

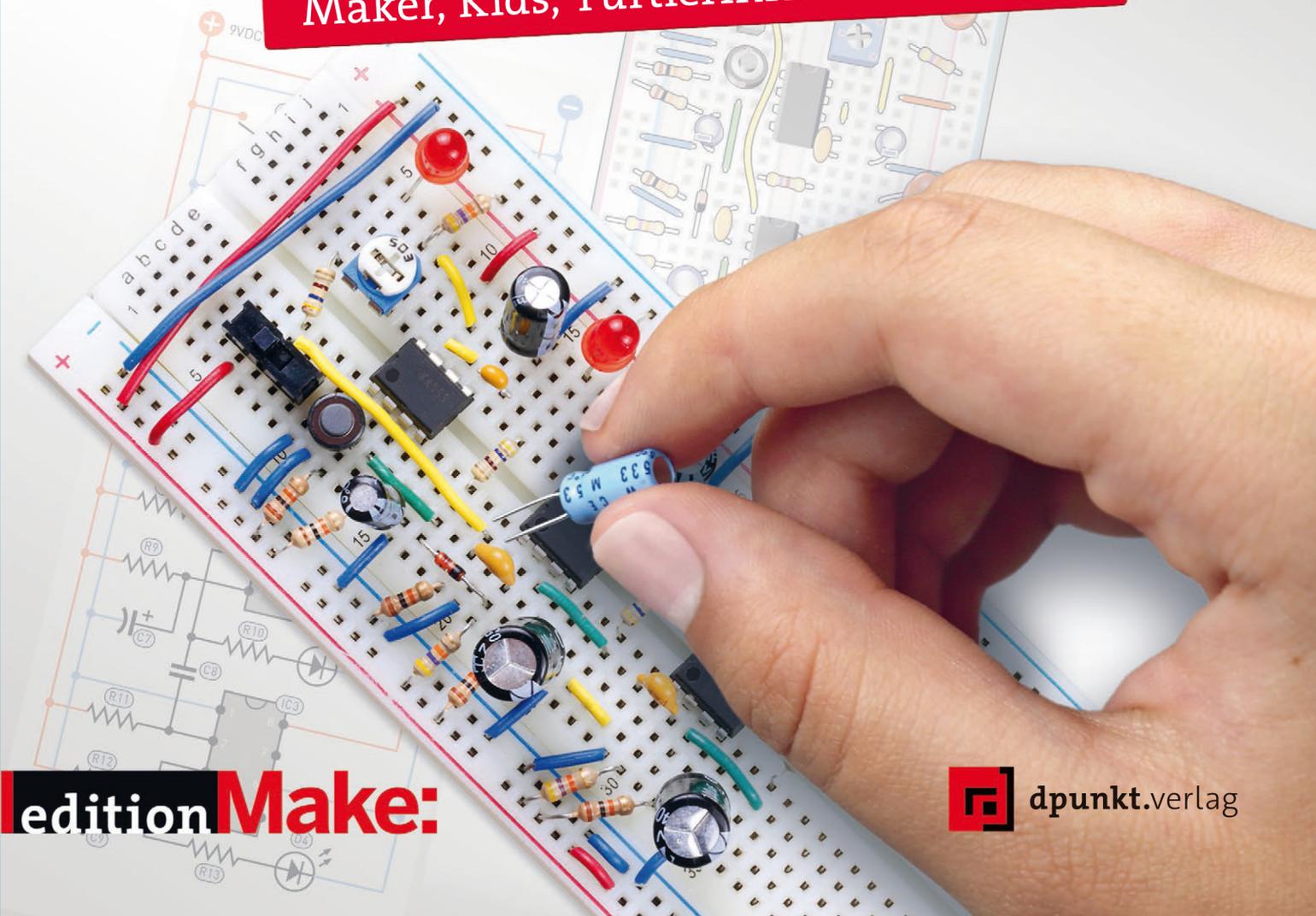
Testen, frickeln, ausprobieren – respektlos lernen!

**3.**  
Auflage

Charles Platt

# Make: ELEKTRONIK

Eine unterhaltsame Einführung für  
Maker, Kids, Tüftlerinnen und Bastler



edition **Make:**

 dpunkt.verlag

**Charles Platts** erstes Elektronik-Projekt war ein Telefonanrufbeantworter, den er mit 15 selbst baute. Er wurde Science-Fiction-Autor (*The Silicon Man*), brachte Leuten das Erstellen von Computergrafiken bei und schrieb für die Zeitschrift *Wired*, ehe er wieder zu seiner ersten Liebe, der Elektronik, zurückkehrte. Charles Platt ist Redakteur beim amerikanischen *Make*-Magazin und schrieb *Make: Elektronik*, »weil es das Buch ist, das ich mir als Teenager immer gewünscht habe.«

## edition **Make:**

In der »editionMake:« erscheinen Titel, die vom dpunkt.verlag gemeinsam mit der Redaktion der Zeitschrift »Make:« ausgewählt werden. Inhaltliche Schwerpunkte dieser Reihe sind »Maker«-Themen.

### Copyright und Urheberrechte:

Die durch die dpunkt.verlag GmbH vertriebenen digitalen Inhalte sind urheberrechtlich geschützt. Der Nutzer verpflichtet sich, die Urheberrechte anzuerkennen und einzuhalten. Es werden keine Urheber-, Nutzungs- und sonstigen Schutzrechte an den Inhalten auf den Nutzer übertragen. Der Nutzer ist nur berechtigt, den abgerufenen Inhalt zu eigenen Zwecken zu nutzen. Er ist nicht berechtigt, den Inhalt im Internet, in Intranets, in Extranets oder sonst wie Dritten zur Verwertung zur Verfügung zu stellen. Eine öffentliche Wiedergabe oder sonstige Weiterveröffentlichung und eine gewerbliche Vervielfältigung der Inhalte wird ausdrücklich ausgeschlossen. Der Nutzer darf Urheberrechtsvermerke, Markenzeichen und andere Rechtsvorbehalte im abgerufenen Inhalt nicht entfernen.

# Make: Elektronik

Eine unterhaltsame Einführung für Maker, Kids,  
Tüftlerinnen und Bastler

3., komplett überarbeitete Auflage

**Charles Platt**

Deutsche Übersetzung von Frank Langenau

Charles Platt

Lektorat: Gabriel Neumann

Lektoratsassistentz: Anja Weimer

Übersetzer: Frank Langenau, Chemnitz

Copy-Editing: Annette Schwarz, Ditzingen

Satz: Veronika Schnabel

Herstellung: Stefanie Weidner

Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, [www.exclam.de](http://www.exclam.de)

Druck und Bindung: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

ISBN:

Print 978-3-86490-867-5

PDF 978-3-96910-824-6

ePub 978-3-96910-825-3

mobi 978-3-96910-826-0

3., komplett überarbeitete Auflage 2022

Translation Copyright für die deutschsprachige Ausgabe © 2022 dpunkt.verlag GmbH

Wieblinger Weg 17, 69123 Heidelberg

Authorized German translation of the English edition of *Make: Electronics, 3rd edition*,

ISBN 9781680456875, © 2021 Helpful Corporation, published by Make Community LLC.

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to sell the same.

Dieses Buch erschien in der ersten Auflage unter dem gleichen Titel im O'Reilly Verlag, Köln.

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten.

Die Verwendung der Texte und Abbildungen, auch auszugsweise, ist ohne die schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und daher strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die im Buch verwendeten Soft- und Hardware-Bezeichnungen sowie Markennamen und Produktbezeichnungen der jeweiligen Firmen im Allgemeinen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz unterliegen.

Alle Angaben und Programme in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt kontrolliert. Weder Autor noch Verlag noch Übersetzer können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Buches stehen.

5 4 3 2 1 0

---

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>Vorwort</b>	<b>So macht dieses Buch am meisten Spaß.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. Die Grundlagen</b>		<b>1</b>
Was du für Kapitel 1 brauchst		1
Experiment 1: Elektrizität schmecken		8
Aufräumen und Weiterverwendung		13
Experiment 2: Mit dem Strom schwimmen		14
Experiment 3: Druck ausüben		24
Es ist das Gesetz!		29
Experiment 4: Wärme und Leistung		33
Experiment 5: Wir bauen uns eine Batterie		39
<b>2. Schalten</b>		<b>45</b>
Was du für Kapitel 2 brauchst		45
Experiment 6: Verbindungen herstellen		54
Experiment 7: Ein Relais untersuchen		64
Experiment 8: Ein Relais-Oszillator		69
Experiment 9: Zeit und Kondensatoren		83
Experiment 10: Transistorschalter		92
Experiment 11: Licht und Sound		104
<b>3. Löten</b>		<b>121</b>
Was du für Kapitel 3 brauchst		121
Experiment 12: Zwei Drähte miteinander verbinden		130
Experiment 13: Eine LED braten		139
Experiment 14: Ein tragbares Blinklicht		141

<b>4. Chips, Ahoi!</b>	<b>149</b>
Was du für Kapitel 4 brauchst	149
Experiment 15: Einen Impuls erzeugen	154
Experiment 16: Den Ton bestimmen	165
Experiment 17: Eine alarmierende Idee	176
Experiment 18: Reflextester	192
Experiment 19: Logik lernen	204
Experiment 20: Das Codeschloss	216
Experiment 21: Die Tastersperre	227
Experiment 22: Kippen und Prellen	234
Experiment 23: Elektronischer Würfel – aka Nice Dice	238
<b>5. Was kommt jetzt?</b>	<b>253</b>
Aufbewahrung	253
Der Arbeitsbereich	257
Weiterführende Informationen	260
Experiment 24: Magnetismus	261
Experiment 25: Stromerzeugung auf der Tischplatte	265
Experiment 26: Lautsprecherzerstörung	271
Experiment 27: So reagiert eine Spule	275
Experiment 28: Ein Radio, kein Löten, kein Strom	279
Experiment 29: Hardware trifft Software	286
Experiment 30: Nicer Dice	297
Kapitel 31: Der Lernprozess	308
<b>6. Anhang A – Spezifikationen</b>	<b>319</b>
Unbedingt erforderlich	319
Spezifikationen für Kapitel 1	320
Spezifikationen für Kapitel 2	321
Spezifikationen für Kapitel 3	324
Spezifikationen für Kapitel 4	327
<b>7. Anhang B – Quellen</b>	<b>331</b>
Bausätze	331
Zusätzliche Teile	331
Der örtliche Einzelhandel	332
Online-Quellen für Werkzeuge und Zubehör	333
Online-Quellen für elektronische Bauelemente	333
Strategien für die Online-Suche	334
<b>Index</b>	<b>343</b>

## Danksagung

Viele Menschen haben mich beim Schreiben und bei der Herstellung dieses Buches unterstützt. Besonders dankbar bin ich David Cursons, Jolie de Miranda, Assad Ebrahim, Brian Good, Paul Henley, Brian Jepson, Roger Stewart und Frederick Wilson, die ihr Wissen mit mir geteilt und mich auf Fehler hingewiesen haben. Mein Dank gilt auch Jeff Palenik für sein Bürgerkriegsspiel und vor allem Fredrik Jansson, dem geduldigsten und verständnisvollsten Mitarbeiter, den man sich als Autor nur wünschen kann.

Umschlag- und Rückseitengestaltung ist von Juliann Brown, die mich auch bei der Vorbereitung und Herstellung dieses Buches beraten hat. Innengestaltung, Fotos, Diagramme und Schaltpläne stammen von Charles Platt.

