es durch die gequetschte Schreibweise wie ein u aussieht, schreiben manche Leute u statt μ , wenn sie nicht wissen, wie sie μ mit ihrem Computer/Tastatur schreiben sollen. In diesem Buch verwenden wir nie ein u für diesen Zweck, aber wenn Sie anderswo etwas wie 100 us lesen, bedeutet das 100 Mikrosekunden.

2.4 Signifikante Zahlen

Signifikante Zahlen sind der Fluch vieler wissenschaftlicher Bücher. Fast alles in der Wissenschaft muss gerundet werden und signifikante Zahlen sind im Grunde die Rundungsregeln für die Wissenschaft. Wir müssen einfach über sie sprechen, damit Sie wissen, wie ich die Rundungen in meinen Übungen durchführe.

Diese Regeln sind nicht schwer, aber sie können einige neuere Schüler ins Straucheln bringen. Wenn Sie einfach nur mit Elektronik spielen wollen, können Sie diesen Abschnitt überspringen; seien Sie sich nur bewusst, dass ich die Antworten auf die Probleme vielleicht anders gerundet habe als Sie.

Die signifikanten Zahlen sollen verhindern, dass wir denken, wir seien präziser, als wir es tatsächlich sind. Nehmen wir an, ich habe ein Stück Holz mit einer Länge von 1 m gemessen, möchte es aber in drei Teile schneiden. Wie soll ich die Länge jedes gewünschten Stücks in Dezimalzahlen angeben? Nun, 1 geteilt durch 3 ist 0,3333333333 ... Ich kann so lange Dreier schreiben, bis die Kühe nach Hause kommen. Aber muss die Länge wirklich so genau sein? Ist meine Messung der ursprünglichen Länge des Holzes genau genug, um diese Art von Präzisionsanforderung zu rechtfertigen? Signifikante Zahlen ermöglichen es uns, diese Frage zu beantworten und Zahlen mit einer vertretbaren Genauigkeit anzugeben.

Für jede gemessene Größe müssen wir also die Anzahl der signifikanten Zahlen zählen. In den meisten Fällen entspricht die Anzahl der signifikanten Zahlen einer Zahl der Anzahl der Ziffern, mit ein paar Ausnahmen. Erstens werden bei den signifikanten Zahlen alle führenden Nullen ignoriert. Wenn

ich also etwas mit 102 Fuß gemessen habe, hat es drei signifikante Ziffern, auch wenn ich führende Nullen hinzufüge. 102 Fuß und 000000000102 Fuß haben also beide drei signifikante Ziffern. Außerdem werden diese führenden Nullen auch dann ignoriert, wenn sie hinter dem Dezimalpunkt stehen. Die Zahl 0,00042 hat also zwei signifikante Stellen. Die zweite Regel beim Zählen lautet, dass führende Nullen nicht als signifikant gezählt werden, wenn das Messgerät nicht in der Lage ist, so genau zu messen (oder die Menge nicht so genau angegeben wird). So beziehen sich beispielsweise der Wert 1 m und der Wert 1000 m numerisch auf dieselbe Zahl. Der zweite Wert wird jedoch in der Regel verwendet, um anzugeben, dass wir diese Zahl tatsächlich genau messen können. Wir würden nicht 1000 m angeben, wenn unsere Waage nicht tatsächlich auf ein Tausendstel eines Meters genau messen kann.

Mit Nullen auf der linken Seite des Dezimalsystems ist die Situation etwas komplizierter. Wenn ich sage: „1000 Personen nahmen an der Veranstaltung teil“, wie genau ist diese Zahl dann? Haben Sie die Personen gezählt und genau 1000 erhalten? Ist sie möglicherweise auf die Zehner- oder Hunderterstelle geschätzt? Das wird unklar. Um das Problem für dieses Buch zu vereinfachen, können Sie davon ausgehen, dass alle Ziffern auf der rechten Seite als signifikante Zahlen zählen. Wenn wir also sagen, dass „1000 Menschen“ an der Veranstaltung teilgenommen haben, ist das eine Zahl mit vier signifikanten Ziffern. Wenn wir jedoch sagen, dass „1 Kilopersonen“ an der Veranstaltung teilgenommen haben, ist dies eine Zahl mit einer signifikanten Ziffer. Wenn wir sagen, dass „1,03 Kilopersonen“ an der Veranstaltung teilgenommen haben, ist das eine Zahl mit drei signifikanten Ziffern. Wir werden diese Konvention beim Aufschreiben von Problemen verwenden, aber die Ergebnisse können auch nur eine gerundete Zahl mit nachgestellten Nullen sein (d. h. anstatt „1,03 Kilopersonen“ zu schreiben, könnten wir das Ergebnis als 1030 Personen schreiben).

