

**384 Seiten  
Sonderausgabe  
komplett in Farbe**

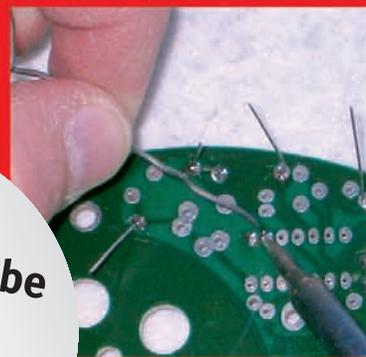
**FRANZIS**  
DO IT!

# Das große Elektronik- Praktiker-Buch

Sonderausgabe  
statt 44,85  
Jetzt nur  
**19,95** EUR

**Geld sparen – selber machen!**

- ▶ Richtig messen und prüfen
- ▶ Richtig löten
- ▶ Batterien und Akkus richtig pflegen und laden



Frank Sichla  
Richtig messen und prüfen  
in Haushalt, Hobby und Auto

Frank Sichla

# Richtig messen und prüfen in Haushalt, Hobby und Auto

Leicht gemacht, Geld und Ärger gespart!

Mit 142 farbigen Abbildungen

## **Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

### Hinweis

Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar.

Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2007 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

**Satz:** DTP-Satz A. Kugge, München

**art & design:** [www.ideehoch2.de](http://www.ideehoch2.de)

**Druck:** Legoprint S.p.A., Lavis (Italia)

Printed in Italy

**ISBN 978-3-7723-4169-4**

## Vorwort

**D**ie Technik entwickelt sich in immer kürzerer Zeit weiter – nicht nur in Forschung und Industrie, sondern auch in Haushalt, Auto und Hobby. Der private Anwender nutzt immer mehr Kommunikations-, Informations- und Unterhaltungs-Elektronik – egal, ob Mobiltelefone, Personalcomputer mit schnellem Internetanschluss oder digitale Empfangsgeräte mit Flachbildschirmen. Hinzu kommen unterschiedlichste elektrische Geräte im Haushalt oder elektronische Anwendungen im Auto. Fast überall kann ein richtig eingesetztes Vielfachmessinstrument wertvolle Dienste leisten: Batterien, Akkus oder elektrische Bauteile lassen sich kontrollieren, Lampen testen, Sicherungen oder die Spannung auf Leitungen prüfen. Das Multimeter hilft, defekte Geräte zu reparieren und sie optimal zu betreiben. Auch den Energieverbrauch einzelner Komponenten kann man damit bequem feststellen und so Strom sparen. Spannungsmessungen an der Autoelektronik helfen, Fehler zu finden und die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Hat man ein entsprechendes Multimeter zur Hand, lassen sich auch nichtelektrische Größen wie Temperatur und Luftfeuchte messen. Wie das alles hinzubekommen ist, darüber informiert dieses Buch sehr praxisnah und setzt dabei keine Vorkenntnisse voraus. Das Multimeter erlaubt als universelles Messgerät eine Reise in die Welt der Technik, mit der man täglich zu tun hat. Dieses Buch möchte Sie bei dieser Reise mit Rat und Tat unterstützen. Es vermittelt Ihnen die Grundlagen moderner elektrischer und elektronischer Geräte, die so verständlicher werden – die beste Voraussetzung, um sie kostensparend und mit allen Vorteilen zu nutzen. Die Reise wird spannend, lehrreich und keinesfalls beschwerlich sein. Kommen Sie mit!

Ihr  
Frank Sichla

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Elektrische Grundlagen</b>	9
1.1	Spannung	10
1.2	Strom	11
1.3	Widerstand und Ohmsches Gesetz	12
1.5	Elektrische Leistung	13
1.4	Von Pico bis Giga: Vorsatzzeichen bei Maßeinheiten	13
1.6	Wechselspannung	14
1.7	Wichtige elektronische Bauteile	17
<b>2</b>	<b>Sicherheit geht vor</b>	19
2.1	Auf spannungsfestes Multimeter achten	21
2.2	Messleitungen korrekt anschließen	23
<b>3</b>	<b>Tipps zum Kauf eines Multimeters</b>	25
3.1	Analoge Messgeräte	26
3.2	Digitale Messgeräte haben die Nase vorn	28
<b>4</b>	<b>Richtig messen leicht gemacht</b>	31
4.1	Messfehler vermeiden	32
4.2	Spannung messen	34
4.3	Strom messen	36
4.4	Widerstände und Kondensatoren prüfen	38
4.5	Durchgangstest prüft Verbindung	40
4.6	Dioden und Transistoren testen	41
4.7	Trafos und Kontaktbauelemente	42
4.8	Wichtige Anwendertipps auf einen Blick	43
<b>5</b>	<b>Strom komfortabel ohne Berührung messen</b>	45
5.1	Wechselstrom-Zangen-Amperemeter	46
5.2	Allstrom-Zangen-Amperemeter	47
5.3	Stromzangen-Multimeter für maximalen Messkomfort	48
5.4	Messgrenzen der Stromzange	49

# Inhaltsverzeichnis

<b>6</b>	<b>Defekte Haushaltsgeräte reparieren</b>	51
6.2	Gerätesicherung prüfen	52
6.1	Zuerst Netzstecker aus Steckdose ziehen	52
6.3	Durch Strommessung zum Fehler	53
6.4	Unterschiedlichste Lampen prüfen	54
6.5	Heizwendeln im Fön oder elektrischen Wärmeofen	57
6.6	Haushaltsgeräte mit Motoren	58
6.7	Fehlersuche bei Kleingeräten	60
6.8	Verlängerungskabel und Steckdosenleiste prüfen	62
6.10	VDE-Prüfzeichen	64
6.9	Sicherheitsniveaus elektrischer Geräte	64
<b>7</b>	<b>Die Elektroinstallation im Griff haben</b>	65
7.1	Die einzelnen Leitungen im Stromkabel	67
7.2	Unterschiedliche Sicherungen	69
7.3	Netzspannung richtig messen	70
7.4	Der Fehlerstrom-Schutzschalter spricht an: Was tun?	72
7.5	Eine Sicherung reagiert: Vorgehen bei der Fehlersuche	73
7.6	Kleinspannungen messen	74
<b>8</b>	<b>Auto, Caravan und Boot unter die Lupe nehmen</b>	75
8.1	Betriebsspannung sicher messen	76
8.2	Die Autobatterie	77
8.3	Batterie mit Sonnenstrom aufladen	79
8.4	Spannungswandler	80
8.5	Tipps für den Autobastler	81
8.6	Leitungsfarben im Auto informieren über Verwendungszweck	83
8.7	Motor und Akku im Elektroboot	84
<b>9</b>	<b>Defekte elektronische Geräte reparieren</b>	85
9.1	Stromversorgung bei eingebautem Trafo prüfen	86
9.2	Steckernetzteil auf korrekte Spannung testen	89
9.3	Fehlersuche bei Batterien oder Akkus	91

# Inhaltsverzeichnis

9.4	Die elektronische Schaltung auf Fehler prüfen .....	92
9.5	Kopfhörer und Lautsprecherboxen checken .....	94
<b>10</b>	<b>Batterien und Akkus auf dem Prüfstand</b> .....	<b>95</b>
10.1	Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien .....	96
10.2	Lithiumbatterien .....	98
10.3	Silberoxydbatterien für Armbanduhr und Fotoapparat .....	99
10.4	Zink-Luft-Batterien für Hörgeräte .....	100
10.5	Günstige Batterien so gut wie teure? .....	101
10.6	AccuCell ersetzt Einwegbatterie .....	102
10.7	Bleiakku als Autobatterie .....	104
10.8	Bleigelakkus für hohe Ströme .....	106
10.9	Nickel-Cadmium- und Nickel-Metall-Hydrid-Akkus .....	107
10.10	Lithium-Ionen-Akkus speichern lange Strom .....	108
<b>11</b>	<b>Solarstrom mit Multimeter optimal nutzen</b> .....	<b>109</b>
11.1	Wie erzeugt die Solarzelle den Strom? .....	112
11.2	Kristalline Solarzellenmodule .....	113
11.3	Unterschiedliche Solarmodule auf Leistung prüfen .....	115
11.4	Amorphe Dünnschichtzellen .....	116
<b>12</b>	<b>Ausflug in die Hobbyelektronik</b> .....	<b>117</b>
12.1	Bausätze sind Trumpf .....	118
12.2	Optimierte Fehlersuche bei elektronischen Schaltungen .....	119
<b>13</b>	<b>Mit dem PC Messergebnisse automatisch auswerten</b> .....	<b>123</b>
13.1	PC-Multimeter .....	124
13.2	Computer-Messkarten für unterschiedlichste Anwendungen .....	126
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>127</b>

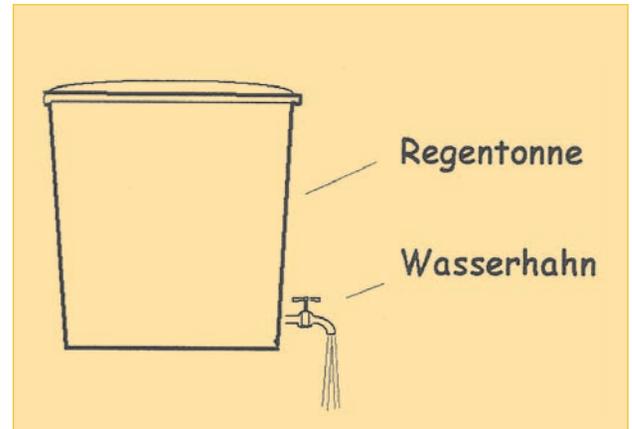
# 1 Elektrische Grundlagen

**B**evor es ans Messen und Prüfen von elektrischen Geräten in Haushalt, Hobby und Auto geht, muss man sich mit einigen Grundbegriffen der Elektrotechnik anfreunden: elektrische Spannung, elektrischer Strom, Widerstand und Leistung. Obwohl diese Begriffe längst die Welt der Fachleute verlassen haben, hat doch so mancher Schwierigkeiten, sie zu erklären und damit umzugehen. Dieses Buch beschreibt deshalb zunächst genau diese Grundlagen – denn sie sind die Voraussetzung für richtiges Messen in der Praxis.

## 1.1 Spannung

**N**egative Ladungsträger, sogenannte Elektronen, kann man von ihren Atomen trennen, so dass sich zwei Pole mit unterschiedlichen Ladungen bilden. Man spricht auch von einer elektrischen Spannung, die den Unterschied dieser Ladungen zwischen den beiden Polen angibt. Spannungsquellen besitzen deshalb immer zwei Pole mit unterschiedlichen Ladungen. Ein Beispiel ist die Steckdose in der Wohnung, an der eine Spannung von 230 Volt (V) anliegt. Wie bei einem Bogen, der gespannt wurde, steht auch an der Steckdose potenzielle Energie bereit. Die elektrische Spannung ist quasi der Druck zwischen beiden Polen. Sie ist die Voraussetzung, dass elektrischer Strom fließen kann, wenn man einen Stromverbraucher daran anschließt. Man kann sich eine Spannungsquelle am besten als Wassergefäß nach Abb. 1.1 vorstellen. In Elektrotechnik und Elektronik treten Spannungswerte zwischen einigen Millivolt und mehreren hundert Volt auf. Milli bedeutet dabei  $10^{-3}$ . Ein Millivolt ist deshalb ein Tausendstel Volt. Ein Multimeter kann meist alle Span-

nungen genau anzeigen, die in der Praxis anzutreffen sind. Techniker sprechen bei der Bezeichnung Milli auch von einem Vorsatzzeichen.



**Abb. 1.1** – Eine elektrische Spannungsquelle gleicht einem Wasserbehälter.

## 1.2 Strom

Schließt man an die beiden Pole einer Spannungsquelle einen Stromverbraucher an, fließt ein elektrischer Strom, weil sich die Elektronen oder negativen Ladungsträger bewegen. Der elektrische Strom verhält sich nach Abb. 1.2 wie Wasser in einer Leitung: So wie durch die beiden Schläuche eine bestimmte Menge Wasser fließt, fließen durch jeden metallischen Leiter eine bestimmte Anzahl von Elektronen pro Sekunde. Diese elektrische Stromstärke wird in Ampere (A) angegeben. In Elektrotechnik und Elektronik treten meist Ströme zwischen einigen Mikroampere ( $\mu\text{A}$ ) und mehreren Ampere auf. Mikro heißt dabei  $10^{-6}$ , so dass  $1 \mu\text{A}$  ein Millionstel Ampere ist. Ein Multimeter kann Ströme bis  $1 \text{ A}$  oder noch größer korrekt erfassen. Da die Elektronen negativ geladen sind, bewegen sie sich außerhalb der Spannungsquelle vom Minus- zum Plus-Pol (Abb. 1.3). Man spricht dabei auch von der physikalischen Stromrichtung. Bei ihrer Bewegung erzeugen sie ein Magnetfeld, dessen Stärke mit der Stromstärke zunimmt (Abb. 1.4). Dieser Elektromagnetismus wird in der Elektrotechnik genutzt.

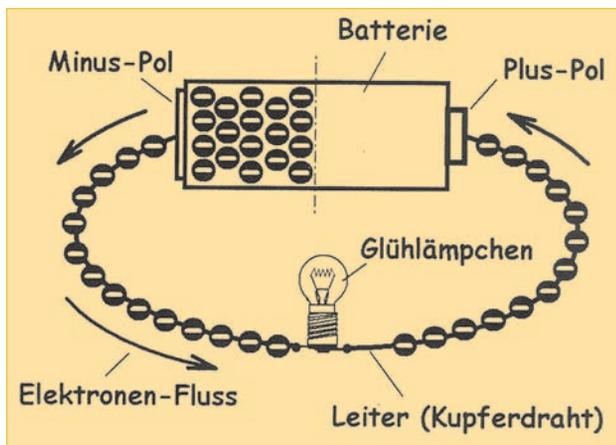


Abb. 1.3 – Die Elektronen fließen vom Minus- zum Plus-Pol.