Fotografie auf der vorderen Umschlagseite von Charles Platt, von der Hand von Neon, bearbeitet von C. Dawes, mit künstlichem Daumennagel aus dem Drogeriemarkt.

Mein Redakteur, Patrick DiJusto, hat mich immer wieder ermutigt. Dale Dougherty und Gareth Branwyn gaben mir jegliche Freiheit, die erste Ausgabe von Make: Electronics so zu schreiben, wie ich es wollte, bevor jemand von »Lernen durch Entdecken« gehört hatte.

## Widmung

Diese dritte Ausgabe ist dem Andenken an Hans Camenzind gewidmet, einem brillanten Entwickler analoger integrierter Schaltungen, der in den frühen Tagen des Silicon Valley aus der Schweiz in die Bay Area kam. Eine Zeit lang arbeitet er bei Signetics, kündigte dann, um den 555-Timer ganz allein zu entwickeln. Er wurde zum meistverwendeten integrierten Schaltkreis der Geschichte, da über einen Zeitraum von fünfzig Jahren viele Milliarden Exemplare hergestellt wurden. Auch heute noch wird er von fast jedem, der sich mit Elektronik beschäftigt, irgendwann einmal verwendet.



# So macht dieses Buch am meisten Spaß

## VORWORT

Make: Elektronik kehrt das traditionelle System des Lernens um. Anstatt mit einer Theorie zu beginnen und dann ein Experiment vorzuschlagen, um sie zu überprüfen, ziehe ich es vor, mit einem Experiment zu beginnen und dich dann zu ermutigen, die Theorie dazu herauszufinden. Dieses System nenne ich Lernen durch Entdecken, und es gefällt mir aus zwei Gründen:

- Es ist interessanter.
- Es ist näher dran an der Methodik, wie Wissenschaft in der realen Welt betrieben wird.

In der experimentellen Wissenschaft können Beobachtungen zu einem neuen Verständnis eines natürlichen Phänomens führen. Warum sollte jemand, der Elektronik lernt, nicht eine ähnliche Erfahrung machen können? Zu entdecken, wie Bauelemente funktionieren, klingt für mich interessanter, als die Antwort schon vorher zu kennen.

Der einzige Nachteil meines Ansatzes ist, dass man praktische Projekte realisieren muss, um den vollen Nutzen daraus zu ziehen. Glücklicherweise haben die Bauelementelieferanten Bausätze für dieses Buch entwickelt, sodass du alles, was du brauchst, aus einer Hand und zu einem relativ bescheidenen Preis erhalten kannst.

## Neu in der dritten Ausgabe

Die erste und zweite Ausgabe des englischsprachigen Originals, *Make: Electronics*, haben sich in Hunderttausenden von Exemplaren verkauft, und es gibt neben der deutschen mehrere anderssprachige Ausgaben. Dieser Erfolg hat mich überrascht und erfreut, aber mein Buch wird sich nur dann weiterhin gut verkaufen, wenn es die Bedürfnisse der Leser befriedigt. Mit diesem Ziel vor Augen habe ich mich an die dritte Ausgabe gemacht.

Ein großer Teil des Textes wurde umgeschrieben.

Die meisten Schaltpläne und Zeichnungen wurden aktualisiert. Breadboard-Layouts zeigen jetzt deutlichere Bilder der Bauelemente.

Vorschläge für Werkzeuge wurden aktualisiert, teilweise als Reaktion auf das Feedback von Lesern.

In vielen Fällen wurden klarere Fotos verwendet.

Einige Experimente wurden nach dem Feedback von Lesern überarbeitet.

Mehrere Projekte wurden neu gestaltet, um mit weniger Bauelementen in Schaltungen auszukommen, die meiner Meinung nach jetzt leichter zu verstehen sind.

Die letzten drei Hauptabschnitte, die den Arduino einführen, sind überarbeitet worden, und ich habe einen Überblick über andere Typen von Mikrocontrollern hinzugefügt.

## Wird es schwierig sein?

Ich habe für dieses Buch mit einem führenden Anbieter von Bausätzen zusammengearbeitet, um die Anzahl der für die Experimente benötigten Bauelemente zu verringern und die Palette der Bauelemente zu vereinfachen, sodass du sie zu geringeren Kosten durchführen kannst.<sup>1</sup>

Eine Folge dieser Verbesserungen ist, dass die Bausätze für die zweite Ausgabe nicht genau die Bauelemente enthalten, die du für diese dritte Ausgabe des Buches benötigst. Ich werde wiederholt darauf hinweisen, weil ich nicht möchte, dass die Leser enttäuscht sind, wenn sie einen alten Bausatz kaufen und dann feststellen müssen, dass er nicht ganz zum neuen Text passt. Achte also bitte sorgfältig auf die Wörter »Dritte Ausgabe«, wenn du einen Bausatz kaufst.

## Der Zweck dieses Buches

Jeder benutzt elektronische Geräte, aber viele Menschen sind sich nicht darüber im Klaren, was in den Geräten vor sich geht.

Vielleicht denkst du, dass man das nicht wissen muss. Du kannst Auto fahren, ohne die Funktionsweise eines Verbrennungsmotors zu kennen. Warum also solltest du etwas über Elektrizität und Elektronik lernen?

Ich denke, dafür gibt es drei Gründe:

- Wenn man lernt, wie Technik funktioniert, kann man die Welt um sich herum besser kontrollieren, anstatt von ihr kontrolliert zu werden. Stößt man auf Probleme, kann man sie lösen, anstatt sich von ihnen frustrieren zu lassen.
- Es kann Spaß machen, etwas über Elektronik zu lernen, sofern man in der richtigen Weise vorgeht. Außerdem ist es erschwinglich.
- Elektronikkenntnisse können deinen Wert als Arbeitnehmer steigern oder dir vielleicht sogar ganz neue Karrieremöglichkeiten eröffnen.

<sup>1</sup> Hinweise dazu gibt es im Anhang B ab Seite 331.

## Dinge durcheinanderbringen

Ein wichtiger Aspekt beim Lernen durch Entdecken ist, dass du von vornherein darauf gefasst sein sollst, Fehler zu machen. Vielleicht funktioniert eine Schaltung einfach nicht oder du brennst einige Bauelemente durch.

Ich betrachte dies als einen positiven Aspekt, denn es ist ein offenes Geheimnis, dass man aus Fehlern lernt. Deshalb möchte ich, dass du Dinge durchbrennst und durcheinanderbringst, um das Verhalten und die Grenzen der Teile, mit denen du zu tun hast, mit eigenen Augen zu sehen. Die sehr geringen Spannungen, die in den Experimenten dieses Buches verwendet werden, können zwar empfindliche Bauelemente beschädigen, stellen aber für dich keine Gefahr dar.

Habe keine Angst davor, Fehler zu machen. Transistoren und LEDs sind preiswert und leicht zu ersetzen.

## Wird es schwierig sein?

Ich gehe davon aus, dass du ohne großes Vorwissen über Elektronik anfängst. Deshalb sind die ersten Experimente auch äußerst einfach gehalten. Du brauchst noch nicht mal Experimentierplatinen oder einen Lötkolben.

Ich glaube nicht, dass die Konzepte schwer zu verstehen sind. Wenn du dich eingehender mit Elektronik befassen und deine eigenen Schaltungen entwerfen willst, kann dies natürlich zu einer Herausforderung werden. Aber in diesem Buch habe ich die Theorie auf ein Minimum beschränkt, und als mathematische Kenntnisse brauchst du nur Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division. Außerdem ist es hilfreich (aber nicht unbedingt notwendig), wenn du die Verschiebung von Dezimalkommata beherrscht, um mit 10 zu multiplizieren und zu dividieren.

## Wie dieses Buch aufgebaut ist

Die meisten Informationen werden in Form von Tutorials präsentiert, die nur wenige Abschnitte umfassen und eher zum späteren Nachschlagen gedacht sind.

Die Konzepte und Themen habe ich in einer kumulativen Reihenfolge eingeführt. Du kannst das Buch nach Belieben durchblättern, aber die Experimente in den späteren Kapiteln setzen Kenntnisse voraus, die du in den früheren Kapiteln erworben hast. Daher schlage ich vor, dass du die Experimente in der numerischen Reihenfolge ausführst und dabei möglichst wenige überspringst.

## Wenn etwas nicht funktioniert

Normalerweise gibt es nur eine Möglichkeit, eine funktionierende Schaltung aufzubauen, während es dagegen Hunderte Möglichkeiten gibt, Fehler zu machen, die ein Funktionieren verhindern. Demzufolge stehen die Chancen schlecht für dich, wenn du nicht sorgfältig und methodisch vorgehst.

Ich weiß, wie frustrierend es sein kann, wenn die Bauelemente einfach so daliegen und nichts tun, doch wenn du eine Schaltung gebaut hast, die nicht funktioniert, ist es kontraproduktiv, sich darüber zu ärgern. Der einzige Weg, das Problem zu finden, besteht darin, jedes Detail systematisch zu untersuchen.

Alle Experimente wurden auf dem Prüfstand getestet, sodass ich weiß, dass die Schaltungen gut sind. Wenn bei dir etwas nicht funktioniert, kommen vor allem folgende Probleme infrage:

- Du hast einen Verdrahtungsfehler gemacht. Jeder macht Fehler bei der Verdrahtung; ich selbst habe gerade heute einen gemacht. Deine Chancen, den Fehler zu entdecken, steigen, wenn du dich eine halbe Stunde von deinem Arbeitsplatz entfernst und etwas anderes tust, bevor du zurückkehrst, um dir den Fehler erneut anzusehen.

- Du hast vielleicht ein Bauelement überlastet, beispielsweise einen Transistor oder einen Chip, sodass er nicht mehr funktioniert. Versuche, einige Ersatzteile parat zu haben, nur für den Fall.
- Möglicherweise besteht zwischen einem Bauelement und dem Breadboard eine schlechte Verbindung. Versuche, an losen Bauelementen herumzuwackeln, Spannungen zu messen und, falls nötig, wichtige Bauelemente an eine etwas andere Stelle auf der Platine zu verschieben.

Ausführlichere Ratschläge zur Fehlersuche findest du später in diesem Buch. Ich erwähne das Thema hier, weil ich dir einen Rat geben muss, was du tun kannst, wenn du eine Schaltung nicht zum Laufen bringst: Im Gegensatz zu den meisten Autoren unterhalte ich eine E-Mail-Adresse, über die du mich direkt kontaktieren kannst. Ich bitte dich nur darum, einige Richtlinien zu beachten.

## Eine Frage stellen

Auch mein Zeitbudget ist nicht unerschöpflich, aber ich versuche, alle Anfragen zu beantworten.<sup>2</sup> Bitte habe etwas Geduld. Manchmal kann ich noch am selben Tag antworten, aber manchmal kann es auch eine Woche dauern, bis du etwas von mir hörst.

Wenn du mich kontaktierst, bitte ich dich, ...

- Fotos des nicht funktionierenden Projekts beizufügen. Ich muss alle Details sehen können, beispielsweise die Farben der Ringe auf Widerständen.
- mir das Projekt, an dem du gearbeitet hast, mitzuteilen und den Titel des Buches anzugeben, in dem es veröffentlicht wurde. Denke daran, dass ich mehrere Bücher über Elektronik geschrieben habe, sodass ich wissen muss, auf welches Buch du dich beziehst.