Eine weitere kleine Regel: Wenn eine Zahl exakt ist, dann hat sie im Grunde genommen unendlich viele signifikante Ziffern. So braucht es z. B. zwei Menschen, um ein Baby zu bekommen. Dies ist eine exakte Zahl. Es sind nicht 2,01 oder 2,00003 Menschen, es sind genau zwei. Für die Zwecke der signifikanten Zahlen hat dieser Wert also eine unendliche Anzahl von Ziffern. Umrechnungsfaktoren werden im Allgemeinen als exakte Werte betrachtet.

So zählt man also signifikante Stellen. Dies ist wichtig, weil die signifikanten Stellen Einfluss darauf haben, wie Berechnungen gerundet werden. Es gibt zwei Regeln – eine für das Multiplizieren und Dividieren und eine für das Addieren und Subtrahieren.

Beim Multiplizieren und Dividieren sollten Sie den Eingabewert mit den wenigsten signifikanten Stellen ermitteln. Das Ergebnis sollte dann auf so viele signifikante Stellen gerundet werden. Wenn wir z. B. $103 * 55$ haben, dann sollte das Ergebnis auf zwei signifikante Stellen gerundet werden. Obwohl das Ergebnis also 5665 beträgt, sollten wir es als 5700 ausweisen. Nehmen wir an,

wir haben $55,0 \div 3,00$. Da beide Eingabewerte drei signifikante Stellen haben, sollte auch das Ergebnis drei signifikante Stellen haben. Daher ist das Ergebnis 18,3.

Bei der Addition und Subtraktion werden anstelle von signifikanten Zahlen die Dezimalstellen der Zahlen aneinander gereiht, die Operation durchgeführt und das Ergebnis auf die Anzahl der verfügbaren Dezimalstellen des Eingabewerts gerundet, der die geringste Genauigkeit aufweist (die wenigen Zahlen rechts vom Dezimalpunkt). Wenn ich also z. B. $1,054 + 0,06$ habe, ist das Ergebnis 1,104. Das Ergebnis wird jedoch auf 1,10 gerundet, weil die 0,06 so viele Stellen nach dem Komma hat.

Bei einer Reihe von Operationen werden signifikante Zahlen in der Regel am Ende der gesamten Berechnung oder bei Bedarf verwendet, um die Komplikation von Zwischenergebnissen zu begrenzen. Taschenrechner runden ohnehin irgendwann für Sie, sodass sich eine gewisse Zwischenrundung nicht vermeiden lässt. Wenn Ihre Antwort um die kleinste signifikante Stelle von der im Buch angegebenen abweicht, ist es daher wahrscheinlich, dass Sie zwar richtig liegen, aber an verschiedenen Stellen Ihrer Berechnung gerundet haben.

In der professionellen wissenschaftlichen und technischen Datenberichterstattung sind signifikante Zahlen wichtig. Beim Herumspielen mit Elektronik sind sie viel weniger wichtig. Außerdem sind selbst die Regeln für signifikante Zahlen nicht perfekt – es gibt Stellen, an denen ihre Verwendung zu problematischen Ergebnissen führt. Ganze Bücher sind zu diesem Thema geschrieben worden.² Signifikante Zahlen gibt es nicht, weil sie perfekt sind, sondern damit wir alle eine gemeinsame, unkomplizierte Möglichkeit haben, die Genauigkeit unserer Ergebnisse zu kommunizieren. Das Wichtigste dabei ist, dass der Grad der Genauigkeit bei den Messungen den Grad der Genauigkeit bei den Berechnungen beeinflusst.

2.5 Anwenden, was Sie gelernt haben

1. Wie viele Nanometer sind 23 m?
2. Wie viele Sekunden sind $23,7 \mu\text{s}$?
3. Wie viel Gramm sind $89,43 \text{ Mg}$?
4. Wie viele Meter sind 15 nm ?
5. Wie viel Kilogramm sind $0,3 \mu\text{g}$?
6. Wie viele Millisekunden sind 45 ks ?

² Siehe z. B. Nicholas Highams *Accuracy and Stability of Numerical Algorithms*.