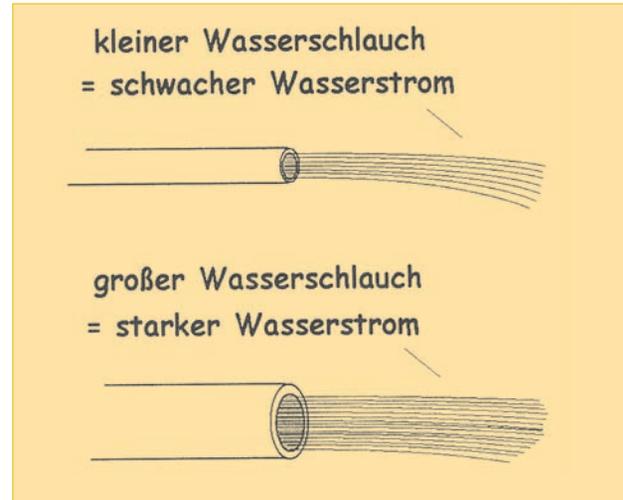


Abb. 1.2 – So wie durch die beiden Schläuche eine bestimmte Menge Wasser fließt, fließt durch jeden metallischen Leiter eine bestimmte Anzahl von Elektronen pro Sekunde. Man spricht dabei von der Stromstärke, die in Ampere angegeben wird.



Abb. 1.4 – Strom von  $1 \text{ A}$  kann eine Kompassnadel durch sein Magnetfeld ablenken, wenn man das stromdurchflossene Kabel mehrmals um den Kompass wickelt.

## 1.3 Widerstand und Ohmsches Gesetz

Kein Metall ist ein idealer Leiter, sondern besitzt einen Widerstand. Wenn ein Strom fließt, kommen deshalb die Elektronen nie ganz ungehindert voran. Bestimmte Materialien, wie beispielsweise Kohle, sind weder ein guter elektrischer Leiter noch ein Isolator, der keinen Stromfluss mehr zulässt. Die Techniker nennen sie deshalb Widerstandsmaterialien und stellen daraus Bauelemente her, die Widerstände heißen. Dabei gelten folgende Zusammenhänge: Je kleiner der Stromfluss ( $I$ ), desto größer ist der Widerstand ( $R$ ), und je größer die Spannung ( $U$ ) wird, umso größer ist auch der Strom ( $I$ ), der fließen kann. Man spricht dabei vom Ohmschen Gesetz, das Georg Simon Ohm entdeckt hatte. Dieses Gesetz drückt man in folgender Formel aus:  $U = R \times I$ . Der elektrische Widerstand wird in der Maßeinheit Ohm ( $\Omega$ ) angegeben. Jedes elektronische Multimeter kann Widerstände von wenigen Ohm über viele Kiloohm ( $k\Omega$ ) bis zu zwei Megaohm ( $M\Omega$ ) messen. Kilo steht dabei für  $10^3$ , Mega für  $10^6$ . Ein Kiloohm sind deshalb 1.000 Ohm, ein Megaohm entspricht einer Million Ohm.

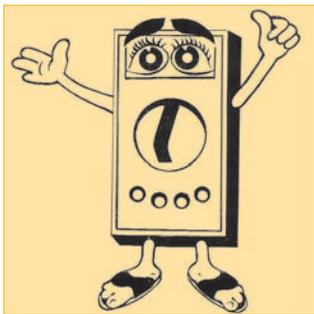
### Wann braucht man das Ohmsche Gesetz beim Messen?

Wenn sich nicht alle drei Werte – also Spannung, Strom und Widerstand – einfach messen lassen. Wenn Spannung und Widerstand bekannt sind und deshalb der Strom auszurechnen ist, lässt sich die Formel in  $I = U / R$  umstellen. Ist dagegen der Widerstand der gesuchte Wert, gilt  $R = U / I$ . Das hört sich an dieser Stelle theoretischer an als es in der Praxis ist. Wir kommen später anhand von vielen Beispielen auf diese Formel zurück, so dass auch der mathematisch unbedarfte Leser das Ohmsche Gesetz erfolgreich anwenden kann. Vor allem, wenn man den Strom bestimmen möchte, der in einer Leitung fließt, leistet das Ohmsche Gesetz wertvolle Dienste. Das Kapitel 4 *Richtig messen leicht gemacht* informiert im Abschnitt *Messen ohne Leitung auftrennen* darüber ausführlich.

## 1.4 Von Pico bis Giga: Vorsatzzeichen bei Maßeinheiten

Wie bei Spannung, Strom und Widerstand beschrieben, gibt es verschiedene Vorsatzzeichen, die vor den Maßeinheiten Volt, Ampere oder Ohm stehen. Gleiches gilt für Kapazitäten bei Kondensatoren, die meist in Nano- oder Picofarad angegeben sind. Die Vorsatzzeichen sind erforderlich, weil in der Praxis die

Messwerte meist zu groß oder zu klein sind, um allein mit der Grundmaßeinheit auszukommen. Die folgende Tabelle informiert über alle Vorsatzzeichen, die es in der Elektrotechnik gibt. Man muss bei jeder Messung darauf achten, ob in der Messbereichsangabe des Multimeters ein Vorsatzzeichen steht oder nicht.



Vorsatzzeichen bei Maßeinheiten		
Giga (G)	$10^9$	Faktor 1.000.000.000
Mega (M)	$10^6$	Faktor 1.000.000
Kilo (k)	$10^3$	Faktor 1000
Milli (m)	$10^{-3}$	Faktor 0,001
Mikro ( $\mu$ )	$10^{-6}$	Faktor 0,000.001
Nano (n)	$10^{-9}$	Faktor 0,000.000.001
Pico (p)	$10^{-12}$	Faktor 0,000.000.000.001

## 1.5 Elektrische Leistung

Die Leistung (P) ist in der Elektrotechnik die Energie, die ein elektrisches Gerät benötigt, um zu funktionieren. Sie ist das Produkt aus elektrischer Spannung und Stromstärke und wird in Erinnerung an den Dampfmaschinen-Konstrukteur in Watt (W) angegeben. Die

Kurzbezeichnung P steht für das englische Wort power. Es gilt folgende Formel:  $P = U \times I$ . Ein Beispiel: Eine Spannung (U) von 230 V und eine Stromstärke (I) von 0,2 A ergeben eine Leistung (P) von 46 W. Gleiches gilt für eine Spannung von 23 V und eine Stromstärke von 2 A.

## 1.6 Wechselspannung

Bei elektrischen Spannungen muss man zwischen Gleichspannungen mit einem Plus- und einem Minus-Pol und Wechselspannungen unterscheiden. Eine Wechselspannung liegt zum Beispiel in der Steckdose des Wohnzimmers vor. Gegenüber dem Gleichstrom besitzt der Wechselstrom zwei Vorteile: Er lässt sich einfacher produzieren und mit einem Trafo hoch- oder heruntertransformieren. Das ist für den verlustarmen Transport des Stroms über große Entfernungen wichtig. Die Wechselspannung in der Wohnzimmersteckdose ist mit 230 V deshalb gefährlich hoch, weil so die Kabel den Strom mit wenigen Verlusten weiterleiten. Um Strom über viele Kilometer verlustarm zu transportieren, verwenden die Energie-

versorgungsunternehmen sogar mehrere hundert Kilovolt Wechselspannung. Man spricht dabei auch von Hochspannung.

### Kurvenform

Im Gegensatz zur Gleichspannung besitzt die Wechselspannung eine Kurvenform, meist ist es eine Sinuskurve. Die Wechselspannung besteht deshalb aus unendlich vielen sogenannten Augenblickswerten, die sich ständig ändern (Abb. 1.5). Daneben ändert sich auch die Polarität der Spannung: Der obere Teil der Sinuskurve ist die positive, der untere Teil die negative Halbwelle. Neben der Sinusform kann die Wechselspannung auch Sägezähnen oder Rechtecken gleichen. Ist eine unbekannte Wechselspannung zu bestimmen, so müssen alle

Augenblickswerte auf einer horizontalen Zeitachse ( $t$ ) aufgetragen sein. Das macht das Oszilloskop, indem es den zeitlichen Verlauf der Spannung auf einem Bildschirm anzeigt. Das Bild, das so entsteht, heißt Oszillogramm.

### Unterschiedliche Spannungswerte

Bei der Wechselspannung sind verschiedene Werte zu unterscheiden. Der Scheitel- oder Spitzenwert ( $U_s$ ) einer Wechselspannung gibt die Weite der Schwingung nach oben und nach unten, also den Ausschlag an. Man spricht dabei auch von der Amplitude. Obwohl die Schwingungsweite auch der niedrigste Augenblickswert sein kann, geht man bei  $U_s$  immer vom Höchstwert aus. An der 230-V-

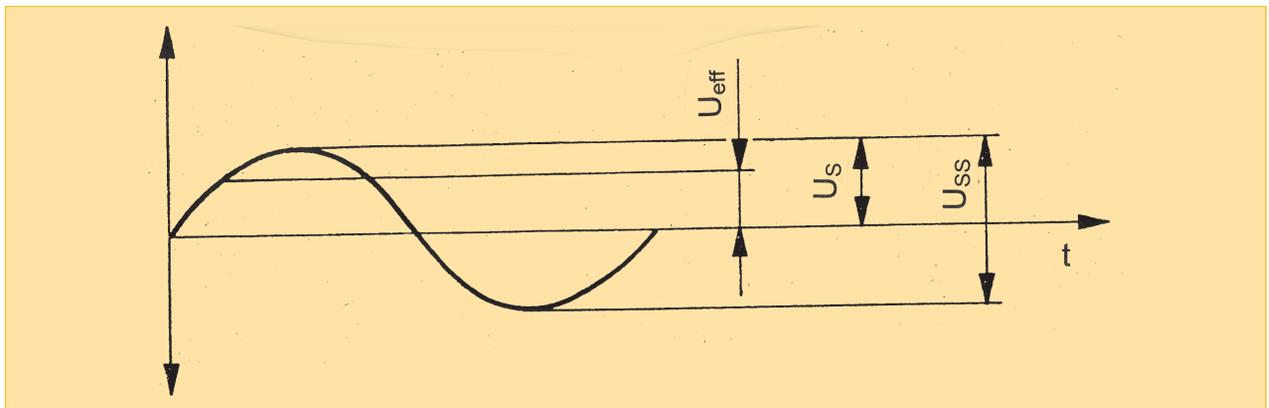


Abb. 1.5 – Wichtige Werte einer sinusförmigen Wechselspannung; der obere Teil ist die positive, der untere die negative Halbwelle.

## 1.6 Wechselspannung

Wohnzimmersteckdose liegt dieser Spitzenwert bei 325 V. Der sogenannte Spitze-Spitze-Spannungswert ( $U_{SS}$ ) bezeichnet den Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Augenblickswert. Es gilt folgende Formel, um das Ganze auszurechnen:  $U_{SS} = 2 \times U_S$ , bei der Steckdose im Wohnzimmer sind das  $2 \times 325 \text{ V} = 650 \text{ V}$ . Die Effektivspannung  $U$  oder  $U_{\text{eff}}$  ist ein Mittelwert, der der Leistung einer Gleichspannung entspricht. Es ist der Wert, den eine Gleichspannung haben müsste, damit sie die gleiche Zahl von Ladungsträgern oder Elektronen transportiert wie diese Wechselspannung. Hat die Wechselspannung eine Sinusform, gilt deshalb für die Effektivspannung die Formel  $U_{\text{eff}} = 0,707 \times U_S$ . Für die Wohnzimmersteckdose sind das die bekannten  $0,707 \times 325 \text{ V} = 230 \text{ V}$ . Anders dagegen bei einer gleichge-

richteten Wechselspannung, bei der die untere, negative Halbwelle fehlt, siehe Abb. 1.6 – hier errechnet sich die Effektivspannung nach der Formel  $U = 0,637 \times U_S$ . Für Ströme, die bei einer Wechselspannung fließen, gelten die genannten Formeln ebenfalls – nur, dass statt  $U$  für die Spannung jetzt  $I$  für den Strom in die Formeln einzusetzen ist.

Was haben nun die unterschiedlichen Wechselspannungswerte mit dem Messen zu tun? Die Antwort ist einfach: Messinstrumente sind keine Alleskönner. Einfache Multimeter können nur die sinusförmige Wechselspannung oder den sinusförmigen Wechselstrom richtig anzeigen. Andere Modelle erfassen dagegen den Effektivwert unabhängig von der Kurvenform – egal, ob Sinusform, Rechteckform, Dreieckform oder Impulse. Diese

Multimeter sind recht intelligent und deshalb auch etwas teurer. Man erkennt sie am Kürzel RMS, Root Mean Square. Das bedeutet frei übersetzt, den Mittelwert durch Wurzelziehen bilden. Preiswerte RMS-Multimeter lassen sich von der Firma Reichelt beziehen.