<sup>2</sup> Bedenke bitte, dass du zwar eine deutsche Übersetzung meines Buches in Händen hältst, dass ich aber auf Englisch kommuniziere. Deutschsprachige Anfragen oder Mitteilungen werde ich nicht bearbeiten können, wohl aber der dpunkt.verlag, auf den im nächsten Abschnitt hingewiesen wird.

## Updates erhalten

- das Problem genau zu beschreiben! Erläutere mir das Problem so, als ob du beim Arzt ein körperliches Symptom schildern und um eine Diagnose bitten würdest.

Schicke deine Nachricht an:

*make.electronics@gmail.com*

und schreibe HELP in die Betreffzeile.

## Einen Fehler melden

Wenn ich ein Buch schreibe, habe ich noch mehr Möglichkeiten, Fehler zu machen, als wenn du eine Schaltung aufbaust. Natürlich tue ich alles, was ich kann, um Fehler zu minimieren. Aber wenn du einen Fehler findest, melde ihn bitte. Du kannst dazu meine persönliche E-Mail-Adresse verwenden oder die – natürlich englischsprachige – »Errata«-Seite von O'Reilly and Associates (USA) benutzen, die das Original dieses Buchs vertreiben. Wenn du mir schreibst, hat das den Vorteil, dass ich dir persönlich antworten und das Problem gegebenenfalls besprechen kann. Der Vorteil des O'Reilly-Systems ist, dass du die Berichte anderer Leute lesen und sehen kannst, ob du auf etwas gestoßen bist, das bereits gelöst wurde. Und nachdem du einen Bericht an die O'Reilly-Website geschickt hast, können andere Leute ihn lesen. Die O'Reilly-Site (USA) findest du hier:

[www.oreilly.com/catalog/errata.sp?isbn=9781680456875](http://www.oreilly.com/catalog/errata.sp?isbn=9781680456875)

Schließlich kannst du dich (auch in deutscher Sprache) an den dpunkt.verlag wenden, der diese Übersetzung herausgibt:

*hallo@dpunkt.de*

Die deutschsprachige Webseite zum Buch heißt:

<https://dpunkt.de/produkt/make-elektronik-2/>

## Updates erhalten

Auch wenn du keine Probleme oder Anfragen hast, möchte ich dich bitten, deine E-Mail-Adresse bei mir zu registrieren. Ich werde sie für die folgenden Zwecke heranziehen:

- Ich werde dich benachrichtigen, wenn in diesem Buch oder im Nachfolger *Make: More Electronics* Fehler gefunden wurden und ich Workarounds bereitstelle.
- Ich werde dich über alle Fehler oder Probleme im Zusammenhang mit Bausätzen von Bauelementen informieren, die in Verbindung mit diesem Buch oder mit *Make: More Electronics* verkauft werden.
- Ich werde dich benachrichtigen, wenn es eine völlig neue Ausgabe dieses Buches oder meiner anderen Bücher gibt. Diese Benachrichtigungen werden nur in Abständen von ein oder zwei Jahren erfolgen.

Deine E-Mail-Adresse werde ich nicht für andere Zwecke verwenden und sie weder verkaufen noch an Dritte weitergeben. (Ich wüsste auch gar nicht, wie man E-Mail-Adressen verkauft oder wer sie kaufen könnte.)

Wenn du deine E-Mail-Adresse registrierst, schicke ich dir ein unveröffentlichtes Elektronikprojekt mit Konstruktionsplänen als zweiseitiges PDF (in englischer Sprache). Es wird unterhaltsam sein, es wird einzigartig sein und es wird relativ einfach sein. Du wirst es auf keine andere Art und Weise bekommen können.

Der Grund, warum ich dich zur Teilnahme auffordere: Wenn meine Arbeit einen Fehler enthält und ich keine Möglichkeit habe, dich darauf hinzuweisen, so wirst du dich wahrscheinlich ärgern, wenn du ihn später selbst entdeckst. Das wäre schlecht für meinen Ruf, also möchte ich vermeiden, dass du dich beschwerst.

Sende mir einfach eine leere E-Mail (oder füge einige Kommentare hinzu, wenn du möchtest) an:

*make.electronics@gmail.com*

Schreibe bitte REGISTER in die Betreffzeile.

Ich muss die E-Mails manuell bearbeiten, denn manchmal wollen die Leute eine persönliche Antwort, auch wenn sie sich nur anmelden. Erwarte keinen sofortigen automatischen Anmeldeprozess! Wenn ich in Urlaub fahre, kann es sein, dass du dein »spezielles Bonusprojekt« erst in einigen Wochen erhältst. Aber du wirst es schließlich bekommen. Verzögerungen sind die unvermeidliche Folge davon, dass ich die Dinge selbst in die Hand nehme.

## Die Öffentlichkeit

Wenn du frustriert bist, möchtest du dich vielleicht beschweren, und eine Möglichkeit, sich zu beschweren, sind Leserrezensionen, insbesondere auf den Seiten von Amazon. Wenn du das vorhast, kontaktiere mich bitte zuerst, um zu sehen, ob ich mich um deine Beschwerde kümmern kann. Sei dir der Macht bewusst, die du als Leser hast, und gehe bitte fair mit ihr um. Eine einzige negative Bewertung kann eine größere Wirkung haben, als dir vielleicht bewusst ist. Sie kann zweifellos ein halbes Dutzend positiver Bewertungen aufheben. In einigen Fällen haben sich Leute über Kleinigkeiten geärgert, zum Beispiel darüber, dass sie keine Quelle für ein Bauelement finden konnten. Ich hätte ihnen gerne geholfen, wenn sie mich darum gebeten hätten.

Der Online-Verkauf ist meine Haupteinnahmequelle, und meine Viereinhalb-Sterne-Bewertung ist wichtig. Wenn dir die Art und Weise, wie ich dieses Buch geschrieben habe, einfach nicht gefällt, solltest du das natürlich sagen.

## Wie geht es weiter?

Nachdem du dich durch dieses Buch gearbeitet hast, kennst du viele der grundlegenden Prinzipien der Elektronik. Wenn du mehr wissen willst, ist mein Buch *Make: More Electronics* (bislang nicht in deutscher Sprache erschienen) sicher der perfekte nächste Schritt. Es ist etwas schwieriger, verwendet aber die gleiche »Lernen durch Entdecken«-Methode, wie ich sie hier verfolgt habe. Mit dem Nachfolgebuch möchte ich dein Wissen über Elektronik auf ein »mittleres Niveau« bringen.

Ich bin leider nicht qualifiziert, ein Handbuch für »Fortgeschrittene« zu schreiben, also erwarte nicht, dass ein drittes Buch mit einem Titel wie *Make: Even More Electronics* erscheint.

Du kannst gerne auch die Nachschlagewerke kaufen, die ich geschrieben habe: *The Encyclopedia of Electronic Components* umfasst drei Bände, von denen zwei in Zusammenarbeit mit einem sehr klugen Forscher namens Fredrik Jansson entstanden sind. Die Bauelemente sind nach Kategorie aufgelistet. Wenn du also ein Bauelement nachschlägst und es nicht genau das ist, was du suchst, könnte schon das nächste Bauelement – von dem du vielleicht noch nie gehört hast – die Antwort auf dein Problem sein.

Und für den Fall, dass du jemanden kennst, der jünger ist und nur eine kurze Aufmerksamkeitsspanne hat, habe ich ein viel kürzeres Buch mit dem Titel *Easy Electronics* geschrieben, das meiner Meinung nach die einfachstmögliche Einführung in die grundlegenden Ideen ist. Zu diesem Buch ist ein Bausatz erhältlich, und die Projekte sind so einfach, dass man nicht einmal Werkzeug braucht, um sie zusammenzubauen. Stell dir das vor: ein praktisches Buch, für das man kein Werkzeug braucht!

Wenn du dich für die Herstellung von Dingen interessierst, muss ich mein Buch *Werkzeuge für Maker und Bastler* erwähnen, das ein Leitfaden für die Verwendung von Handwerkzeugen ist und dem gleichen praktischen Ansatz folgt wie *Make: Elektronik*. Ich beschreibe zunächst, wie du eine Handsäge verwendest, und zeige schließlich, wie du kleine Gehäuse aus Kunststoff bauen kannst – was genau das Richtige für deine Elektronikprojekte sein könnte.

– Charles Platt



# Die Grundlagen

# 1

Dieser Abschnitt enthält die Experimente 1 bis 5.

Ich möchte mit Experiment 1 erreichen, dass du in Sachen Elektrizität auf den Geschmack kommst – und zwar im wahrsten Sinne des Wortes. Du experimentierst mit dem elektrischen Strom und entdeckst das Wesen des elektrischen Widerstands.

In den Experimenten 2 und 3 misst du mit einem Messgerät Strom und Spannung und in Experiment 4 berechnest du die elektrische Leistung. Nebenbei kannst du eine LED verglühen lassen, eine Sicherung durchbrennen und ein grundlegendes Gesetz der Elektronik ableiten. Experiment 5 ist als unterhaltsamer Versuch gedacht, mit Alltagsgegenständen auf einer Tischplatte Strom zu erzeugen.

Diese Experimente werden einige wichtige Konzepte verdeutlichen. Selbst wenn du schon über Grundwissen auf dem Gebiet der Elektronik verfügst, solltest du diese Experimente ausprobieren, bevor du dich an die anderen Teile des Buches heranwagst.

## Was du für Kapitel 1 brauchst

Jedes Kapitel in diesem Buch beginnt mit Bildern und Beschreibungen der benötigten Werkzeuge, Geräte, Bauelemente und Materialien. Wenn du unsicher bist, was du genau kaufen sollst, findest du weitere Einzelheiten in Anhang A ab Seite 319. Willst du wissen, wo du Bauelemente und Materialien online oder im stationären Einzelhandel bekommst, findest du eine Liste von Bezugsquellen in Anhang B ab Seite 331.

## Das Multimeter

Ein *Handmultimeter* ist das wichtigste Instrument, wenn du dich mit Elektronik befasst. Es sagt dir, was in einer Schaltung passiert, genau wie ein MRT-Gerät dem Arzt sagt, was im menschlichen Körper vor sich geht.

Das »Multi« in »Multimeter« bedeutet, dass es mehrere Messfunktionen bietet, wobei Spannung, Strom und elektrischer Widerstand die wichtigsten sind. Wenn der Elektroniker beiläufig von »Messgerät« spricht, meint er mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Multimeter. Anfangs mag es kompliziert oder einschüchternd wirken, aber in Wirklichkeit ist es einfacher als ein modernes Telefon und nicht schwieriger zu bedienen als eine Kamera.

Das Messgerät, das du brauchst, heißt eigentlich *Digitalmultimeter*, da es eine digitale Anzeige besitzt. Manchmal wirst du es auch mit einem *Analogmultimeter* zu tun bekommen, das eine Nadel über eine Skala bewegt. Allerdings ist es nicht so einfach in der Anwendung, und ich empfehle es auch nicht.

Abbildung 1–1 zeigt eines der kleinsten und einfachsten Messgeräte, die ich finden konnte. Wenn du möglichst wenig Geld ausgeben möchtest, kommst du für alle Experimente von 1 bis 30 mit einem derartigen Gerät aus und kannst meine übrigen Ausführungen zu Messgeräten überspringen. Willst du hingegen wissen, welche Vorteile es bringt, etwas mehr zu investieren, dann lies weiter.

## Bereichsumschaltung

Ein teureres Messgerät beschert dir vor allem eine *automatische Bereichswahl*. Zur Erklärung: Stell dir vor, du möchtest die Temperatur messen. Falls du ein Back-

ofenthermometer nimmst, kannst du froh sein, wenn es in einem Bereich von 90 bis 250 °C auf 5 Kelvin genau misst. Aber wenn du deine Körpertemperatur misst, sollte die Genauigkeit besser bei 0,1 Kelvin in einem engen Bereich von 35 bis 41 °C liegen.

Ähnlich verhält es sich, wenn man die Spannung oder andere elektrische Werte misst. Manchmal ist man an niedrigen Werten und hoher Genauigkeit interessiert, ein anderes Mal will man hohe Werte messen und nimmt dafür eine geringere Genauigkeit in Kauf.

Bei einem Messgerät mit *manueller Bereichswahl* musst du mit einem Drehschalter vor der Messung einen Bereich auswählen. Um zum Beispiel die Spannung einer 1,5-Volt-AA-Batterie zu prüfen, stellst du den Messbereich auf 2 Volt und das Messgerät zeigt dann die tatsächliche Spannung mit guter Genauigkeit an.

Ein Messgerät mit *automatischer Bereichswahl* tastet die Spannung ab und wählt eigenständig den passenden Bereich. Das ist zwar komfortabel, und Messgeräte mit automatischer Bereichswahl werden immer erschwinglicher – doch ich persönlich mag sie nicht wirklich. Das Messgerät braucht jedes Mal einige Sekunden, um sich für einen Messbereich zu entscheiden. Ich bin aber ungeduldig und ziehe deshalb manuelle Messgeräte vor. Und da du den Bereich nicht selbst ausgewählt hast, weißt du auch nicht sofort, was die Zahlen in der Anzeige bedeuten. Angenommen, du siehst **1,48**. Sind das nun Volt oder Millivolt? In der Anzeige erscheint zwar ein kleines V oder mV, doch wenn du nicht genau darauf achtest, schleichen sich Fehler ein.

- Ich schlage dir vor, ein Messgerät mit manueller Bereichswahl zu verwenden. So gibt es weniger Möglichkeiten, Fehler zu machen, es kostet weniger als ein vergleichbares Messgerät mit automatischer Bereichswahl und es ist weniger frustrierend, wenn du genauso ungeduldig bist wie ich.

Woran erkennst du, ob ein Bild auf einer Website ein Messgerät mit automatischer oder manueller Bereichswahl zeigt? Bei einem automatischen Gerät geht dies normalerweise aus der Produktbeschreibung hervor – doch wenn du im Zweifel bist, sieh dir den Wahlschalter an. Ein Gerät mit automatischer Bereichswahl kommt ohne die vielen Zahlen für die Messbereiche aus und könnte wie in Abbildung 1–2 aussehen. Ein Messgerät mit manueller Bereichswahl entspricht eher dem in Abbildung 1–3.

Meine weiteren Ausführungen zu Messgeräten beziehen sich hauptsächlich auf solche mit manueller Bereichswahl.

## Der Preis

Ratschläge zu geben, welches Messgerät du kaufen sollst, wäre so, als würde man jemanden beim Kauf eines Autos beraten. Das Verhältnis zwischen dem Preis des billigsten Autos und dem Preis des exotischsten Modells kann etwa 1:100 betragen, und dasselbe gilt für Messgeräte. Außerdem können sich die Preise im Laufe der Zeit ändern.

Wenn ich auf diese Fragen eingehe, nehme ich das Messgerät in Abbildung 1–1 als *Basismodell* an. Was gewinnst du, wenn du ein teureres Messgerät kaufst?



**Abbildung 1–1.** Ein einfaches digitales Multimeter. Die Linien auf dem untergelegten Papier haben einen Abstand von 1 Zoll (2,54 cm).



**Abbildung 1–2.** Ein Messgerät mit automatischer Bereichswahl



**Abbildung 1–3.** Ein Messgerät mit manueller Bereichswahl

Eine Antwort könnte Langlebigkeit sein. Das konkrete Messgerät habe ich nicht über einen längeren Zeitraum verwendet, aber es ist davon auszugehen, dass die Kontakte des Wahlschalters auf der Vorderseite des Messgeräts mit der Zeit verschleifen. Das mag für dich keine Rolle spielen, wenn du noch nicht weißt, ob du langfristig an Elektronik interessiert sein wirst.

Für mehr Geld kannst du auch mehr Funktionen bekommen, doch lässt sich das hier nicht so einfach erörtern, weil die Funktionen eine gewisse Terminologie voraussetzen. Bisher habe ich nämlich noch nichts über Spannung und Stromstärke gesagt, geschweige denn über Transistortests. Deshalb zeige ich dir nur die Symbole und Abkürzungen, die du wahrscheinlich am Wahlschalter an der Vorderseite eines Messgeräts sehen wirst, und weise darauf hin, welche wichtig sind. Ihre genaue Bedeutung lernst du im Laufe des Buches kennen.

In Abbildung 1–4 sind die rot dargestellten Elemente unerlässlich. Die schwarz angegebenen Funktionen sind zwar nützlich, aber für die Experimente in diesem Buch nicht unbedingt erforderlich.

Die Hersteller von Messgeräten entwickeln zwar ständig neue Funktionen, die zwar beeindruckend klingen, oft aber nicht sehr nützlich sind. So nennen die folgenden Punkte einige Beispiele für Funktionen, die du nicht wirklich brauchst:

- **NCV** steht für »No Contact Voltage«, d. h. berührungsloses Testen. Wenn du das Messgerät in die Nähe einer Steckdose oder eines Kabels in deiner Wohnung bringst, sagt dir das Messgerät, ob Spannung vorhanden ist. Für *Make: Elektronik* ist das nicht relevant.
- **Temperaturmessung**. Das Messgerät kann zwar feststellen, ob ein Bauteil überhitzt ist, doch für unsere Zwecke genügt es, das Bauteil mit dem Finger zu berühren.
- Tasten für **Max/Min** und **Hold**. Diese Funktionen sind nützlich, wenn du einen sich schnell ändernden Wert erfassen möchtest, doch wirst du das höchstwahrscheinlich kaum benötigen.

Schalterstellungen			
<b>V</b>	Spannung (elektrischer Druck)	<b>A</b>	Strom (elektrischer Fluss, in Ampere)
<b>Ω</b>	Elektrischer Widerstand (in Ohm)	<b>mA</b>	Milliampere (Tausendstel eines Ampere)
 OR <b>F</b>	Kapazität (in Farad)	<b>Hz</b>	Elektrische Frequenz (in Hertz)
	Gleichstrom (Direct Current, DC)		Wechselstrom (Alternating Current, AC)
	Diodentest		Batterietester
 oder 	Durchgangs- prüfung (das Messgerät piept)	<b>hFE</b> und/oder <b>NPN</b> <b>PNP</b>	Transistortester

**Abbildung 1–4.** Symbole und Abkürzungen, die auf Multimetern am gebräuchlichsten sind. Unerlässliche Elemente sind rot dargestellt.

- Hintergrundbeleuchtung der Anzeige. Im Allgemeinen wirst du eine gute Schreibtischlampe verwenden, wenn du mit Bauteilen umgehst, wobei das Multimeter dann auch keine Hintergrundbeleuchtung braucht.

Den sechs Buchstaben und Symbolen in der oberen Hälfte von Abbildung 1–4 sind oft *Multiplikatoren* vorangestellt. So ist zum Beispiel **m** ein Multiplikator mit dem Wert 1/1000, sodass **mV** für den tausendsten Teil eines Volts steht. Der griechische Buchstabe **μ** (ausgesprochen »mü«) ist ein Multiplikator mit dem Wert 1/1.000.000, sodass **μA** den millionsten Teil eines Amperes bezeichnet. Die Multiplikatoren für Maßeinheiten bezeichnet man auch als *Einheitenvorsätze*. Der Kleinbuchstabe **m** steht dann für »milli«, **mV** also für »Millivolt«, und der griechische Buchstabe **μ** steht für »mikro«, **μA** also für *Mikroampere*. Die in der Elektronik gebräuchlichen Einheitenvorsätze sind in Abbildung 1–5 zusammengefasst.



Sieh dir nun Abbildung 1–7 an. Dieses Messgerät besitzt keinen Schalter, um zwischen AC und DC auszuwählen. Dafür verfügt es über spezielle Positionen auf dem Drehschalter. Links siehst du den Buchstaben **V** mit dem Symbol, das Gleichstrom bedeutet. Rechts ist ein weiteres **V** zu sehen, bei dem eine Wellenlinie auf Wechselstrom hinweist und das sich auf die beiden weißen Schalterpositionen bezieht. Das Blitzsymbol bedeutet einfach »Vorsicht«, und du solltest in der Tat vorsichtig sein, wenn du 600 Volt messen willst, obwohl ich mir nicht vorstellen kann, wann das erforderlich sein sollte. Für unsere Zwecke sind niedrige Spannungen wichtiger, und diesem Messgerät fehlt zudem ein Bereich für niedrige Wechselspannungen. Ich kann mich damit nicht anfreunden, denn manchmal möchte man schwankende Spannungen messen – zum Beispiel am Ausgang eines Timer-Chips.

Offenbar lassen sich auch keine Wechselströme messen. Es gibt zwar einen Buchstaben **A** mit einem Symbol für Gleichstrom, aber keinen Buchstaben **A** mit einer Wellenlinie für Wechselstrom. Das ist etwas enttäuschend. Zudem hat dieses Messgerät den Nachteil, dass es keine Kapazitäten in Farad messen kann. Doch halt – was ist mit dem Buchstaben **F**, den ich eingekreist habe? Es hat hier nichts mit Farad zu tun, sondern bedeutet in Verbindung mit dem Gradsymbol, dass es sich um die Temperatur in »Grad Fahrenheit« handelt. Allerdings ist das ein wenig irreführend, zumal das Messgerät nicht mit einem Temperaturfühler geliefert wird, sodass du diese Funktion gar nicht nutzen kannst. Schließlich habe ich **2M** eingekreist, was die obere Grenze für die Messung des elektrischen Widerstands darstellt. Besser wären **20M**. Insgesamt bin ich von diesem Messgerät nicht begeistert. Zwar kannst du es trotzdem für die Experimente im Buch verwenden, doch es kostet mehr als das Basismodell in Abbildung 1–1, bietet aber keinen äquivalenten Zusatznutzen für den höheren Preis.

Wie viel Geld solltest du also investieren? Suche im Internet nach einem Messgerät wie dem Basismodell in Abbildung 1–1 und nimm den Betrag, den es kostet, als  $B\text{€}$ . Wenn du das Doppelte bis Vierfache von  $B\text{€}$  aus gibst, solltest du alle von mir empfohlenen Funktionen bekommen können. Das Messgerät in Abbildung 1–3, das ich zu Testzwecken gekauft habe, als ich dieses Buch geschrieben habe, kostet ungefähr  $B\text{€} \times 3$  und hat sich

gut bewährt. Dagegen ist das Messgerät mit automatischer Bereichswahl in Abbildung 1–2 mit  $B\text{€} \times 6$  weiter oben auf der Preisskala angesiedelt.