### Frequenz

Wechselspannungen schwingen mit einer bestimmten Frequenz ( $f$ ) oder Häufigkeit pro Sekunde, die in Hertz (Hz) angegeben wird. 1 Hz ist eine Schwingung pro Sekunde (s). Die Dauer einer Schwingung oder Periode ( $t$ ) hängt von der Frequenz ab, es gilt folgende Formel:  $t \text{ (s)} = 1 / f \text{ (Hz)}$ . Das 230-Volt-Lichtnetz besitzt eine Frequenz von 50 Hz, so dass die Schwingungsdauer bei  $t = 1 / 50 = 0,02$  Sekunden oder 20 Millisekunden (ms) liegt. Den Wechselstrom kann ein Multimeter nur in einem

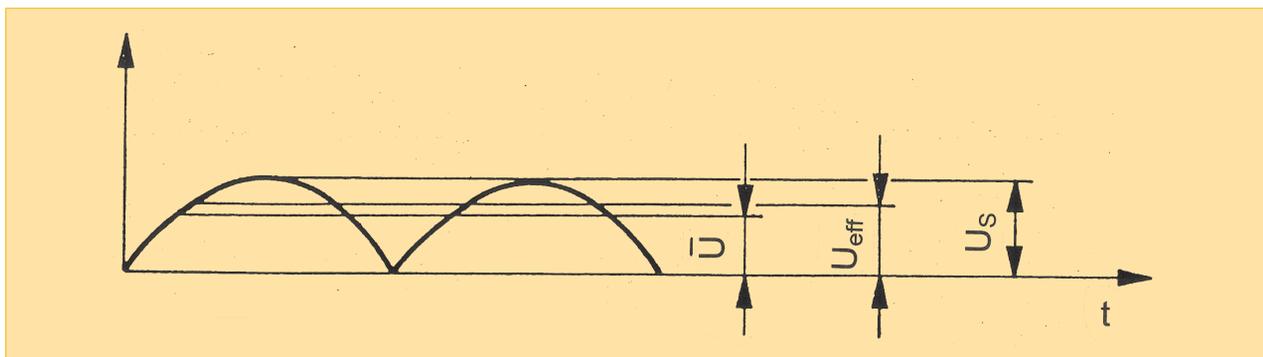


Abb. 1.6 – Wichtige Werte einer gleichgerichteten Wechselspannung.

## 1.6 Wechselspannung

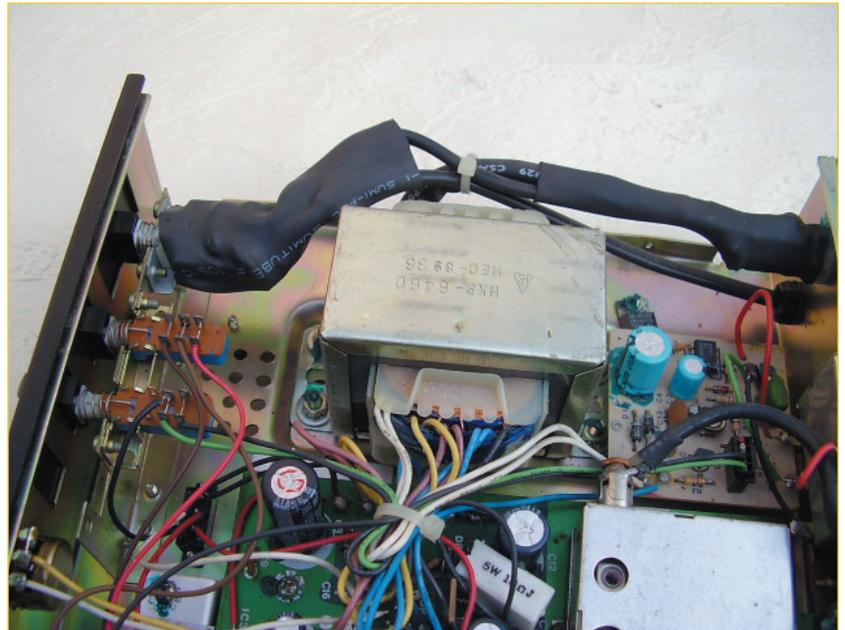
bestimmten Frequenzbereich korrekt messen, der immer die 230-V-Netzfrequenz von 50 Hz abgedeckt. Bei Multimetern ist der Frequenzbereich für eine korrekte Strom- und Spannungs-Messung meist recht eng. Man sollte ihn auf jeden Fall kennen, die Bedienungsanleitung informiert darüber.

### Was macht ein Trafo?

Um aus der 230-V-Wechselspannung eine handhabbare Betriebsspannung zu machen, brauchen viele elektrische und vor allem elektronische Geräte einen Transformator, kurz Trafo. Dieser transformiert die 230 V auf z. B. 12 V oder 24 V Wechselspannung herunter (Abb. 1.7). Der Trafo nutzt dafür zwei Spulenwicklungen auf einem Eisenkern: Die erste Spule oder Primärspule erhält die 230 V aus der Steckdose und erzeugt im Eisenkern ein veränderliches Magnetfeld. Dieses Feld durchdringt die zweite Spule oder Sekundärspule in einem zweiten Stromkreis und

erzeugt dort eine Spannung, die sogenannte Sekundärspannung. Diese meist viel kleinere Spannung als 230 V muss vor allem für elektronische Geräte in eine Gleichspannung

umgewandelt und diese dann stabilisiert werden. Viele neue Geräte nutzen statt eines Trafos ein Schaltnetzteil, das die Betriebsspannung elektronisch generiert.



**Abb. 1.7** – Ein Trafo macht aus einer 230-V-Wechselspannung eine handhabbare Betriebsspannung. Dazu nutzt er zwei Spulen in unterschiedlichen Stromkreisen.

## 1.7 Wichtige elektronische Bauteile

Neben den bereits beschriebenen Widerständen gibt es andere elektrische sowie elektronische Bauteile, die in fast jedes elektronische Gerät und in viele elektrische Anlagen eingebaut sind. Das Buch beschreibt im Folgenden die fürs Messen wichtigen Bauteile.

### Kondensator

Dieses Bauteil kann eine elektrische Ladung und damit elektrische Energie speichern. Der Kondensator besteht aus zwei elektrisch leitenden Flächen, den Elektroden, die einen geringen Abstand zueinander haben. Dazwischen liegt ein Bereich mit isolierendem Material, dem sogenannten Dielektrikum. Das kann ein Kunststoff, Luft oder ein Vakuum sein. Dieses Dielektrikum beeinflusst entscheidend die Eigenschaften des Kondensators. Werden die beiden Elektroden mit einer konstanten Spannung verbunden, fließt kurzzeitig ein Strom, der die eine Elektrode positiv und die andere negativ auflädt. Diese elektrische Ladung bleibt erhalten, auch

wenn man den Kondensator von der Spannungsquelle trennt – der Kondensator behält deren Spannung. Entnimmt man vom Kondensator eine Ladung, also einen Strom, sinkt seine Spannung wieder. Die gespeicherte Ladung steigt mit der Spannung. Dieses Speichervermögen des Kondensators bezeichnen Techniker als Kapazität. Je größer die Kapazität, umso mehr Ladung oder Elektronen kann er bei einer bestimmten Spannung speichern. Die Bilder 1.8 und 1.9 zeigen Grundaufbau und Schaltzeichen.

### Diode

Sie ist ein sogenanntes Halbleiterbauelement, das Strom nur in eine Richtung durchlässt. Zu den Halbleitermaterialien gehören Silizium, Selen und Germanium. Die Diode besitzt mit Anode und Kathode zwei verschiedene Elektroden (Abb. 1.10). Die Kathode erkennt man am Strich im Schaltbild (Abb. 1.11) oder auf dem Gehäuse der Diode. Ein Strom kann nur fließen, wenn an der Anode eine etwas höhere Spannung liegt als an der Kathode – und das hat elektrische Folgen: Liegt an der Kathode eine sinusförmige Wechselspannung, so fließt nur während der positiven (oberen) Halbwellen Strom durch die Diode – sie sperrt die negativen (unteren) Halbwellen. Sie erfüllt so die Funktion eines Gleichrichters, der aus Wechselstrom einen pulsierenden Gleichstrom macht, oder sie dient als elektronischer Schalter.

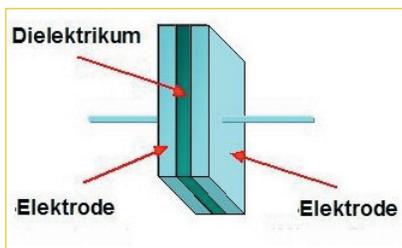


Abb. 1.8 – Aufbau eines Plattenkondensators. (Wikipedia/Jens Both)

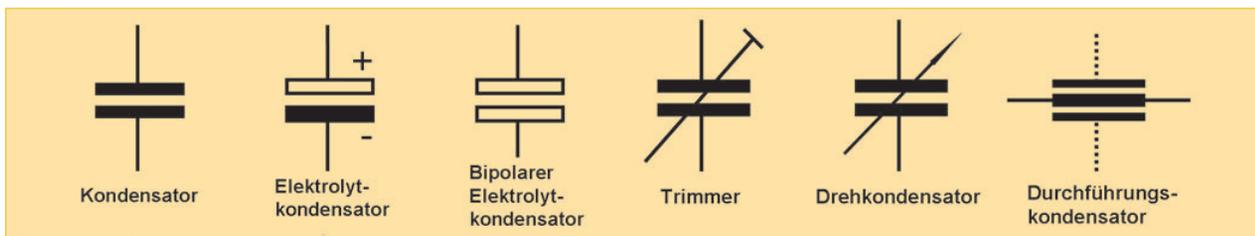


Abb. 1.9 – An diesen Symbolen kann man einen Kondensator erkennen. (Wikipedia/Jens Both)

## 1.7 Wichtige elektronische Bauteile

### Transistor

Er ist ein elektronisches Halbleiterbauelement, das in elektrischen Geräten Ströme und Spannungen verstärkt. Fachleute sprechen deshalb auch von einem aktiven Bauelement – im Gegensatz zu Kondensatoren und Dioden, die als passive Bauelemente gelten. Es gibt zwei Arten von Transistoren, die sich grundsätzlich durch die Art der Ansteuerung unterscheiden: Bipolar- und Feldeffekttransistor. Mit einem Multimeter sind die bipolaren Transistoren leichter messbar, die durch Stromfluss angesteuert werden. Sie besitzen nach Abb. 1.12 zwei Elektroden, die sich Emitter (E) und Kollektor (C) nennen sowie eine Steuerelektrode namens Basis (B). Emitter steht dabei für „Aussender“ und Kollektor für „Sammler“. Ein kleiner Strom, der durch die Basis-Emitter-Strecke fließt, steuert dabei einen großen Strom auf der Kollektor-Emitter-Strecke. Das Verhältnis von Kollektor- zu Basis-Strom ist der Stromverstärkungsfaktor. Je nach Aufbau unterscheidet man hier npn- und pnp-Transistoren: n steht dabei für negativ dotierte Zone, p für positiv dotierte Zone.

Neben bipolaren Transistoren gibt es noch sogenannte Feldeffekttransistoren. Ihre drei Elektroden heißen Source (Senke), Drain (Quelle) und Gate (Gitter), die

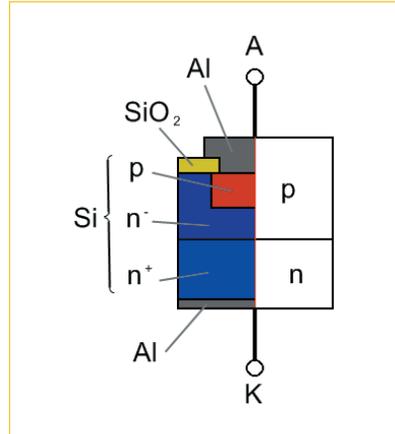


Abb. 1.10 – Aufbau einer Halbleiterdiode. (Wikipedia/MovGPO)

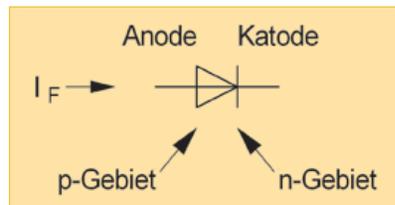
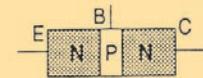
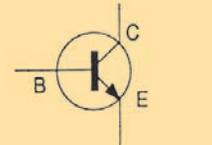


Abb. 1.11 – Allgemeines Schaltzeichen einer Diode. (Wikipedia/WolfgangS)

Steuerelektrode. Feldeffekttransistoren steuern den Stromfluss zwischen Drain und Source mit einem elektrischen Feld, das eine Spannung am Gate erzeugt. Dieses Feld reicht in den leitenden Kanal zwischen Source und Drain hinein. Auch bei den Feldeffekttransistoren gibt es zwei Möglichkeiten in punkto Aufbau: Der Kanal kann positiv

### Schaltsymbol NPN-Transistor



B = Basis  
E = Emitter  
C = Kollektor

### Schaltsymbol PNP-Transistor

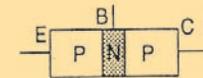
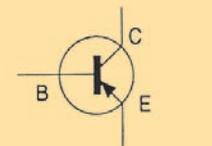


Abb. 1.12 – Aufbau und Schaltsymbole von npn- und pnp-Transistor.

(p) oder negativ (n) dotiert sein. Bei Anlegen einer Gate-Spannung bildet sich das elektrische Feld und beeinflusst den Stromfluss. Feldeffekttransistoren sind also im Unterschied zu bipolaren Transistoren spannungsgesteuert.