**Abbildung 1–8.** Dieses Modell kostet etwa 20-mal so viel wie das in Abbildung 1–1.

Abbildung 1–8 zeigt mein bevorzugtes Messgerät, als dieses Buch entstanden ist. Seine Anzeige umfasst vier Stellen. Es gibt inzwischen auch billigere Messgeräte mit vierstelligen Anzeigen, wobei aber eine zusätzliche Ziffer nicht unbedingt bedeutet, dass die Elektronik im Inneren des Messgeräts zehnmal genauer ist als in einem Messgerät mit dreistelliger Anzeige. Um das herauszufinden, musst du die Angaben des Herstellers genau vergleichen. Für die Experimente in diesem Buch ist eine 4-stellige Genauigkeit nicht erforderlich.

Das einzige Problem mit dem Messgerät in Abbildung 1–8 ist, dass es etwa  $B\text{€} \times 20$  kostet. Ich betrachte es als Langzeitinvestition. Mit der Genauigkeit bin ich zufrieden und ich hoffe, dass es viele Jahre lang halten wird. Allerdings sind derartige Betrachtungen vielleicht nicht wichtig für dich, wenn du noch nicht weißt, ob du überhaupt Interesse an der Elektronik haben wirst.

Wenn du alle obigen Vorschläge gelesen hast, aber immer noch unsicher bist, welches Messgerät du kaufen sollst, kannst du dich zunächst einmal an den Experimenten 1, 2, 3 und 4 orientieren, wie ein Messgerät eingesetzt wird. Dann triffst du deine Entscheidung. Meine Abhandlung über Messgeräte ist damit abgeschlossen. Deine anderen Kaufentscheidungen werden einfacher sein.

## Schutzbrillen

Bei der Arbeit an Elektronikprojekten können manchmal die Augen gefährdet sein. Willst du zum Beispiel ein brüchiges Stück Draht abschneiden, das aus einem Bauelement – etwa einer LED – herausragt, könnte dir ein Splitter ins Gesicht fliegen.

Jede billige Schutzbrille bietet einen ausreichenden Schutz dagegen. Eine normale Brille ist ein akzeptabler Ersatz. Abbildung 1–9 zeigt eine einfache Schutzbrille.



Abbildung 1–9. Eine Schutzbrille

## Messleitungen

In den ersten Experimenten verbindest du die Bauelemente mit *Messleitungen*. Ich meine hier die *doppelseitigen* Ausführungen. Klar, jeder Draht hat doch zwei Enden. Doch in diesem Fall heißt es, dass jedes Ende mit einer *Krokodilklemme* versehen ist, wie Abbildung 1–10 zeigt. Mit jeder Klemme lässt sich eine elektrische Verbindung herstellen, indem man etwas greift und sicher festhält, sodass man die Hände frei hat. Für die Experimente in diesem Buch sind sehr kurze Leitungen wie in Abbildung 1–10 gut geeignet. Längere Leitungen funktionieren zwar auch, doch sie verheddern sich leicht.

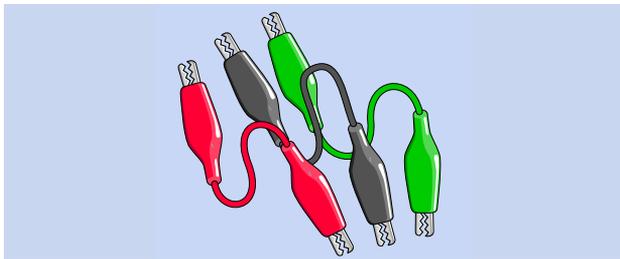


Abbildung 1–10. Messleitungen

Mit Messleitungen sind hier nicht die Ausführungen gemeint, die an jedem Ende einen kleinen Stecker haben. Man bezeichnet diese auch als *Verbindungsleitungen* oder *Steckbrücken*.

## Stromversorgung

Fast alle Experimente in diesem Buch verwenden eine Energiequelle mit einer Spannung von 9 Volt. Hier kommen beispielsweise 9-Volt-Alkalibatterien infrage, die bei Discountern und in Verbrauchermärkten verkauft werden. Es muss nicht einmal eine Markenbatterie sein. Später werde ich eine Aufrüstung mit einem *Netzadapter* vorschlagen, aber den brauchen wir jetzt noch nicht.

Eine 9-Volt-Batterie hat einen positiven (Pluspol) und einen negativen Anschluss (Minuspol). Verwechsle sie bitte nicht! Wenn sich der positive Anschluss nicht klar erkennen lässt, markiere ihn mit einem roten Textmarker.

- Verwende für die Experimente 1 bis 4 nur eine 9-Volt-Alkalibatterie. Versuche nicht, eine größere Batterie zu verwenden oder eine Batterie, die mehr als 9 Volt liefert. Beachte auch, dass Lithiumbatterien gefährlich sein können und für die Projekte in diesem Buch nicht verwendet werden sollten.

## Clipanschluss (optional)

Meine Abbildungen zeigen Messleitungen mit Krokodilklemmen an den Polen einer 9-Volt-Batterie. Wenn du aber eine sicherere Verbindung haben möchtest, kannst du einen *Clipanschluss* (oder *Druckknopfanschluss*) kaufen, der in die Batteriepole schnappt und auf zwei freie Drähte herausgeführt ist (siehe Abbildung 1–11).



Abbildung 1–11. Ein Clipanschluss für eine 9-V-Batterie

## Sicherung

Eine *Sicherung* unterbricht einen Stromkreis, wenn der durchfließende Strom einen bestimmten Wert überschreitet. Für die Experimente brauchst du einige Feinsicherungen, wie sie Abbildung 1–12 zeigt, oder du verwendest Kfz-Sicherungen, die im Autoteilehandel erhältlich sind. In jedem Fall brauchst du eine Sicherung mit dem Nennwert 1 Ampere und eine Sicherung mit dem Nennwert 3 Ampere (bei den Feinsicherungen sind die Spezifikationen **1A** und **3A** auf den metallischen Kontaktkappen eingeprägt). Abbildung 1–12 zeigt eine Sicherung vom Typ 2AG mit einem Durchmesser von 6,3 mm.

Feinsicherungen sind oft für 250 Volt ausgelegt, wobei aber jeder Wert von 10 Volt aufwärts geeignet ist. (Der Begriff »Nennwert« bezeichnet den Höchstwert, den der Hersteller für dieses Produkt angibt.)

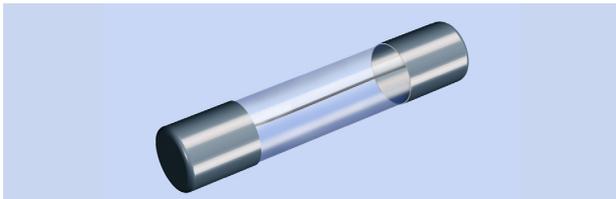


Abbildung 1–12. Detailansicht einer 2-A-Sicherung vom Typ 2AG mit einem Durchmesser von 6,3 mm

## Leuchtdioden

Die allgemein als *LEDs* bekannten Leuchtdioden (engl. »Light-Emitting Diodes«) sind in verschiedenen Formen und Ausführungen erhältlich. Wir verwenden hier sogenannte *LED-Anzeigen*, die in Katalogen auch als *Standard-LEDs* beschrieben werden. In den ersten beiden Abschnitten dieses Buches ist es einfacher, LEDs mit einem Durchmesser von 5 mm zu verwenden, doch für den Rest des Buches sind LEDs mit 3 mm Durchmesser besser geeignet, insbesondere wenn in einer Schaltung der Platz begrenzt ist. Abbildung 1–13 zeigt eine typische rote LED.

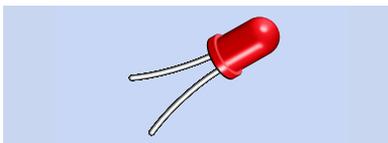


Abbildung 1–13. Detailaufnahme einer Standard-LED für Anzeigezwecke

Das ganze Buch hindurch spreche ich oftmals von roten Standard-LEDs. Rote LEDs deshalb, weil sie weniger Strom und eine geringere Spannung als andersfarbige LEDs benötigen, was bei manchen Experimenten wichtig ist. Damit meine ich die billigsten Exemplare, die es im Handel gibt. Da sie in so vielen Anwendungen eingesetzt werden, ist es sinnvoll, mindestens ein Dutzend davon bereitliegen zu haben.

Manche Standard-LEDs sind in einem »wasserklaren« Kunststoff- oder Harzgehäuse gekapselt, und du bist vielleicht überrascht, dass sie farbig leuchten, wenn sie vom Strom durchflossen werden. Bei anderen LEDs, wie der in Abbildung 1–13, spricht man von einer *diffusen* Ausführung, bei der das Gehäuse aus Kunststoff oder Harz in der gewünschten Anzeigefarbe getönt ist. Wasserklare LEDs sind heller, wenn alle anderen Parameter gleich sind, aber ich meine, dass diffuse LEDs für das Auge angenehmer sind.

## Widerstände

Du brauchst verschiedene Widerstände, um in bestimmten Teilen einer Schaltung die Spannung zu beeinflussen. Abbildung 1–14 zeigt in Nahaufnahme zwei typische Widerstände (die in Wirklichkeit jeweils nur 1 cm lang sind). Anhand der farbigen Ringe kannst du den Wert eines Widerstands ermitteln; mehr dazu später. Die Farbe des Widerstandskörpers spielt für unsere Zwecke keine Rolle.

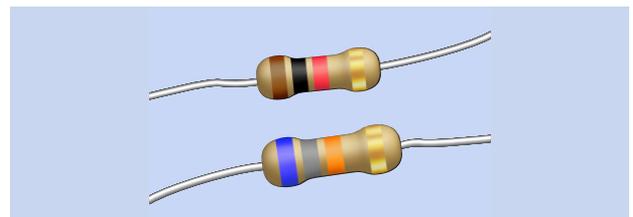


Abbildung 1–14. Zwei Beispiele für Widerstände

Wenn du dir Widerstände selbst kaufst (d.h. nicht aus einem Bausatz nimmst), wäre es töricht, nur die zwei oder drei Werte zu besorgen, die in jedem Experiment aufgelistet sind. Da Widerstände klein und preiswert sind, solltest du dir eine abgepackte Auswahl aus Überbestands- oder Discountquellen oder von einer Website

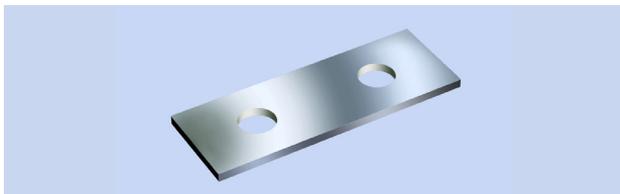
## Experiment 1: Elektrizität schmecken

wie eBay anschaffen. Eine Liste mit den genauen Werten für die einzelnen Experimente in diesem Buch findest du in den Tabellen in Anhang A: Spezifikationen.

### Hardware

Im Experiment 5 zeige ich dir, wie du eine Zitronensaftbatterie baust. Hierfür benötigst du einige Kupfermünzen (beispielsweise 1-, 2- oder 5-Cent-Euromünzen, die zwar aus Eisen bestehen, aber eine Kupferummantelung besitzen) oder andere Objekte mit einer Kupferoberfläche sowie einige Metallteile mit einer Zinkbeschichtung wie etwa die 3 cm lange Lochplatte, die in Abbildung 1–15 zu sehen ist. Vier Stück genügen, kleine Klammern gehen auch. Du findest sie in jedem Eisenwarenladen.