## 2 Sicherheit geht vor

## 2 Sicherheit geht vor

**B**ei allen Messungen an der Hausinstallation oder an netzbetriebenen elektrischen Geräten hat die Sicherheit Vorrang. Nicht erst die 230-V-Netzspannung, sondern auch deutlich geringere Spannungen sind lebensgefährlich. Hierzu gehören Wechselspannungen ab 50 V und Gleichspannungen ab 120 V. Neben der direkten Stromeinwirkung können Schreckreaktionen zusätzliche Gefahren bergen, wenn der Anwender dann aus Versehen eine Leitung mit einer hohen Spannung berührt. Besonders fatal: Ein möglicher Muskelkrampf kann das Loslassen der spannungsführenden Leitung verhindern! Deshalb gilt der Grundsatz: Erst an die Sicherheit denken, dann messen! Die Sicherheit muss an erster Stelle stehen, auch weil sogenannte transiente Überspannungen in der Elektrotechnik eine immer größere Rolle spielen. Das Wort „transient“ kommt aus dem Englischen und bedeutet hier Einschaltstromstoß

oder Einschwingen. Transiente Überspannungen sind Spannungen, die durch Schalt-, Einschwing- oder Umschalt-Vorgänge kurzzeitig auftreten. Sie können wesentlich höher als die Nennspannung sein, die beim Normalbetrieb des elektrischen Geräts anliegt. Besonders krass zeigte sich das bei Messungen an der Stromversorgung von Nahverkehrszügen. Die Nennspannung betrug 600 V. Trotzdem waren die zur Messung benutzten Multimeter für maximal 1.000 V nach kurzer Zeit kaputt. Die Ursache war eine Überspannung von bis zu 10.000 V, die das Anhalten und Anfahren der Züge produzierte. Da elektrische Systeme und Stromverbraucher immer komplexer werden, erhöht sich auch im häuslichen 230-V-Stromnetz die Wahrscheinlichkeit von Überspannungen. Vor allem Motoren, aber auch Kondensatoren neigen dazu.

## 2.1 Auf spannungsfestes Multimeter achten

Da Überspannungen im 230-V-Stromnetz mehr als tausend Volt erreichen können, muss das verwendete Multimeter ausreichend spannungsfest sein. Dabei darf man sich nicht am höchsten Messbereich des Multimeters orientieren – denn dieser sagt nichts darüber aus, wie das Multimeter auf Überspannungen reagiert. Diese zerstören seine Eingangsschaltung beim Messen. Eine Schmelzsicherung an dieser Stelle ist nutzlos, da sie aufgrund des sehr hohen Eingangswiderstands erst bei zu hohem Strom anspricht. Trotzdem Entwarnung: Ob digitale Geräte oder analoge Zeigerinstrumente, man erkennt überspannungsfeste Multimeter am Kürzel CAT. Es taucht im Prospekt, in der Internetvorstellung oder in den Produktinformationen auf. Die Bezeichnung CAT leitet sich vom englischen Wort category ab und unterscheidet vier Sicherheitskategorien, die in den römischen Zahlen Eins bis Vier angegeben sind. Je höher die Zahl, umso besser sind Multimeter und Zubehör geschützt. Damit noch nicht genug: Jede Kategorie ist durch eine Spannungsangabe weiter unterteilt. Ein Multimeter mit der Kennzeichnung CAT III/1.000 V ist besser geschützt als eines mit CAT III/600 V, obwohl beide derselben Kategorie angehören.

Die Spannung 600 V oder 1000 V halten die Messgeräte dabei dauerhaft aus, kurzzeitig vertragen sie deutlich mehr. Diese kurzzeitig angelegte „Prüfspannung“ ist ungefähr zehnmal größer und beträgt in beiden Fällen mindestens 5000 V. Ein Multimeter mit CAT-Kennzeichnung ist auch dann vor Überlastung geschützt, wenn man eine andere elektrische Größe als die Spannung misst – vorausgesetzt, die Messleitungen sind mit den Spannungsbuchsen verbunden. Gelangt die Überspannung dagegen an eine andere Buchse des Geräts, ist die Schutzwirkung dahin! Man braucht die CAT-Angaben übrigens nur für die Spannungsmessung. Für die Strommessung ist in die meisten Multimeter eine schnell ansprechende Sicherung eingebaut.

### Das richtige Modell auswählen

Je näher man an der 230-V-Netzspannungsquelle messen möchte, umso besser muss das Multimeter geschützt sein. Denn die möglicherweise auftretende Spannung steigt mit der Nähe zur Quelle und darf nicht über der niedrigsten CAT-Spannung des Multimeters liegen! Doch welches Modell ist das richtige? Für Haus und Wohnung reicht ein Messinstrument der CAT-II-Kennzeichnung mit einer möglichst hohen Spannung. Es schadet aller-

dings auch nicht, ein paar Euro mehr auszugeben und ein Gerät mit einem CAT-III-Schutz zu erwerben. Dieses ist vor allem bei Messungen an der Hausinstallation zu empfehlen. Unsicherheiten bei der Überspannungsfestigkeit sollte man dabei nicht tolerieren. Greift man gleich zu einem Markengerät, sind diese ausgeschlossen. So hat die Firma Fluke ausschließlich nach EN 61010 zertifizierte Multimeter im Programm, eins zeigt Bild 2.1. Schon die Einstiegsmodelle glän-



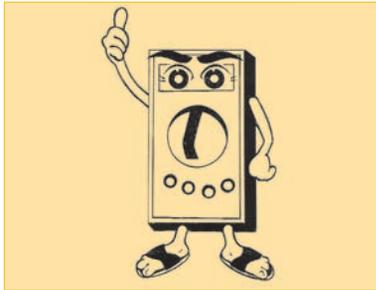
**Abb. 2.1** – Professionelle Multimeter besitzen einen CAT-III-Schutz vor Überspannungen. Dieser ist für Anwendungen in Haus und Wohnung mehr als ausreichend.

## 2.1 Auf spannungsfestes Multimeter achten

zen mit CAT III/600 V, das entspricht einer Prüfspannung von 6000 V. Allerdings beliefert Fluke den Profibereich, so dass die Preisskala bei rund 100 Euro beginnt.

Entscheidet man sich für ein Qualitätsmessgerät nach der Norm EN 61010, muss diese auch für die

Messleitungen gelten. Der Grund dafür ist einfach: Wenn Multimeter und Zubehör nicht harmonieren, prägt immer die Komponente mit dem niedrigsten Sicherheitsstandard die Sicherheit des Gesamtsystems.



### Welches Multimeter für welchen Zweck?

Schutzkategorie	Verwendungszweck
CAT III	Messungen an der Hausinstallation
CAT II	Messungen an Stromverbrauchern, die an die 230-V-Steckdose angeschlossen sind
CAT I	Messen von kleinen Spannungen

## 2.2 Messleitungen korrekt anschließen

**E**in sicherheitstechnisch gut gewappnetes Multimeter nützt nichts, wenn man die Messleitungen nicht in die richtigen Buchsen des Geräts steckt. Außerdem muss man die höchstmögliche Spannung am Messobjekt kennen und das Multimeter im richtigen Messbereich betreiben. Umgekehrt kann eine unsachgemäße Anwendung Sach- und Personen-Schäden bis hin zu tödlichen Unfällen verursachen. Möchte man die Spannung in der Elektroinstallation messen und hat aus Versehen den Strommessbereich gewählt, die Messleitungen aber korrekt an die Spannungsbuchsen angeschlossen, dann passiert – nichts. Die Spannung liegt korrekt am Multimeter an, wird aber nicht angezeigt. Nun ein ähnlicher Fall: Der Messart-Drehknopf ist korrekt auf 2000 V gestellt, die Messleitungen sind aber versehentlich mit den Amperebuchsen verbunden. Das löst meist einen Kurzschluss aus! Im schlimmsten Fall fliegt nicht nur die Sicherung heraus, sondern der Anwender bekommt einen Schreck

und berührt den spannungsführenden Außenleiter des Stromkabels, die sogenannte Phase. Über die Sicherheit beim Messen entscheidet deshalb ein korrekter Anschluss ans Multimeter, nicht die Einstellung des Messbereichs! Manche Messgeräte besitzen eine Buchsensperre, die allerdings nicht zu überschätzen

ist. Wenn der Anwender meint, die Messleitungen seien in die richtigen Buchsen gesteckt, ist es bereits zu spät. Schaltet er in den korrekten Spannungsbereich, hilft es nichts. Bei solchen Geräten muss man sich angewöhnen, erst zu schalten und dann zu stecken und nicht umgekehrt.



Abb. 2.2 – Sicherungen in Multimetern stecken meist im Batteriefach.

## 2.2 Messleitungen korrekt anschließen

Die interne Sicherung nach Abb. 2.2 schützt das Multi-  
meter, so dass man immer mindestens ein identisches  
Ersatzmodell parat haben sollte. Die Bedienungsan-  
leitung liefert die genauen Angaben – neben dem Strom  
ist dabei auch eventuell ein nachfolgender Buchstabe  
zu beachten. Die Sicherung schützt übrigens nicht den  
Anwender – der muss sich durch richtiges Messen  
selbst schützen (Abb. 2.3).

Meist sind elektrisch leitende Teile, die über 24 V  
führen, isoliert und so gegen direktes Berühren ge-  
schützt. Trotzdem sind beim Messen und Prüfen pas-  
sende Messstrippen zu empfehlen. Ihre ergonomische  
und somit sicherheitsgerechte Gestaltung mit Ab-  
rutschschutz bietet zusammen mit der CAT-Zertifizie-  
rung höchste Sicherheit. Es kann allerdings vorkom-  
men, dass eine Strippe angezwickt oder an einer Stelle  
die Isolation beschädigt wird. In diesem Fall sollte man  
die beschädigte Messstrippe durch eine neue ersetzen.



**Abb. 2.3** – „Vorsicht Hochspannung“ gilt in Umspann-  
werken und Trafostationen, „Vorsicht Niederspannung“  
könnte es für die Hausinstallation heißen. (pixelQuelle)

## 3 Tipps zum Kauf eines Multimeters

**N**eben der beschriebenen Spannungsfestigkeit sollte ein Multimeter weitere Eigenschaften besitzen, damit das Messen problemlos klappt. Die großen Elektronik-Versandhäuser wie z. B. Conrad Electronic, ELV, Westfalia Technica und Reichelt Elektronik halten unterschiedlichste Multimeter bereit und verbinden Qualität mit günstigen Preisen. Die Palette reicht vom absoluten Preishit bis zum 100-Euro-Gerät. Einfache Geräte für rund 10 Euro können Strom, Spannung und Widerstände messen. Legt man noch einmal 10 Euro drauf,

erhält man Geräte, die weitere elektrische Größen wie Kapazitäten oder Temperaturen und die Luftfeuchte erfassen. Auch innerhalb enger Preiskategorien trifft man auf ganz verschiedene Geräte, manche von ihnen haben ein besonders gutes Preis-Leistungs-Verhältnis. Auch Baumärkte führen Multimeter, die aber meist qualitativ weniger gut sind als die Geräte der Elektronik-Versandhäuser. Die Vielfachmessinstrumente sind mit digitaler und analoger Anzeige erhältlich.

## 3.1 Analoge Messgeräte

Sie besitzen im Gegensatz zu digitalen Multimetern ein analoges Zeigeelement und gliedern sich in aktive Geräte mit einem Elektronikteil sowie passive Modelle. Der Elektronikteil schützt analoge Instrumente vor Überlastung. Man kann beispielsweise an ein aktives Analogmultimeter im kleinsten Spannungsmessbereich 600 V anlegen – und das Gerät bleibt trotz tausendfacher Überlastung unversehrt. Bild 3.1 zeigt einen typischen passiven Vertreter.

### Vorsicht bei passiven Geräten

Passive Zeigerinstrumente ohne Elektronikteil können schnell irreparabel überlastet werden, da sie nur kurzzeitig eine elektrische Messgröße mit dem zehnfachen Höchstwert vertragen! Hier ist besonders aufzupassen und immer ein Messbereich zu wählen, der nicht zu klein ist. Braucht man das Gerät nicht, sollte man zur Sicherheit den höchsten Spannungsbereich einstellen.

### Wie genau ist die Anzeige?

Passive wie aktive Analogmultimeter tragen mehrere Symbole und Zeichen, die beispielsweise über die Gebrauchslage und die Genauigkeit der Anzeige informieren (Abb. 3.2 und 3.3). Diese Toleranz wird auch als Klasse angegeben, Klasse  $x$  bedeutet dabei  $x$  Prozent Toleranz. Gehört ein Gerät zur Klasse 1,5, liegt die Anzeigetoleranz bei 1,5 Prozent vom Skalenhöchstwert. Beträgt dieser beispielsweise 3 V, liegt die absolute Ungenauigkeit der Anzeige bei 0,045 V oder 45 mV.



Abb. 3.1 – Ein analoges Multimeter mit Spiegelkala, die das korrekte Ablesen der elektrischen Werte sicherstellt.



Abb. 3.2 – Hinweissymbole auf dem analogen Multimeter. Dieses Gerät besitzt eine Anzeigetoleranz von 1,5 Prozent.

## 3.1 Analoge Messgeräte

		Drehspulinstrument
		Elektromagnetisches Meßinstrument
		Kreuzspulinstrument
		Elektrodynamisches Instrument ohne Eisenkern
		Elektrodynamisches Instrument mit Eisenkern
		Drehspulinstrument mit Gleichrichter
		Hitzebrahtinstrument
		Zungenfrequenzmesser
		Horizontalbetrieb
		Vertikalbetrieb
		45° Aufstellung
		Gleichstrom
		Wechselstrom
		Gleich- und Wechselstrom
		Drehstrom

Abb. 3.3 – Mögliche Symbole auf analogen Vielfachmessern und ihre Bedeutung.

### Eingangswiderstände beachten

Eine weitere Besonderheit der passiven Vielfachmesser ist bei der Spannungsmessung die Angabe des Eingangswiderstands in Kiloohm pro Volt ( $k\Omega/V$ ). Je größer der Eingangswiderstand, umso besser das Gerät, da man so möglichst fehlerfrei messen kann. Der Eingangswiderstand steigt mit einem größeren Messbereich, ist innerhalb eines Messbereichs aber konstant. Daher die zunächst etwas verwirrende Kennzeichnung. Übliche Zeigerinstrumente kommen bei Gleichspannung auf einen Eingangswiderstand von  $10 k\Omega/V$  und bei Wechselspannung auf  $4,5 k\Omega/V$ . Das ergibt beispielsweise im 3-V-Bereich für Gleichspannung einen Eingangswiderstand von  $30 k\Omega$  und  $13,5 k\Omega$  bei Wechselspannung. Spitzengeräte erreichen leicht die doppelten Werte.

## 3.2 Digitale Messgeräte haben die Nase vorn

Die digitalen Multimeter haben den analogen den Rang abgelassen, weil sie klein, robust und bequem ablesbar sind. Einfache Digitalmultimeter können sehr flach sein und vom Format her einer Zigarettenschachtel gleichen, so dass sie sich leicht transportieren lassen. Sie sind unempfindlich gegen Schlag und Stoß und zeigen immer zuverlässig an. Die Ziffern des Displays sind auch aus größerer Entfernung gut zu erkennen. Aber auch analo-

ge Geräte haben Vorteile: Ihr Zeigerausschlag lässt sich verfolgen, so dass man schwankende Werte besser messen kann. Außerdem brauchen passive Ausführungen für die Strom- und Spannungsmessung keine Batterie. Dafür ist ihr Eingangswiderstand bei der Spannungsmessung geringer als bei den digitalen Modellen. Bei der Strommessung ist der sogenannte Innenwiderstand dagegen höher. Beides ist von Nachteil, weil so die

Gefahr von Messfehlern steigt. Bild 3.4 zeigt Symbole auf Digitalmultimetern.

### Automatisch geschaltete Messbereiche

Bei Digitalmultimetern lassen sich im Hinblick auf die Messbereiche drei Typen unterscheiden: Geräte, bei denen der Messbereich per Hand umzuschalten ist (Abb. 3.5), Multimeter, bei denen das automatisch passiert (Abb. 3.6) und Gerä-



Abb. 3.4 – Symbole auf Digitalmultimetern.

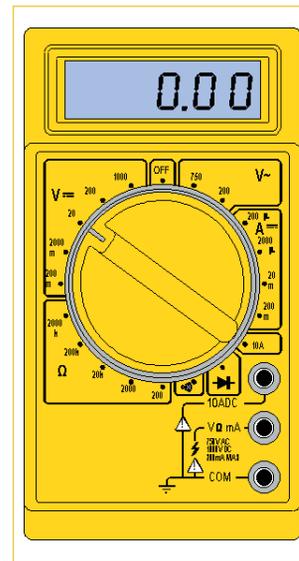


Abb. 3.5 – Die Vorderseite eines Multimeters, bei dem der Messbereich per Hand umzuschalten ist, wirkt auf Grund der vielen Messbereichsangaben etwas unübersichtlich.

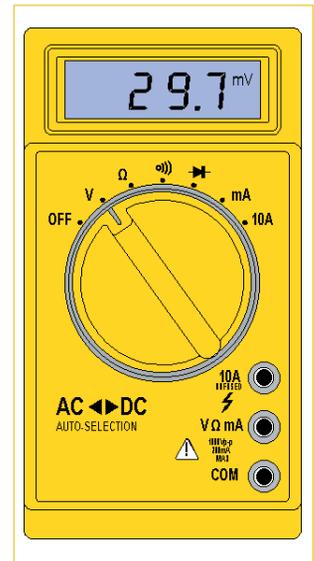


Abb. 3.6 – Schaltet sich der Messbereich automatisch um, sind die Angaben auf der Vorderseite des Geräts auch für den Laien leicht nachvollziehbar. Das Gerät ist so leichter zu bedienen.

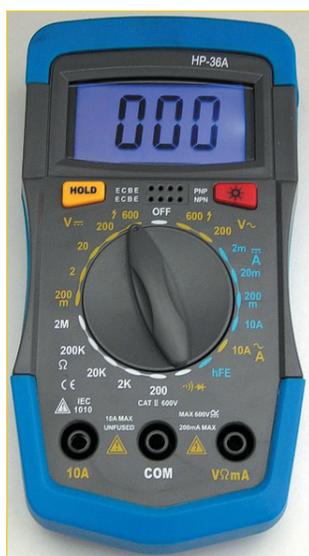
## 3.2 Digitale Messgeräte haben die Nase vorn

te, die beide Betriebsarten zulassen. Schalten sich die Messbereiche automatisch um, ist der Anwender auf der Vorderseite des Geräts mit deutlich weniger Messbereichsangaben konfrontiert. Das macht die Handhabung vor allem für den Laien deutlich einfacher und übersichtlicher. Multimeter, die die Messbereiche automatisch umschalten, vermeiden außerdem Messfehler, die bei manueller Bedienung durch die Wahl zu großer Messbereiche auftreten können.

### Abschaltautomatik und Data-Hold-Funktion

Neben der automatischen Wahl des passenden Messbereichs ist eine Abschaltautomatik wünschenswert. Vergisst man einmal, das Gerät auszuschalten, passiert das etwas später automatisch, so dass die Batterie des Geräts geschont wird. Der Stromverbrauch moderner

Multimeter ist jedoch erstaunlich gering. Eine übliche 9-V-Blockbatterie sollte mindestens ein Jahr halten. Ein 9-V-Akku scheidet wegen der höheren Selbstentladung aus. Weniger wichtig ist der Anzeigebereich: Die sogenannte dreieinhalbstellige Anzeige mit den Endziffern 1999 ist ebenso gut brauchbar wie die dreiviertelstellige mit den Endziffern 3999. Wichtiger sind dagegen der maximal zu messende Strom und Widerstand sowie eine Data-Hold-Funktion: Ein Druck auf die gelbe Taste nach Abb. 3.7 links oben friert gewissermaßen die Anzeige ein – überall dort von Vorteil, wo man in ungünstigen Lagen oder Lichtverhältnissen messen muss. Wer sich etwas mehr für Elektronik interessiert, sollte auch darauf achten, dass das Multimeter Kapazitäten messen kann, was bei vielen Geräten nicht der Fall ist. Übrigens: Neuere Modelle sind bleifrei gelötet und damit besonders umweltfreundlich (Abb. 3.8).



**Abb. 3.7** – Ein hochwertiges Multimeter mit Data-Hold-Funktion, erkennbar an der gelben Taste.



**Abb. 3.8** – Die Bezeichnung RoHS auf der Rückseite des Multimeters verrät, dass es umweltfreundlich ohne Blei auskommt.

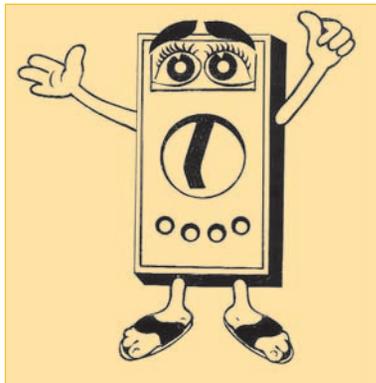
### Stiftmultimeter sind klein und schlank

Eine raffinierte Bauform haben Stift- oder Pen-Multimeter nach Bild 3.9. Diese kleinen schlanken Digitalmultimeter sind platzsparend gefertigt und ermöglichen das bequeme Messen auch an ungünstigen Stellen. Die Anzeige ist zwar gerätebedingt recht klein und nicht immer sofort ablesbar, als Ausgleich ist die Data-Hold-Funktion aber stets vorhanden.

## 3.2 Digitale Messgeräte haben die Nase vorn



Abb. 3.9 – Stiftmultimeter sind nicht nur schick, sondern auch praktisch.



### Kürzel auf dem Multimeter

AC A	Wechselstrom (Alternate Current Ampere)
AC V	Wechselspannung (Alternate Current Voltage)
C, C <sub>x</sub>	Kapazität eines Kondensators
CE	europäisches Konformitätszeichen
COM	Common, gemeinsame Eingangsbuchse
DC A	Gleichstrom (Direct Current Ampere)
DC V	Gleichspannung (Direct Current Voltage)
DVM	Digitalvoltmeter
DMM	Digitalmultimeter
h <sub>FE</sub>	Stromverstärkung bei Transistoren
OFF	aus
Diodensymbol	Durchgangsprüfer/Diodentest

## 4 Richtig messen leicht gemacht

**H**at man sich für ein spannungsfestes Multimeter mit entsprechenden Messstrippen entschieden, kann es ans Messen gehen. Als Messpunkte kommen blanke metallische Stellen wie Klemmen, Buchsen oder Fassungen am zu prüfenden Gerät infrage. Dort sind die Messstrippen anzuklemmen oder gut leitend aufzusetzen. Das Messen kann im Elektronikbereich relativ oder absolut erfolgen. Eine Relativmessung ist beispielsweise der Vergleich eines unbekanntes Widerstands mit einem veränderlichen, aber bekannten Widerstand. Dabei verändert man den bekannten Widerstand in einer sogenannten Brückenschaltung solange, bis das Instrument null anzeigt. Der unbekanntes Widerstand ist nun so groß wie der bekannte. Beim absoluten Messen erfolgt der Vergleich mit einer festgelegten Maßeinheit. Ist die gemessene Spannung bei einer Maßeinheit von 1 V doppelt so groß, beträgt sie 2 V. Jedes Multimeter misst absolut.

## 4.1 Messfehler vermeiden

Es sind drei verschiedene Messfehler möglich, von denen sich allerdings zwei weitgehend vermeiden lassen: methodische Fehler und Gerätefehler. Methodische Fehler entstehen beim Anschluss des Messinstruments an eine Messschaltung. Sie sind theoretisch unvermeidlich, aber wie der Gerätefehler von beispielsweise 1,5 Prozent vom Messbereichs-Höchstwert bei der Strom- und Spannungs-Messung vernachlässigbar gering. Der absolute Gerätefehler ist allerdings nur dann minimal, wenn man den kleinstmöglichen Messbereich wählt – ein Multimeter, das den Messbereich automatisch umschaltet, sorgt dafür selbst! Wird dagegen nach Abb. 4.1 eine 1-V-Spannung im 20-V-Bereich gemessen, ergibt sich bei einem Gerätefehler von 1,5 Prozent ein möglicher prozentualer Messfehler von 31 Prozent – denn 1,5 Prozent von 20 V sind 300 mV, und das sind genau 30 Prozent von 1 V. Hinzu kommt der Gerätegrundfehler, der sich aus dem „Spielraum“ der letzten Stelle im Display ergibt. Bei einem Messbereich von 20 V sind das 10 mV oder 1 Prozent Messfehler bei 1 V. Die zu messende Spannung liegt also zwischen 690 mV oder 0,69 V und 1,31 V. Ist dagegen der korrekte Messbereich von 2 V gewählt (Abb. 4.2), liegt der prozentuale Messfehler bei lediglich 3,1 Prozent. Der digitale Gerätegrundfehler beträgt in diesem Fall nur vernachlässigbare 1 mV. Das vierstellige Display des Multimeters zeigt eine Spannung zwischen 996 mV und 1,031 V an. Hat das Display dagegen nach Bild 4.3 nur drei Stellen, steigt der Messfehler selbst beim richtigen 2-V-Messbereich auf 4 Prozent. Der Grundfehler ist jetzt 10-mal so groß, der „Spielraum“ der letzten Stelle beträgt wieder 10 mV. Die gemessene Spannung liegt zwischen 960 mV und 1,04 V.



Abb. 4.1 – 1-V-Anzeige im vierstelligen 20-V-Messbereich.

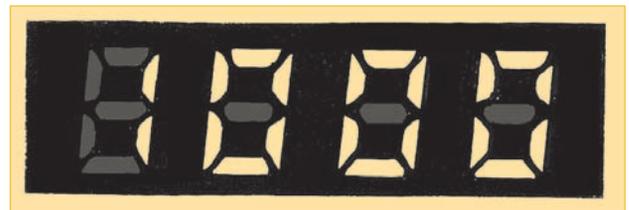


Abb. 4.2 – 1-V-Anzeige im vierstelligen 2-V-Messbereich.

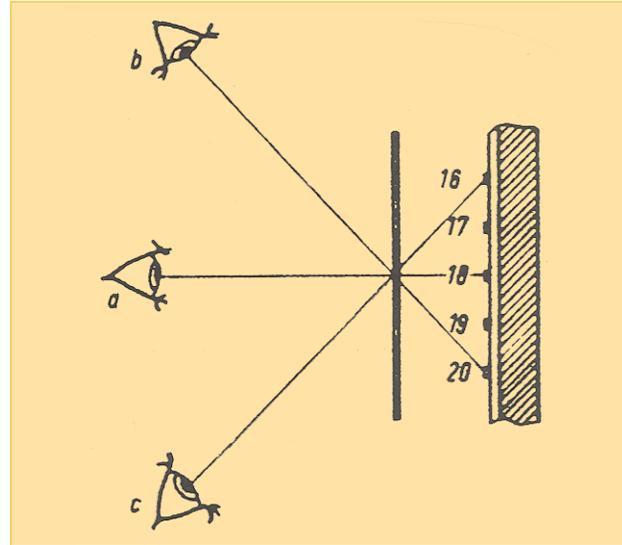


Abb. 4.3 – 1-V-Anzeige im dreistelligen 2-V-Messbereich.