Was die Münzen angeht, sind neue besser als alte geeignet, da sie weniger angelaufen (oxidiert) sind. Wenn du in einem Teil der Welt lebst, wo es keine kupferbeschichteten Münzen mehr gibt, schlägt dir der Einkaufsführer in Anhang A einige andere Möglichkeiten vor.



**Abbildung 1–15.** Eine zinkbeschichtete Lochplatte. Sie sollte etwa 3 cm lang sein. Kleine Klammern sind ebenfalls geeignet.

### Das Protokollbuch des Experimentators

Jedes Mal, wenn du ein Experiment durchführst, musst du unbedingt festhalten, wie du es aufgebaut hast und was passiert ist. Die Notizen kannst du im Computer oder mit deinem Mobiltelefon erfassen, doch ein herkömmliches Notizbuch mit Papierseiten hat einige Vorteile. Du musst keine Anwendung öffnen, um die Einträge zu aktualisieren, und es ist sicher vor dem versehentlichen Löschen von Daten. Wenn du es an einer Ecke deines Schreibtisches griffbereit hältst, kann es sich als nützlicher herausstellen, als du vielleicht denkst!

Das ist der letzte Punkt auf meiner Liste. Fangen wir also an!

## Experiment 1: Elektrizität schmecken

Kann man Elektrizität schmecken? Es fühlt sich jedenfalls so an, als ob das ginge. Mit einem batteriebetriebenen Zungentest demonstriert dieses Projekt den elektrischen Widerstand.

### Was du brauchst

- 9-Volt-Alkalibatterie (1)
- Multimeter (1)

Das ist alles!



#### **Warnung: Nie mehr als 9 Volt!**

*Eine 9-V-Alkalibatterie kann dich nicht verletzen. Probiere es nicht mit einer höheren Spannung und verwende auch keine größere Batterie, die mehr Strom liefern kann. Keinesfalls solltest du es mit einer Autobatterie oder einer Alarmbatterie versuchen! Und wenn du eine Zahnspange trägst, achte darauf, dass sie nicht mit der Batterie in Berührung kommt.*

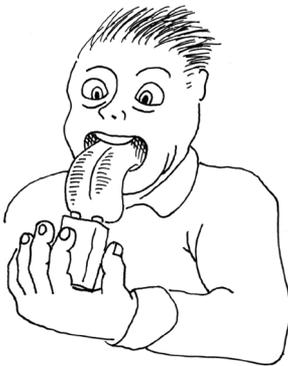
### Deine Zunge testen

Befeuchte deine Zunge und berühre mit der Zungenspitze die Metallkontakte einer 9-V-Batterie, wie es Abbildung 1–16 zeigt. (Deine Zunge ist möglicherweise nicht so groß wie die in der Abbildung gezeigte. Meine sicher auch nicht. Doch dieses Experiment funktioniert unabhängig davon, wie groß oder wie klein deine Zunge wirklich ist.)

Fühlst du dieses Kribbeln? Lege nun die Batterie beiseite, stecke deine Zunge heraus und trockne die Zungenspitze gut mit einem Tuch ab. Wenn du jetzt die Batterie wieder an deine Zunge hältst, sollte das Kribbeln schwächer sein.

- Was ist, wenn du nichts spürst? Manche Menschen scheinen eine ungewöhnlich dicke Haut und/oder trockene Zunge zu haben. Ein paar haben mir im Laufe der Jahre geschrieben und berichtet, dass sie überhaupt kein Kribbeln gespürt haben. Sollte das auch bei dir der Fall sein, löse eine Prise Salz in etwas Wasser auf und befeuchte deine Zunge damit. Das sollte genügen!

Was passiert hier? Um das herauszufinden, brauchen wir ein Messgerät.

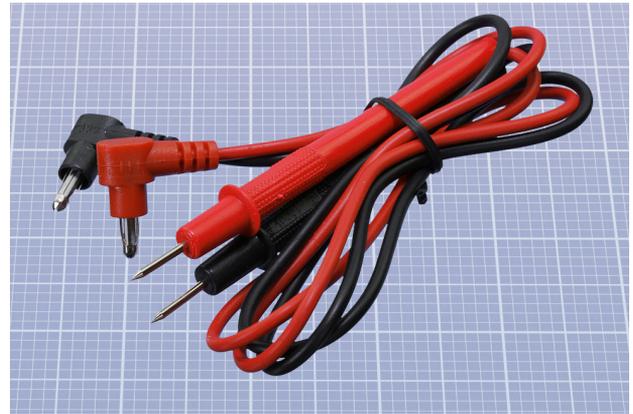


**Abbildung 1–16.** Ein unerschrockener Bastler testet die Eigenschaften einer 9-V-Alkalibatterie.

## Dein Multimeter einrichten

Ist dein Messgerät neu und ist schon eine Batterie eingesetzt? Wähle mit dem Drehschalter eine Funktion aus und warte, ob im Display eine Zahl erscheint. Wenn nichts zu sehen ist, musst du wahrscheinlich das Messgerät öffnen und eine Batterie einsetzen, bevor du es verwenden kannst. Wie du das tun musst oder welchen Batterietyp du brauchst, kann ich dir nicht sagen, da die Ausstattungen der Messgeräte sehr unterschiedlich sind. Sieh hierfür in der Bedienungsanleitung des Messgeräts nach.

Messgeräte werden mit einer roten und einer schwarzen Messleitung geliefert. Die Messleitungen haben an einem Ende einen Stecker und am anderen Ende eine Messspitze aus Stahl, wie Abbildung 1–17 zeigt. Die Stecker steckst du in die Buchsen am Messgerät und mit den Messspitzen tastest du dann an die Stellen, bei denen du wissen willst, was passiert. Die Messspitzen können den elektrischen Fluss aufnehmen oder Spannungen erkennen. Bei den geringen Strömen und Span-



**Abbildung 1–17.** Typische Messleitungen. Die dickeren Linien im Hintergrund haben einen Abstand von 1 Zoll (2,54 cm).

nungen, die in den Experimenten in diesem Buch vorkommen, kann man sich also nicht mit den Messspitzen verletzen (außer man pikst sich selbst mit den spitzen Enden).

Du kannst andere Arten von Messleitungen als Zubehör kaufen. Einige sind sehr kurz, andere enden in Krokodilklemmen oder kleinen Federhaken, sogenannten *Klemm-Prüfspitzen*. Ich bevorzuge die kurzen Leitungen und Klemm-Prüfspitzen, die Messgeräte werden aber standardmäßig mit Messspitzen geliefert.

Wo schließt du nun die Messleitungen an deinem Messgerät an? Das ist nicht so einfach, wie es klingt.

Beginnen wir mit der schwarzen Leitung. Ihr Stecker sollte am Messgerät in eine Buchse mit der Beschriftung **COM** (für engl. »common«, gemeinsam) gesteckt werden. Nachdem du den Stecker in die schwarze Buchse gesteckt hast, wirst du ihn nie wieder abziehen müssen.

Eine andere Buchse sollte mit dem Buchstaben **V** und dem griechischen Buchstaben *Omega* versehen sein. Abbildung 1–18 zeigt ein Beispiel für das Omega-Symbol, das für den elektrischen Widerstand steht.



**Abbildung 1–18.** Der griechische Buchstabe Omega symbolisiert die Einheit des elektrischen Widerstands.

## Experiment 1: Elektrizität schmecken



Abbildung 1–19. Stecke die Messleitungen in diese Buchsen.

Die Buchse kann daneben auch mit anderen Symbolen versehen sein. Immer vorfinden wirst du die Zeichen **V** und **Ω**, die anzeigen, dass diese Buchse für die Messung des elektrischen Widerstands und der Spannung vorgesehen ist. In diese Buchse steckst du die rote Messleitung. Siehe die Abbildung 1–19 und Abbildung 1–20.

Eine zusätzliche Buchse kann mit **mA** beschriftet sein, was *Milliampere* bedeutet. Dazu komme ich später. Möglicherweise gibt es noch eine vierte Buchse mit der Beschriftung **10A** oder **20A**, d.h. 10 Ampere bzw. 20 Ampere. Auch dazu später mehr. Momentan brauchst du diese Buchsen nicht.

## Was ist Widerstand?

Elektrischer Widerstand verringert den Fluss von elektrischem Strom. Fast jeder Stoff in der Welt hat zumindest einen gewissen Widerstand, selbst deine Zunge.

Man misst Entfernungen in Kilometern, die Masse in Kilogramm und die Temperatur in Grad Celsius. Der elektrische Widerstand wird in *Ohm* gemessen. Diese Maßeinheit des internationalen Einheitensystems ist nach Georg Simon Ohm benannt, einem Pionier der Elektrotechnik.

Der griechische Großbuchstabe Omega ( $\Omega$ ), den Abbildung 1–18 zeigt, symbolisiert die Maßeinheit Ohm.

Für Widerstandswerte über 999 Ohm verwendet man in der Elektronik den Buchstaben **k**, der für Kilo (tausend) steht, d.h. 1.000 Ohm. Zum Beispiel trägt ein Widerstand mit 1.500 Ohm die Bezeichnung 1,5 k $\Omega$ . Das Omega-



Abbildung 1–20. Verschiedene Messgeräte, gleiche Lage der Messbuchsen

Symbol lässt man meistens weg, wenn klar ist, dass es sich um einen Widerstandswert handelt. Man schreibt also nur 1,5 k. Für Werte über 999.999 Ohm wird der Großbuchstabe **M** für *Megaohm* verwendet, der eine Million Ohm bedeutet. Elektroniker sagen in der Regel nicht Megaohm, sondern Megohm oder kurz Meg. So hat ein »2-Komma-2-Meg-Widerstand« einen Wert von 2,2 M $\Omega$ .

$$1 \text{ k} = 1.000 \text{ Ohm}$$

$$1 \text{ M} = 1.000 \text{ k} = 1.000.000 \text{ Ohm}$$

Abbildung 1–21 zeigt eine Tabelle, aus der sich auch Zwischenwerte ermitteln lassen.

Ohm	Kiloohm	Megaohm
1 $\Omega$	0.001 k	0.000001M
10 $\Omega$	0.01 k	0.00001M
100 $\Omega$	0.1 k	0.0001M
1.000 $\Omega$	1 k	0.001M
10.000 $\Omega$	10	0.01M
100.000 $\Omega$	100 k	0.1M
1.000.000 $\Omega$	1.000 k	1M

Abbildung 1–21. Umrechnungstabelle für die gebräuchlichsten Vielfachen des Ohm

Während in englischsprachigen Ländern der ganzzahlige vom gebrochenen Anteil eines Widerstandswerts durch einen Dezimalpunkt getrennt wird, ist es in Europa üblich, das Dezimaltrennzeichen durch den Buchstaben **R**, **K** oder **M** zu ersetzen, um Fehlinterpretationen zu

vermeiden. In einem europäischen Schaltplan bedeutet also 5K6 den Wert 5,6 k $\Omega$ , 6M8 heißt 6,8 M $\Omega$  und 6R8 bedeutet 6,8  $\Omega$ .