Ist man vor methodischen Fehlern und Gerätefehlern gefeit, wenn man den kleinstmöglichen Messbereich wählt, lassen sich Ablesefehler nicht immer so leicht vermeiden. Bei der Digitalanzeige kann man sich leicht um den Faktor 10 irren, wenn man den Messbereich nicht beachtet oder die Anzeige falsch interpretiert.

## 4.1 Messfehler vermeiden

Das Digitalmultimeter zeigt in bestimmten Bereichen einen Punkt an, der eigentlich ein Komma sein soll. Der Messbereich wird dadurch klar gekennzeichnet. Bei einer analogen Zeigeranzeige ist ein Irrtum möglich, und es kommen zwei weitere mögliche Fehler hinzu: Zum einen der Umrechnungsfehler, wenn beispielsweise die Skala bis 30 geht, man aber im 1- oder 10-V-Bereich misst. Ist nun mit drei zu multiplizieren oder durch drei zu teilen? Teilen ist richtig, beim Multiplizieren würde man 10 Prozent zu wenig herausbekommen. Zweitens kommen mögliche Fehler durch eine „schiefe“ Betrachtung hinzu, siehe Bild 4.4. Gute Analoginstrumente besitzen deshalb eine Spiegelskala, die nur richtig abgelesen wird, wenn das Spiegelbild des Zeigers unter dem Zeiger verschwunden ist.



**Abb. 4.4** – Fehler durch schräge Betrachtungsweise beim analogen Anzeigegerät.

## 4.2 Spannung messen

**E**in Spannungsmesser lässt sich immer parallel zur Spannungsquelle, zum Stromverbraucher oder zum Bauelement anschließen, so dass man den Stromkreis nicht auftrennen muss. Um die zu messende Schaltung nicht zu beeinflussen, sollte der Eingangswiderstand des Spannungsmessgeräts recht hoch sein – elektronische Multimeter besitzen  $1\text{ M}\Omega$  oder  $10\text{ M}\Omega$ . Neben dem korrekten Messbereich ist mit Gleichspannung (DC) oder Wechselspannung (AC) außerdem die Spannungsart richtig einzustellen. Bei Gleichspannung ist bei analogen Messgeräten auch auf die Polarität mit Plus und Minus zu achten. Bei Digitalmultimetern ist das egal, da sie auch negative Spannungen anzeigen. Der Messbereich darf bei analogen Messgeräten außerdem nicht zu klein sein, weil sonst der Zeiger keine genauen Werte mehr anzeigen kann.

### Wechselspannung sollte Sinusform besitzen

Viele Multimeter liefern nur bei sinusförmigen Wechselspannungen und in einem engen Frequenzbereich von meist 40 bis 400 Hz richtige Ergebnisse. Auf jeden Fall messen sie im 230-V-Lichtnetz korrekt, das eine Frequenz von 50 Hz besitzt. Für das Messen von hohen Frequenzen kommen übrigens passive analoge Zeigerinstrumente infrage – neben der Batterieunabhängigkeit ein klares Plus dieser Geräte, die sonst nur nachteilig auffallen. Die Elektronik beschränkt die messbare Wechselspannungsfrequenz hier nicht. Wer einen sogenannten NF-Sinusgenerator besitzt, kann das ausprobieren. Mit passiven Multimetern kann man leicht Spannungen mit Frequenzen bis zu 500 kHz oder mehr richtig messen.

### Bei Gleichspannung dient Metallfläche als Minuspol

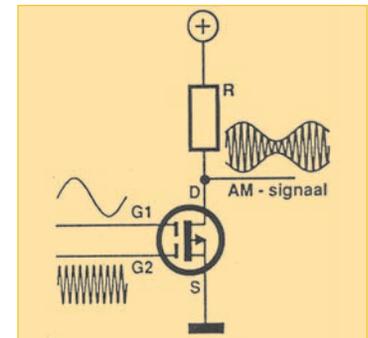
In elektronischen Schaltungen oder auch beim Automobil hat man es mit einer Gleichspannung zu tun. Meist liegt der Minuspol der Betriebsspannung an einer möglichst großen Metallfläche, der sogenannten

Masse. Beim Auto ist das die Karosserie. Da eine elektrische Spannung aus unterschiedlichen Ladungen besteht, die sich ausgleichen wollen, herrscht so gegen Masse eine Ladungs- oder Potenzialdifferenz – der Praktiker spricht kurz vom Potenzial. Die Schaffung einer Masse ist aus verschiedenen Gründen sinnvoll. Durch die maximale Metallfläche sinkt der Widerstand des Leiters. Das verringert die Gefahr, dass sich verschiedene Baustufen beim Zusammenschalten untereinander beeinflussen. Außerdem lässt sich an vielen Stellen leicht und zuverlässig messen, und die Massefläche schirmt Platinen mit funkbasierten Schaltungen gut ab. Die Bilder 4.5 bis 4.6 zeigen die Massedarstellung in verschiedenen Schaltplänen.

### Masse mit COM-Buchse verbinden

In die Masse- oder COM-Buchse des Multimeters ist die schwarze Messstrippe zu stecken. Diese klemmt man außerdem an die Masse der Schaltung, in der man eine Spannung messen möchte. Nun kann man sich mit der roten Messstrippe an die interessierenden Punkte in der Schaltung „herantasten“. Praktiker bezeichnen die Masse oft auch als „kalt“, während sie Punkte, an denen die Signalspannung anliegt, „heiß“ nennen. Besitzt die Schaltung keine Masse, ist allein die schwarze Messschnur in die COM-Buchse zu stecken.

**Abb. 4.5** – Der dicke kleine waagerechte Strich an der Unterkante des Schaltplans ist das in Europa übliche Massezeichen. Es erhält jeder Anschluss, der an Masse liegt. Diese ist der Bezugspunkt für alle Spannungen.



## 4.2 Spannung messen

### Punkte mit Gleich- und Wechselspannung

Wie ist das Multimeter einzustellen, wenn am Messpunkt sowohl eine Gleich- als auch eine Wechselspannung anliegt? Man spricht auch von überlagerten Spannungen. Ganz einfach: Man misst zuerst die eine und danach die andere Spannungsart. Dazu sind die Messbereiche am Multimeter nach Abb. 4.7 oder ein DC/AC-Umschalter nach Abb. 4.8 umzuschalten. Die Gleichspannung zeigt das Multimeter in der Messart DC V richtig an. Eine überlagerte Wechselspannung mit einer Sinusform stört dabei nicht, weil ihr arithmetischer Mittelwert null beträgt. Um die Wechselspannung zu messen, stellt man den großen Drehschalter auf die Messart AC V. Im Eingang des Multimeters blockt dabei ein Kondensator den Gleichspannungsanteil ab.

Ein anderer Knackpunkt: Es kann passieren, dass das Messgerät etwas anzeigt, obwohl die „heiße“, rote Messstripe gar nicht an einem Messpunkt eines zu prüfenden elektrischen Geräts angeklemmt ist. Das liegt am extrem hohen Eingangswider-



Abb. 4.7 – Blick auf ein Multimeter mit getrennten Messbereichen für die Messung einer Wechselspannung (AC V) und einer Gleichspannung (DC V).



Abb. 4.8 – Bei diesem Multimeter ist zwischen Gleich- und Wechselspannung umzuschalten.

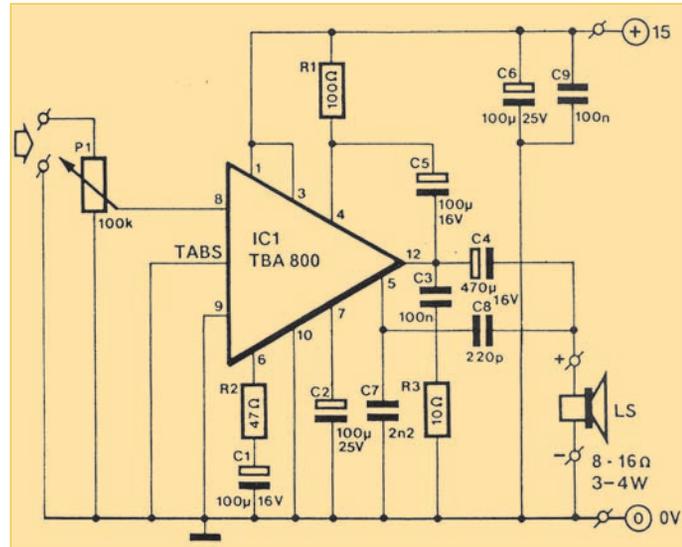


Abb. 4.6 – Man erkennt die Masse rechts unten an den 0 V und am kleinen unteren dicken Strich.

stand moderner elektronischer Multimeter, den die Geräte bei Gleich- als auch bei Wechselspannung besitzen. Da die Messstripe als Antenne oder Kondensatorplatte wirkt, können so geringe elektrische Felder, die meist vom 230-V-Netz ausgehen, eine Eingangsspannung erzeugen, die das Gerät anzeigt. Das Berühren der Messspitze verstärkt diesen Effekt. Eine angezeigte Spannung bei einem offenen Multimeteranschluss, an den Messstreifen angeschlossen sind, signalisiert deshalb ein elektrisches Feld und keinen Defekt des Multimeters.

## 4.3 Strom messen

Beim Strommessen ist das Multimeter nach Bild 4.9 in eine Leitung zu schalten, egal, ob bei Wechselstrom (AC) oder Gleichstrom (DC). Vorher ist das Messgerät bei Gleichstrom auf DC A und bei Wechselstrom auf AC A zu stellen. Während Haushaltsgeräte meist Wechselstrom benötigen, ist im Elektronikbereich fast ausschließlich Gleichstrom anzutreffen. Hat das zu prüfende Gerät einen Ein-Aus-Schalter, lässt sich sein Betriebsstrom bequem messen, indem man das Multimeter parallel dazu anschließt und den passenden Messbereich wählt – zum Beispiel 200 mA.

Die COM-Buchse ist bei der Strommessung weniger wichtig, da sich das Multimeter an zwei Stellen zwischen Spannungsquelle und Stromverbraucher schalten lässt – nämlich in jede der beiden Zuleitungen. Besitzen die Spannungsquelle und das zu prüfende technische Gerät eine Masse, sollte man diese miteinander verbinden. Um störenden Einflüssen vorzubeugen, sollte man dazwischen nicht das Multimeter schalten, sondern die andere Leitung wählen. Anders dagegen bei kleinen Spannungen wie beim Klingeltrafo: Weil diese meist keine Masse besitzen, ist es egal, in welche Zuleitung man das Multi-

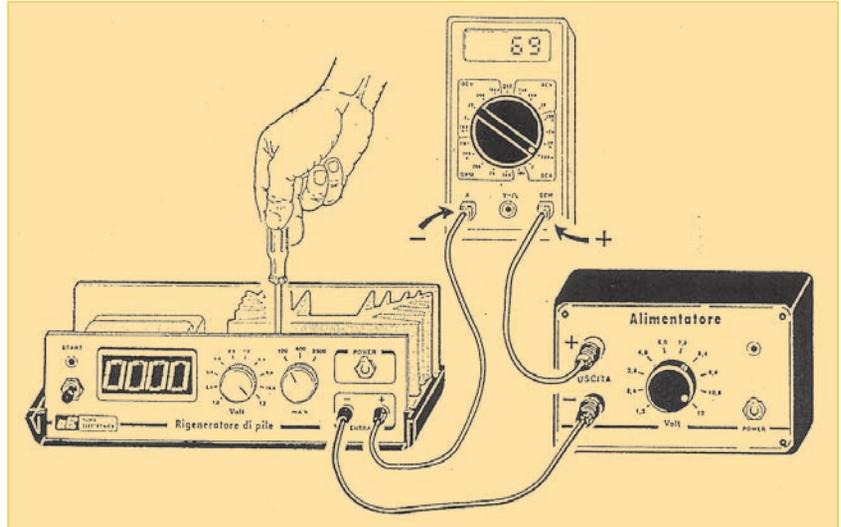


Abb. 4.9 – So lässt sich mit dem Multimeter der Betriebsstrom eines elektronischen Geräts messen.

meter zwischen Spannungsquelle und Stromverbraucher schaltet.

### Messen ohne Leitung auftrennen

Das umständliche Auftrennen der Leitung lässt sich beim Strommessen mit folgendem Trick vermeiden: Man misst die Spannung über einem Widerstand in dieser Leitung, dessen Größe bekannt ist, so dass sich danach der Strom errechnen lässt. Fachleute sprechen in diesem Fall von der indirekten Strommessung, die mit einem batteriebetriebenen Multimeter problemlos möglich ist. Sie ist bei einfachen Multimetern manchmal sogar

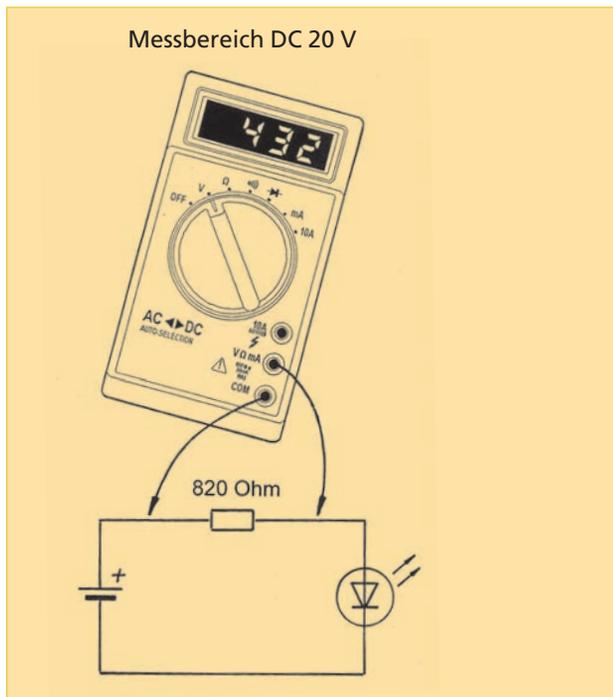
notwendig, weil diese keinen Wechselstrom messen können. Die Bilder 4.10 und 4.11 zeigen zwei Beispiele. Damit alles klappt, ist bei der Spannungsmessung nicht nur der kleinstmögliche Messbereich zu wählen, sondern auch das zuvor beschriebene Ohmsche Gesetz  $U = R \times I$  anzuwenden. Die Spannung ist wie gehabt in Volt (V), der Widerstand in Ohm ( $\Omega$ ) und der Strom in Ampere (A) angegeben. Schauen wir uns zunächst Abb. 4.10 etwas genauer an. Über dem Vorwiderstand von  $820 \Omega$  für eine Leuchtdiode ist eine Spannung von

## 4.3 Strom messen

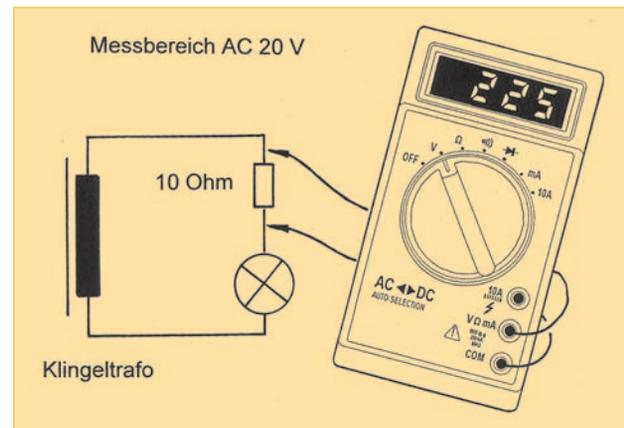
4,32 V zu messen. Die Leuchtdiode ist der Kreis mit den zwei schräg nach oben gestellten Pfeilen. Wie groß ist der Strom, der in dieser elektrischen Schaltung fließt? Die Lösung:  $U / R = I$  oder  $4,32 \text{ V} / 820 \text{ } \Omega = 0,0053 \text{ A}$  oder 5,3 mA.

Jetzt ein Blick auf Abb. 4.11: Ein Widerstand von  $10 \text{ } \Omega$  verringert die Helligkeit der Glühlampe, die in der Schaltung als Kreis mit einem Kreuz zu sehen ist. Auf beiden Seiten des Widerstands ist eine Spannung von 2,25 V messbar. Wie groß ist der Strom, der fließt? Auch hier hilft die Formel  $I = U / R$  oder  $I = 2,25 \text{ V} / 10 \text{ } \Omega = 0,225 \text{ A}$  oder 225 mA. Wer an dieser Stelle über die

Bezeichnung mA oder Milliampere gestolpert ist, kein Problem: Darüber informiert das Kapitel *Von Pico bis Giga: Vorsatzzeichen bei Maßeinheiten*. Wem das alles trotzdem zu kompliziert ist, der braucht nicht zu verzweifeln. Das Kapitel *Strom komfortabel ohne Berührung messen* beschreibt spezielle Messgeräte, bei denen man auf das Ohmsche Gesetz verzichten kann, ohne den Leiter auftrennen zu müssen. Bei sehr kleinen Strömen von unter 10 mA stoßen diese Messgeräte allerdings an ihre Grenzen, so dass man um das Ohmsche Gesetz nicht herumkommt.



**Abb. 4.10** – Hier fließt ein Strom von 5,3 mA. Dieser Wert lässt sich mit dem Ohmschen Gesetz ausrechnen, da Spannung und Widerstand bekannt sind, so dass man die Leitung nicht auftrennen muss.



**Abb. 4.11** – In dieser Schaltung mit einer Glühlampe fließt ein Strom von 225 mA.

## 4.4 Widerstände und Kondensatoren prüfen

Manch ein Leser fragt sich an dieser Stelle vielleicht, warum Widerstände und Kondensatoren messen, sie sind doch gekennzeichnet? Stimmt, das Dumme ist nur, dass der Kennzeichnungsschlüssel für den Laien ein Buch mit sieben Siegeln ist. Widerstände zieren meist farbige Ringe, aus denen nur der Fachmann sofort auf den Wert und die Toleranz schließen kann. Ein Problem ist auch die Beschriftung vieler Kondensatoren. Oft ist eine Zahl zu lesen, die nicht direkt die Größe der Kapazität, sondern einen Code angibt: So bedeutet 100 nicht unbedingt 100 Picofarad (pF) oder 100 Nanofarad (nF). Nein, weil die letzte Stelle hier eine Hochzahl ist, handelt es sich um  $10 \text{ pF} \times 10^0 = 10 \text{ pF}$ . Ein anderes Beispiel ist die Zahl 103, die nicht etwa 103 pF oder 103 nF entspricht, sondern  $10 \text{ pF} \times 10^3 = 10 \text{ nF}$ . Der Anfänger sollte deshalb zur Sicherheit immer zum Multimeter greifen – und das ist kein Problem: Denn Widerstände und Kondensatoren sind zweipolige elektrische Bauelemente und darum einfach zu messen. Dazu schaltet man in den größten Widerstands- oder Kapazitäts-Messbereich des Multimeters und verbindet danach das Bauelement auf kürzestem Weg mit seinen zugehörigen Buchsen. Jetzt lässt sich schrittweise der optimale Messbereich wählen. Das Multimeter kann dabei nicht überlastet werden! Man muss übrigens nicht ständig den Messbereich umschalten, sondern bleibt beispielsweise bei der Widerstandsmessung im 2-M $\Omega$ -Bereich. Ein Widerstand von 4,7 k $\Omega$  zeigt das Messgerät dann wahrscheinlich mit 0,004 oder 0,005 an. Bei Widerständen im Ohmbereich ist dagegen sicherheitshalber in einen kleineren Messbereich zu wechseln, damit die Werte leicht ablesbar sind. Sonst kann es passieren, dass man sich bei den Dezimalstellen irrt.

### Tipps für die Praxis

Auch wenn das Messen eines Kondensators und eines Widerstands einfach ist, sind in der Praxis ein paar Beson-

derheiten zu beachten. Hält man das Bauteil in der Hand, sollte man die COM-Buchse am Multimeter nutzen. Diese verhindert, dass der menschliche Körper Störspannungen einkoppelt. Prüft man einen Kondensator, braucht die Anzeige des Multimeters eine gewisse Zeit, um sich genau einzustellen. Bei sogenannten Elektrolytkondensatoren ist außerdem darauf zu achten, dass sie entladen sind. Meist sind sie aber recht eindeutig gekennzeichnet, so dass man auf eine Kapazitätsmessung verzichten kann. Man sollte sie allerdings mit dem Auge auf Elektrolytspuren prüfen und auf die richtige Polarität achten, wenn man sie in eine Schaltung lötet. Bei sehr kleinen Widerständen muss der leitende Kontakt besonders gut sein, um Messfehler zu vermeiden. Bei großen Widerständen ab 100 k $\Omega$  ist dagegen auf kürzeste Verbindungen zu achten – sonst können die Messstrippen Störspannungen einfangen, weil sie als Antennen wirken.

### Messfehler bei kleinen Widerständen begrenzen

Widerstände sind manchmal sehr klein und bewegen sich im Milliohmbereich, so dass der Messfehler hoch ist, weil selbst der kleinste Messbereich kaum ausgeschöpft wird. Damit das nicht passiert, sind vor der Messung die Messstrippen kurzzuschließen. Der angezeigte Wert, der am besten bei null liegt, lässt sich später vom Messwert abziehen, um so den tatsächlichen Widerstandswert zu erhalten. Ein Beispiel: Beträgt die Kurzschlussanzeige des Multimeters 0002 und die Messwertanzeige 0005, liegt der richtige Messwert bei 0003 oder 0,3  $\Omega$ . Oder: Zeigt das Multimeter beim Kurzschluss -0002 an und danach einen Messwert von 0002, liegt der richtige Messwert bei 0004 oder 0,4  $\Omega$ . Damit das Multimeter noch etwas genauer anzeigt und sich so der Messfehler weiter verringert, lässt sich ein zusätzlicher Widerstand in die Leitung schalten. Ein Beispiel, bei dem der zusätzliche Widerstand 150  $\Omega$  beträgt: Zeigt das Mutimeter mit diesem Widerstand und dem Messwiderstand 156,7

## 4.4 Widerstände und Kondensatoren prüfen

und ohne den zu messenden sehr kleinen Widerstand 156,9 an, liegt der richtige Messwert bei 0002 oder  $0,2 \Omega$ . Diesen Messwert kann man jetzt zu den anderen addieren, die ohne den zusätzlichen Serienwiderstand gemessen wurden und den Mittelwert bilden. Dieser Mittelwert ist mit großer Wahrscheinlichkeit treffender als ein Einzelwert. Im Beispiel ergeben sich  $(0,3 \Omega + 0,4 \Omega + 0,2 \Omega) / 3 = 0,3 \Omega$ .

### Messfehler bei sehr kleinen Kapazitäten begrenzen

Was für sehr kleine Widerstände gilt, gilt auch für Kondensatoren mit Kapazitäten von wenigen Picofarad. Zuerst ist die Kurzschlusskapazität ohne den zu messenden Kondensator zu ermitteln. Diese zieht man später vom Messwert ab, um so die tatsächliche Kapazität des Kondensators zu erhalten. Ist der Kondensator über die Messstrippen angeschlossen, ergibt dies eine Störkapazität, die das Messergebnis verfälscht. Zeigt das Multimeter beim Kurzschluss ohne Kondensator beispielsweise 0001 und mit Kondensator 0006 an, liegt der richtige Messwert bei 0005 oder 5 pF. Auch beim Kondensator lässt sich das Messergebnis verbessern, wenn man zum zu messenden, kleinen Kondensator zusätzlich einen größeren lötet – allerdings nicht in Reihe wie bei der Messung eines sehr kleinen Widerstands, sondern parallel. Zeigt das Multimeter mit einem parallel geschalteten 147-pF-Kondensator 1456 und ohne den kleinen zu messenden Kondensator 1462 an, liegt der richtige Messwert bei 0006 oder 6 pF. Ein weiteres Beispiel: Liegt die Messwertanzeige mit einem parallel geschalteten 180-pF-Kondensator bei 1567 und ohne den zu messenden kleinen Kondensator bei 1573, liegt der richtige Messwert bei 0006 oder 6 pF. Wie bei der Widerstandsmessung sind diese einzelnen Kapazitätswerte gleichwertig. Genauere Auskunft über die tatsächliche Kapazität des kleinen Kondensators gibt wieder der Mittelwert aus allen Einzelwerten:  $(5 \text{ pF} + 6 \text{ pF} + 6 \text{ pF}) / 3 = 5,67 \text{ pF}$ .

### Große Widerstände problemlos messen

Große Widerstände von vielen Megaohm lassen sich nur scheinbar nicht messen, weil der Messbereich des Multimeters nicht ausreicht. Ratsam ist deshalb folgender Trick: Man misst zunächst einen Widerstand, der etwas kleiner als der größte Messbereich sein sollte, und notiert sich diesen. Danach klemmt oder lötet man den unbekanntem Widerstand parallel an und notiert sich wieder den Widerstandswert, den das Multimeter jetzt anzeigt. Diese zweite Anzeige lässt sich mit der ersten in folgende Formel einsetzen, und man erhält den Wert für den unbekanntem großen Widerstand (R):  $R = 1 / (1 / \text{zweite Anzeige} - 1 / \text{erste Anzeige})$ . Ein Beispiel mit einem Multimeter, dessen Messbereich für Widerstände bei  $2 \text{ M}\Omega$  endet: Die erste Widerstandsanzeige mit einem  $1,8\text{-M}\Omega$ -Widerstand ergibt 1.777, die zweite Anzeige mit dem parallel geschalteten unbekanntem Widerstand 1.222. Beide Werte lassen sich in die Formel einsetzen, und man erhält  $R (\text{M}\Omega) = 1 / (1 / 1,222 - 1 / 1,777)$ , das ergibt  $R (\text{M}\Omega) = 1 / (0,8183 - 0,5627) = 1 / 0,2556 = 3,912 \text{ M}\Omega$ . Der unbekanntem Widerstand besitzt also höchstwahrscheinlich  $3,9 \text{ M}\Omega$ . Hintergrund des Ganzen: Nach Abb. 4.12 ist der Gesamtwiderstand bei Parallelschaltung immer kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

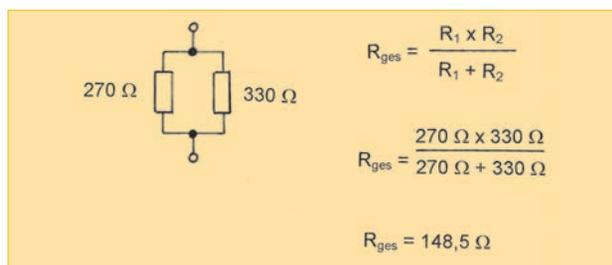


Abb. 4.12 – Parallel geschaltete Widerstände eignen sich, um mit der Formel den unbekanntem großen Widerstand auszurechnen, den das Multimeter nicht mehr anzeigen kann.