Ein Stoff, der einen sehr hohen elektrischen Widerstand besitzt, wird als *Isolator* bezeichnet. Die meisten Kunststoffe, einschließlich der farbigen Ummantelungen von Drähten, sind Isolatoren.

Setzt ein Stoff dem elektrischen Strom einen sehr geringen Widerstand entgegen, handelt es sich um einen *Leiter*. Metalle wie Kupfer, Aluminium, Silber und Gold sind sehr gute Leiter.

## Die Zunge messen

Ist deine Zunge ein Isolator oder ein Leiter?

Finden wir es heraus.

Am Drehschalter auf deinem Multimeter findest du mindestens eine Position, die mit dem Ohm-Symbol ( $\Omega$ ) gekennzeichnet ist. Auf einem Autorange-Messgerät stellst du den Drehschalter auf das Ohm-Symbol, wie Abbildung 1–22 zeigt, berührt die etwa 3 cm voneinander entfernten Messspitzen vorsichtig mit deiner Zunge und wartest, bis das Messgerät automatisch einen Bereich ausgewählt hat. Achte auf den Buchstaben **k** in der numerischen Anzeige.

Bei einem manuellen Messgerät musst du einen geeigneten Messbereich auswählen. Hierfür stellst du den Drehschalter auf den zu erwartenden *Maximalwert*. Das Messgerät misst Widerstände bis zu diesem Wert, aber nicht darüber hinaus. Für eine Zungenmessung dürften

200 k $\Omega$  (200.000 Ohm) richtig sein. Sieh dir dazu die Nahaufnahmen der manuellen Messgeräte in den Abbildung 1–23 und Abbildung 1–24 an.

Wie sieht es aus, wenn der Widerstand deiner Zunge höher als 200 k liegt? Ein manuelles Messgerät zeigt eine Fehlermeldung an, die üblicherweise wie **OL** aussieht. Dieses Symbol bedeutet »Offene Leitungen« (engl. »Open Leads«), als ob die Messleitungen nicht angeschlossen wären. Was tust du dann? Stelle einfach den Drehschalter des Messgeräts auf den nächsthöheren Wert, beispielsweise **2M**. Es ist unwahrscheinlich, dass deine Zunge einen höheren Widerstand hat.

- Wenn **OL** erscheint, wähle einen anderen Bereich. Den Wert, den du für den Widerstand deiner Zunge gefunden hast, schreibst du bitte in dein Protokollbuch. Ich komme später darauf zurück.

Lege nun die Messsonden beiseite, strecke deine Zunge heraus und trockne sie wieder mit einem Taschentuch sorgfältig und gründlich ab. Wiederhole den Test, ohne dass deine Zunge wieder feucht wird. Der Messwert sollte jetzt höher sein. Aus deinem Zungentest lassen sich zwei Schlussfolgerungen ableiten:

- Wenn du deine Zunge mit einer Batterie berührst, scheint mehr Feuchtigkeit mehr Strom fließen zu lassen, was ein stärkeres Kribbeln verursacht.
- Wenn du das Messgerät verwendest, scheint mehr Feuchtigkeit zu einem geringeren Widerstand zu führen.



Abbildung 1–22. Einen Autorange-Multimeter auf Widerstandsmessung einstellen



Abbildung 1–23. Bei einem Multimeter mit manueller Bereichswahl musst du den Bereich selbst einstellen.



Abbildung 1–24. Ein anderes Messgerät, das gleiche Prinzip

## Experiment 1: Elektrizität schmecken

Ich verwende hier die Formulierung mit »scheint«, da wir noch nichts bewiesen haben. Bislang haben wir lediglich eine Theorie aufgestellt. Selbst wenn ein geringerer Widerstand mehr Strom fließen lässt, würde ich gern wissen, wie viel. Und was genau ist »Strom« überhaupt? In den nächsten Experimenten wirst du die Antworten auf diese Fragen herausfinden. Am Ende von Experiment 4 werden alle diese Rätsel gelöst sein.

Was ist, wenn du keinen Widerstandswert für deine Zunge ermitteln kannst und nur die **OL**-Fehlermeldung siehst? Versuche als Erstes, die Sonden zu reinigen, zunächst mit einem Reinigungsmittel wie etwa Spülmittel, dann mit etwas leicht Scheuerndem wie Zahnpasta. Verwende kein stark scheuerndes Reinigungsmittel, wie zum Beispiel einen Badreiniger, da dies die Beschichtung der Sonden beschädigen könnte. Spüle die Sonden nach der Reinigung ab und trockne sie.

Sollte dies alles fehlschlagen, gib etwas Salz auf deine Zunge, wie ich es beim Versuch mit der Batterie vorge schlagen habe.

## Andere Widerstände

Ein erfolgreiches Experiment sollte jedes Mal das gleiche Ergebnis liefern, ohne dass zufällige Faktoren dazwischenkommen.

Der Zungentest ist voll von Zufallsfaktoren, die man richtigerweise als *unkontrollierte Variablen* bezeichnet. Die Feuchtigkeit auf deiner Zunge war eine Variable. Ich vermute, dass eine weitere Variable der Abstand zwischen den Messspitzen ist. Und das können wir untersuchen.

Halte die Messleitungen so, dass ihre Spitzen nur etwa 5 mm voneinander entfernt sind. Berühre damit deine feuchte Zunge. Rücke nun die Spitzen einige Zentimeter auseinander und miss erneut. Welche Werte erhältst du?

- Wenn Elektrizität über eine kürzere Strecke fließt, stellt sich ihr ein geringerer Widerstand entgegen, wenn alle anderen Faktoren gleich bleiben.

Führe ein ähnliches Experiment auf deinem Arm durch, wie Abbildung 1–25 zeigt. Den Abstand zwischen den Messspitzen kannst du in festen Schritten (beispielsweise 5 mm) variieren und den am Messgerät angezeig-

ten Widerstand notieren. Meinst du, dass sich bei einer Verdoppelung des Messspitzenabstands der angezeigte Widerstandswert verdoppelt?

Es gibt noch eine Variable, auf die ich noch nicht eingegangen bin – die Stärke des Druckes zwischen Messspitze und Haut. Wenn du stärker drückst, wird sich der Widerstand vermutlich verringern. Kannst du das nachweisen? Was meinst du, weshalb das geschieht? Wie könntest du ein Experiment gestalten, um diese Variable zu eliminieren?

Wenn du genug davon hast, den Hautwiderstand zu messen, kannst du auch die Messspitzen in ein Glas Wasser tauchen. Löse dann etwas Salz im Wasser auf und miss erneut. Sicherlich hast du schon davon gehört, dass Wasser den elektrischen Strom leitet, doch die ganze Angelegenheit ist nicht so einfach. Reines Wasser hat einen relativ hohen Widerstand, wie du selbst feststellen kannst, wenn du dir destilliertes Wasser besorgst, das in Supermärkten preiswert zu haben ist. Salz oder andere Verunreinigungen verringern den Widerstand.

Um besser zu verstehen, was in diesen Experimenten passiert, musst du mehr über den *elektrischen Strom* wissen. Wie du ihn misst, zeige ich dir in Experiment 2.

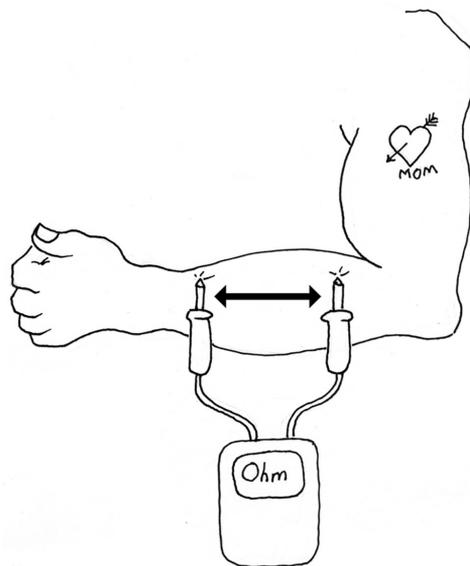


Abbildung 1–25. Verändere den Abstand zwischen den Messspitzen und beobachte den Wert auf dem Multimeter.

## Hintergrundwissen

## Der Mann, der den Widerstand entdeckt hat

Georg Simon Ohm (siehe Abbildung 1–26) wurde 1787 in Erlangen, Bayern, geboren und arbeitete einen großen Teil seines Lebens, ohne dass er besonders bekannt geworden wäre. Er erforschte die Elektrizität mit Metalldrähten, die er sich selbst herstellen musste (Anfang des 19. Jahrhunderts konnte man nicht einfach zum Elektrogroßhandel fahren und eine Rolle Draht kaufen.)

Trotz seiner begrenzten Ressourcen und ungenügenden mathematischen Fähigkeiten konnte Ohm im Jahre 1827 zeigen, dass sich der elektrische Widerstand in einem Leiter wie zum Beispiel Kupfer umgekehrt proportional zum Querschnitt verhält und der hindurchfließende Strom proportional zur angelegten Spannung ist, solange man die Temperatur konstant hält. Vierzehn Jahre später erkannte die Royal Society in London die Bedeutung seines Beitrags und verlieh ihm die Copley-Medaille. Heute kennen wir seine Entdeckung als das *ohmsche Gesetz*. In Experiment 4 kannst du das ohmsche Gesetz selbst entdecken (auch wenn du es in Wirklichkeit nur wiederentdecken wirst).



**Abbildung 1–26.** Georg Simon Ohm, nachdem er für seine Pionierarbeiten geehrt wurde, die er größtenteils eher unbeachtet von der Öffentlichkeit durchgeführt hatte

## Aufräumen und Weiterverwendung

Die Batterie sollte noch so gut wie neu sein. Du kannst sie also weiterhin verwenden.

Denke daran, dein Messgerät auszuschalten, bevor du es weglegst. Zwar schalten sich die meisten Messgeräte nach einer Weile automatisch ab oder erinnern dich mit einem Signalton daran, doch du kannst die Batterielebensdauer verlängern, wenn du das Messgerät rechtzeitig ausschaltest.

## Experiment 2: Mit dem Strom schwimmen

In diesem Experiment baust du deine erste Schaltung auf, in der du etwas über elektrischen Strom lernst, indem du eine LED an ihre Grenzen bringst – und darüber hinaus.

### Was du brauchst

- 9-V-Batterie (1)
- Widerstand, 15  $\Omega$ , braun-grün-schwarz (1)
- Widerstand, 150  $\Omega$ , braun-grün-braun (1)
- Widerstand, 470  $\Omega$ , gelb-violett-braun (1)
- Widerstand, 1,5 k $\Omega$  (1.500  $\Omega$ ), braun-grün-rot (1)
- rote Standard-LED (2)
- Messleitungen (1 rote, 1 schwarze, 1 andersfarbige)
- Multimeter (1)

### Einen Widerstandswert bestimmen

Aus verschiedenen Gründen, die ich gleich erläutern werde, muss man oft in einen Stromkreis einen elektrischen Widerstand einfügen. Das lässt sich leicht mit Bauelementen bewerkstelligen, die man (wer hätte es gedacht) als *Widerstände* bezeichnet, deren Werte in Ohm gemessen werden.

Widerstände, die du für die Projekte in diesem Buch benötigst, können beschriftet sein oder auch nicht – aber das ist in Ordnung, da sich ihre Werte ermitteln lassen. Zuerst zeige ich, wie du die Werte misst, und dann erläutere ich, wie du sie entschlüsseln kannst.

Bei manchen Widerständen ist eine Zahl in winziger Schrift aufgedruckt, die du mit der Lupe entziffern kannst, wie in Abbildung 1–27 zu sehen ist. Leider drucken die meisten Hersteller keine Zahlen mehr auf die Widerstände, sondern verwenden einen Farbcode.

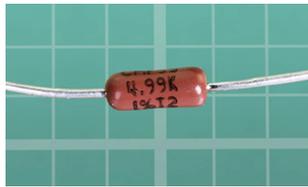


Abbildung 1–27. Bei den wenigsten Widerständen ist heutzutage der Widerstandswert aufgedruckt.

In der Stückliste für dieses Experiment habe ich die Farben der Ringe auf den einzelnen Widerständen angegeben. Abbildung 1–28 zeigt diese Widerstände. Die aus den Bauelementen herausführenden Drähte sind *Anschlüsse*, selbst wenn sie anders aussehen als die Anschlüsse für dein Messgerät oder die Messleitungen mit Krokodilklemmen an jedem Ende. Auch die Drähte, die aus der LED herausführen, sind Anschlüsse.

Widerstände, die anstelle der Goldringe Silberlinge haben, sind genauso für unsere Zwecke geeignet. Auf den Unterschied gehe ich gleich noch ein.

Überprüfe zunächst die Werte der Widerstände. Achte darauf, dass die rote Messleitung wie in Experiment 1 immer noch in der Buchse **V/ $\Omega$**  des Messgeräts steckt. Der Wert des 15-Ohm-Widerstands liegt wesentlich niedriger als der Widerstandswert deiner Zunge, sodass du einen anderen Widerstandsmessbereich wählen musst. Oftmals ist 200 Ohm der kleinste verfügbare Widerstandsbereich. Versuche es also damit.

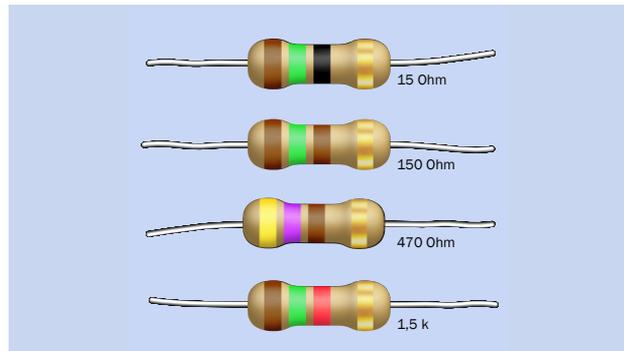
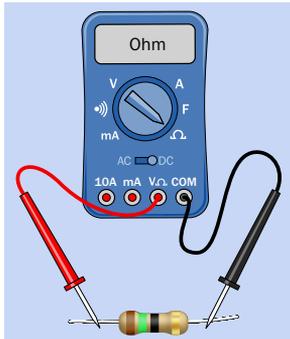


Abbildung 1–28. Die Widerstände, die du in diesem Experiment brauchst

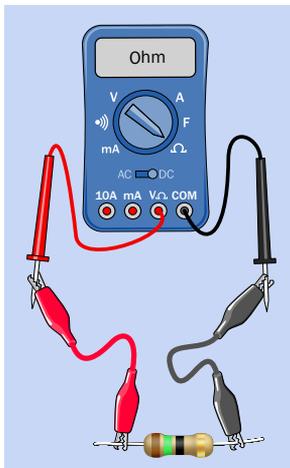
Es spielt keine Rolle, wie herum du den Widerstand anschließt. Lege ihn auf eine Oberfläche aus Holz oder Kunststoff, die keinen elektrischen Strom leitet, und fasse die Messspitzen an ihren Kunststoffgriffen an. Wenn

du die Metallenden der Messspitzen anfasst, während du versuchst, den Widerstand zu messen, dann misst du auch den Widerstand von dir selbst, was du ja nicht willst. Siehe Abbildung 1–29.



**Abbildung 1–29.** Den Wert eines 15-Ohm-Widerstands überprüfen

Drücke kräftig, um eine gute Verbindung herzustellen. Wenn dir das zu umständlich erscheint, kannst du dir mit zusätzlichen Messleitungen helfen, wie Abbildung 1–30 zeigt. Jetzt hast du die Hände frei, um den Widerstand zu testen, und die Ergebnisse sollten nahezu die gleichen sein.



**Abbildung 1–30.** Den Widerstand mit den Messleitungen greifen

Notiere dir den Wert, den du für den Widerstand gemessen hast, in dein Protokollbuch. Entferne den 15-Ohm-Widerstand und ersetze ihn durch den 150-Ohm-Widerstand. Nachdem du ihn gemessen hast, probierst du den 470-Ohm-Widerstand – allerdings bekommst du eine OL-Fehlermeldung, solange du den Messbereich

mit dem Drehschalter deines Messgeräts noch nicht von 200  $\Omega$  auf 2 k $\Omega$  gestellt hast. Prüfe abschließend den 1,5-k $\Omega$ -Widerstand.

Ich wette, dass die von dir gemessenen Werte nicht genau dem entsprechen, was du erwartest. Bei meinen Versuchen habe ich die Werte 15,1  $\Omega$ , 148  $\Omega$ , 467  $\Omega$  und 1.520  $\Omega$  gemessen.

Damit bist du gerade auf eine grundlegende Wahrheit in der Elektronik gestoßen:

- Messungen sind niemals genau.

Weder misst dein Messgerät absolut präzise noch sind die Werte der Widerstände genau. Zudem können sich andere Faktoren störend auswirken, wie zum Beispiel die Raumtemperatur, die den elektrischen Widerstand beeinflusst. Außerdem gibt es einen winzigen Widerstand zwischen den Messspitzen des Messgeräts und den Anschlüssen des Widerstands. Dein Ziel besteht darin, genauen Messungen so nahe wie möglich zu kommen, doch absolute Genauigkeit ist unmöglich. So ist es nun einmal, wenn man es mit elektronischer Hardware zu tun hat.

## Widerstandswerte entziffern

Nachdem du nun die Werte deiner Widerstände – mehr oder weniger – verifiziert hast, erkläre ich deren Codierung. Das System ist in Abbildung 1–31 dargestellt und der Ablauf ist wie folgt:

- Ignoriere die Farbe des Widerstandskörpers.
- Wenn ein silberner oder goldener Ring vorhanden ist, drehst du den Widerstand so, dass der Streifen rechts liegt. Silber bedeutet, dass der wahre Wert des Widerstands um höchstens 10% abweicht, während Gold heißt, dass der Wert eine Genauigkeit von 5% hat. Das ist die sogenannte *Toleranz* des Widerstands. Manche Widerstände haben eine Toleranz von 1% oder sogar noch besser – in diesem Fall haben sie keinen silbernen oder goldenen Ring, sondern einen Ring in einer anderen Farbe. In jedem Fall befindet sich eine Lücke zwischen ihm und den anderen Ringen und diese Lücke ist breiter als die Lücken zwischen den anderen Ringen.

## Experiment 2: Mit dem Strom schwimmen

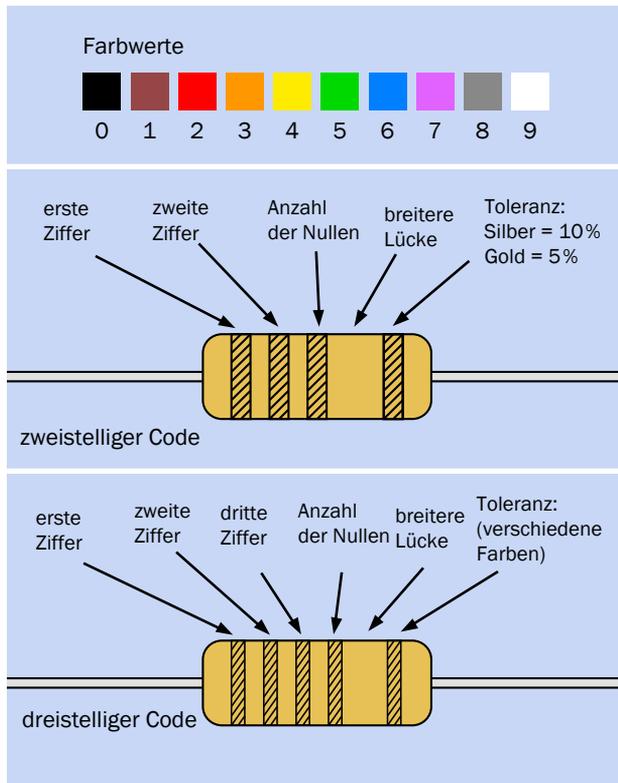


Abbildung 1-31. Das Farbcodierungssystem für Widerstände

20% weniger als der Nennwert	0,8	1,2	1,76	2,64	3,76	5,44
Nennwert	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8
20% mehr als der Nennwert	1,2	1,8	2,64	3,96	5,64	8,16

Abbildung 1-32. Der ursprüngliche Bereich von Multiplikatoren für Widerstandswerte und der Bereich der Werte plus oder minus 20 %

- Am linken Ende des Widerstands befinden sich nun drei oder vier farbige Ringe. Besteht die Gruppe aus drei Ringen, liefern die Farben der ersten beiden Streifen die ersten beiden Ziffern des Widerstandswertes. Bei vier Streifen geben die Farben der ersten drei Ringe die ersten drei Ziffern im Wert des Widerstands an.
- Der letzte Ring in der Gruppe gibt an, wie viele Nullen den Ziffern im Wert des Widerstands folgen.

Sieh dir zum Beispiel deinen 1,5 kΩ-Widerstand an. Seine Farben sind Braun (1), Grün (5) und Rot (zwei Nullen). Mit anderen Worten ist der Wert 1.500, was 1,5 kΩ entspricht.

Bei einem Widerstand mit einer Gruppe von vier farbigen Ringen ist die Toleranz höchstwahrscheinlich besser als 5 %. Für die Projekte in diesem Buch ist die genaue Toleranz nicht wichtig.

## Mysteriöse Zahlen

Wenn du einige Widerstände überprüfst (oder sie online einkaufst), wirst du feststellen, dass immer wieder die gleichen Ziffernpaare auftauchen. In Hunderten von Ohm finden wir oft 100, 150, 220, 330, 470 und 680. Die typische Reihe bei Tausenden von Ohm lautet 1,0k, 1,5k, 2,2k, 3,3k, 4,7k und 6,8k. Im Zehner-Ohm-Bereich gibt es 10, 15, 22, 33, 47 und 68. Warum ist das so?

Vor langer Zeit war es eine Herausforderung, Widerstände genau herzustellen. Die Toleranz betrug daher 20 %. Mit anderen Worten: Der wahre Wert konnte ganze 20 % höher oder niedriger liegen als erwartet. Bei einem 15-kΩ-Widerstand könnte sein wahrer Wert 12 kΩ betragen, denn:

$$15 \text{ k}\Omega - 20 \% = 12 \text{ k}\Omega$$

Andererseits könnte ein 10-kΩ-Widerstand einen 20 % höheren Wert haben:

$$10 \text{ k}\Omega + 20 \% = 12 \text{ k}\Omega$$

Demnach konnten ein 15-kΩ-Widerstand und ein 10-kΩ-Widerstand den gleichen Wert haben, und es wäre nicht sinnvoll, Widerstände mit Zwischenwerten herzustellen.