## 4.5 Durchgangstest prüft Verbindung

Die Widerstands-Messfunktion des Multimeters lässt sich zwar auch zum Prüfen von leitenden Verbindungen nutzen, jedoch hat jedes Digitalmultimeter dafür eine Extrafunktion: den Durchgangs- oder Diodentest. Vor allem beim Messen an Haushaltsgeräten leistet diese Funktion wertvolle Dienste. Die Techniker sprechen auch von einer Durchgangsprüfung. Möchte man beispielsweise prüfen, ob eine Messstrippe okay, also leitend ist, kann man den Drehschalter am Multimeter auf den kleinsten Widerstandsmessbereich oder das Diodenzeichen stellen. Im ersten Fall wird der Widerstand angezeigt, ideal ist mit 0000 der Nullwert. Im zweiten Fall entscheidet das Gerät, ob die Verbindung okay oder nicht okay, also der Widerstand zu hoch ist. Oft ertönt noch ein akustisches Signal, wenn die Strippe gut leitet.

Bleibt dagegen die Displayanzeige unverändert, ist keine leitende Verbindung vorhanden – das Kabel ist defekt. Ähnlich lässt sich bei suspekten Lötstellen, Wackelkontakten und beim Prüfen einer Gerätesicherung vorgehen. In allen Fällen muss mit dem Durchgangstest eine leitende Verbindung nachweisbar sein. Diese kann wie bei einer Glühlampe auch mit einem Widerstand versehen sein, der temperaturabhängig ist. Die Lampe ist okay, wenn das Multimeter beim Durchgangstest diesen sogenannten Kaltwiderstand anzeigt. Die Widerstandsmessung oder Durchgangsprüfung ist auch für viele andere Haushaltsgeräte interessant, wenn man den Fehler finden und sie reparieren möchte. Das Kapitel *Defekte Haushaltsgeräte reparieren* nennt und beschreibt viele Beispiele aus der Praxis.

## 4.6 Dioden und Transistoren testen

Das hört sich im ersten Moment sehr kompliziert an, ist es aber nicht. Denn die Prüfung einer Diode erfolgt wie eine Durchgangsprüfung – nur, dass man die Diode auch umpolen und so zweimal checken muss: Dabei meldet das Multimeter einmal Durchgang und einmal keinen Durchgang, wenn die Diode okay ist. Und beim Transistor? Der Anwender hat es einfach, wenn das Multimeter das Feature „Transistortest“ besitzt. Im Kapitel *Elektrische Grundlagen* informiert das Unterkapitel *Wichtige elektronische Bauteile* über diese „Dreibeiner“.

### Funktioniert die Diode einwandfrei?

Dioden können leicht durch zu hohen Strom, aber auch durch zu hohe Spannung zu Schaden kommen. Wenn man prüfen möchte, ob eine Diode einwandfrei funktioniert, ist sie unterschiedlich gepolt anzuschließen. Dazu stellt man zuerst den großen Drehschalter des Multimeters auf das Diodensymbol. Lässt die Diode den Strom passieren, zeigt das Display ihren Durchlasswiderstand an. Er kann einige hundert Ohm erreichen. Wenn die Diode den Strom in der anderen Richtung sperrt, ist sie in Ordnung. In diesem Fall reagiert das Display des Multimeters nicht. Zeigt es aber auch nach Umpolung der Diode einen geringen Widerstand an, ist sie defekt. Bei Dioden gleichen Typs muss das Messgerät in Durchlassrichtung ähnliche Widerstandswerte anzeigen.

### Stromverstärkungsfaktor messen

Der Stromverstärkungsfaktor gibt bei einem bipolaren Transistor das Verhältnis von Ausgangs- oder Kollektorstrom zu Steuer- oder Basisstrom an. Möchte man ihn messen, sind zunächst Emitter (E), Basis (B) und Kollektor (C) in die mit E, B und C beschrifteten Buchsen des Multimeters zu stecken. Außerdem ist der Leitfähigkeitstyp mit npn oder pnp zu beachten. Stimmt alles, zeigt das Messgerät den Stromverstärkungsfaktor an, der sich zwischen 50 und 500 bewegt. Meist ist am

Multimeter mindestens eine der Transistorbuchsen doppelt vorhanden, was mit der möglichen Art des Transistors zusammenhängt: entweder pnp- oder npn-Typ. Ist man sich nicht sicher, probiert man einfach ein bisschen herum, bis das Multimeter 50 bis 500 anzeigt. Da der Stromverstärkungsfaktor von Basisstrom, Kollektorspannung und Temperatur des Transistors abhängig ist, zeigen verschiedene Multimeter um bis zu 20 Prozent abweichende Werte an. Für ein möglichst genaues Messergebnis müssen die Transistoren blanke Anschlüsse haben – Lötreste sind also zu entfernen oder Beläge abzuschaben. Man braucht übrigens keine Angst vor einem falschen Anschluss zu haben: Die Prüfelektronik ist so dimensioniert, dass auch kleine Transistoren nicht zu Schaden kommen können.

### Bipolaren Transistor mit Widerstand prüfen

Möchte man bipolare Transistoren durchmessen, hilft die meist eingebaute Transistor-Prüffunktion des Multimeters. Was macht man aber, wenn das Multimeter keine Transistoren messen kann? Kann es doch: Nach Bild 4.13 sind dazu nur ein Widerstand und eine kleine Spannung erforderlich. Ohne Widerstand darf der Strom höchstens einige Mikroampere betragen, mit Widerstand muss er im Bereich von 1 mA bis 50 mA liegen – je nach Prüfspannung und Stromverstärkung des Transistors. Manchmal wird der Test noch einfacher, nämlich mit der Ohmmeterfunktion des Messgeräts, beschrieben: Statt des Widerstands zwischen Kollektor und Basis genüge ein feuchter Finger. Doch Vorsicht! Meist reicht die Spannung von 100 mV, die an den Ohm-Messanschlüssen des Multimeters anliegt, bei Weitem nicht aus, um die Basis-Emitter-Strecke des Transistors durchzusteuern.

### Feldeffekttransistoren

In elektronischen Schaltungen werden häufig auch Feldeffekttransistoren (FETs) verwendet. Man unter-

## 4.6 Dioden und Transistoren testen

schiedet zwischen Metalloxid-FET (MOSFET) und Sperrschicht-FET (SFET). Letztere sind häufig anzutreffen und lassen sich ähnlich einfach wie bipolare Transistoren testen, allerdings in zwei Schritten: Nach Abb. 4.14 ist zunächst der Drain-Source-Strom ( $I_{DSS}$ ) mit der Gate-Spannung null zu messen. Dabei sollten einige Milliampere zusammenkommen. Danach testet man die Funktion des empfindlichen Gates: Man schaltet das Multimeter von *mA DC* auf *V DC* um und misst nach Bild 4.15 die sogenannte Abschnürspannung  $U_p$  (Pinch-off-Spannung), die wenige Volt betragen sollte. Wenn man möchte, lässt sich jetzt mit der Formel  $S = 2 \times I_{DSS} / U_p$  die Steilheit  $S$  des Feldeffekttransistors ausrechnen. Sie entspricht gewissermaßen dem Stromverstärkungsfaktor eines bipolaren Transistors. Mit beispielsweise  $I_{DSS} = 7,5 \text{ mA}$  und  $U_p = 1,5 \text{ V}$  beträgt sie  $10 \text{ mA/V}$  oder  $10 \text{ Millisiemens (mS)}$ .

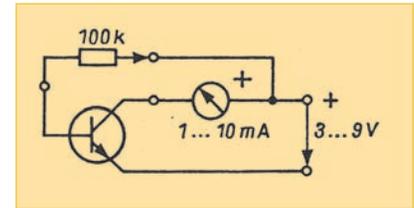


Abb. 4.13 – Grundprinzip des Transistortests.

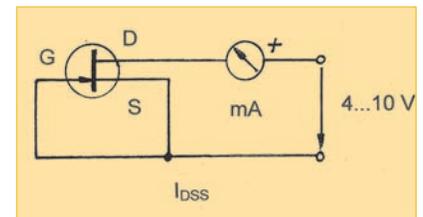


Abb. 4.14 – Feldeffekttransistor-Messschaltung für den Drain-Source-Strom ( $I_{DSS}$ ).

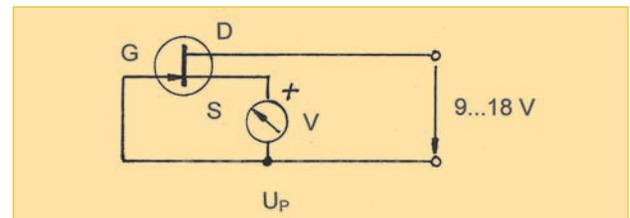


Abb. 4.15 – Feldeffekttransistor-Messschaltung für die Abschnürspannung ( $U_p$ ).

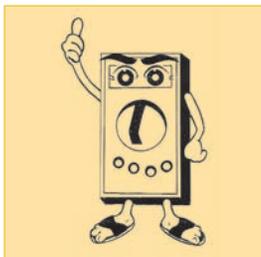
## 4.7 Trafos und Kontaktbauelemente

Bei diesen Bauelementen lässt sich wieder vorteilhaft die Durchgangstest-Funktion des Multimeters nutzen – egal, ob bei Wicklungen von Transformatoren, Drosseln, Spulen, Kontaktwiderständen von Schaltern, Verbindungen, Stecker-Buchsen-Kombinationen oder Leiterbahnen auf einer Platine. Man staunt manchmal,

wie oft gerade in diesen simplen Fällen ein Fehler auftaucht. Bei kleinen Trafos und Übertragern aus der Audiotechnik sollte man auch den Widerstand messen – der kann manchmal so hoch sein, dass der Durchgangstester nicht mehr anspricht. Trotzdem ist das Bauteil okay.

## 4.8 Wichtige Anwendertipps auf einen Blick

Die bisherigen Kapitel haben viel über richtiges Messen informiert. Damit sich der Anwender in der Praxis möglichst schnell orientieren kann, fasst der Kasten die wichtigsten Punkte noch einmal in kurzen Merksätzen zusammen.



### Richtig und sicher messen:

#### Wichtige Anwendertipps auf einen Blick

- Ein sorgsamer Umgang mit dem Multimeter garantiert eine lange Lebensdauer. Man sollte es trocken und staubfrei aufbewahren.
- Die zu messende Spannung darf nicht über der niedrigsten CAT-Spannung des Multimeters liegen!
- Da eine unbekannte Größe zu messen ist, ist bei jeder Messung zunächst ein möglichst hoher Messbereich zu wählen.
- Die Messstrippen sind in die richtigen Gerätebuchsen zu stecken. Die schwarze Messstrippie ist dabei mit der COM-Buchse zu verbinden.
- Defekte Messstrippen sind durch neue zu ersetzen.
- Bei elektronischen Messgeräten muss die Batterie noch „kräftig“ genug sein. Auskunft gibt die Batterieanzeige, bei *LO BAT* ist ein Wechsel fällig.
- Man sollte das Multimeter unter normalen Temperaturen nutzen. Eine zu hohe oder zu niedrige Temperatur vergrößert den Messfehler.
- Auch starke elektrische oder magnetische Felder können zu fehlerhaften Messungen führen. Das gilt vor allem für analoge Messgeräte, weil Magnetfelder das Messwerk beeinflussen.
- Man darf keinen Widerstand messen, an dem eine Spannung liegt!
- Nach dem Messen sind die Geräte wieder auszuschalten.

## 4.8 Wichtige Anwendertipps auf einen Blick

Wem das alles noch etwas zu kompliziert erscheint, der braucht keine Angst zu haben – denn richtiges Messen setzt neben etwas Grundwissen vor allem Übung voraus. Es ist wie beim Autofahren: Erst in der Praxis erwirbt man die nötige Routine, die das Messen elektrischer Größen und das Testen von Bauelementen schließlich zum Kinderspiel macht. Ob Digitalmultimeter, aktives oder passives Zeigerinstrument – kennt man den grundsätzlichen Charakter des Geräts, lässt sich richtig und mit minimalem Fehler messen. Spannungsmessung, Strommessung, Widerstands- und Kapazitätsmessung oder Dioden- und Transistortest bedeuten kein Problem mehr! Selbst wenn die Spannung gefährlich hoch ist, braucht man keine Angst zu haben – vorausgesetzt, man verwendet das geeignete Multimeter und beachtet die Sicherheitsregeln, die wir im Kapitel *Sicherheit geht vor* ausführlich kennengelernt haben.

### Besondere Hinweise für analoge Zeigerinstrumente

- Bei analogen Messgeräten ist die Gebrauchslage zu beachten. Sie sind so aufzustellen, wie es die Bedienungsanleitung vorgibt.
- Vor der Messung muss die Nullstellung korrekt sein.
- Es ist der kleinstmögliche Messbereich zu wählen, weil so der Messfehler am geringsten ist. Eine Ausnahme ist die Spannungsmessung, weil bei einem höheren Spannungsmessbereich der Eingangswiderstand des Multimeters steigt. Das gleicht den Anzeigefehler aus.
- Ab und zu ist zu prüfen, ob die Batterie für die Messung von Widerständen noch frisch genug ist. Falls nicht, ist sie auszuwechseln, weil sie auslaufen und so die Kontakte beschädigen kann.

## 5 Strom komfortabel ohne Berührung messen

Um ein Kabel oder eine Leitung zur Strommessung nicht auftrennen zu müssen, lässt sich der Strom indirekt messen. Dazu kann man wie im Kapitel *Messen ohne Leitung auftrennen* beschrieben vorgehen und braucht einen bekannten Widerstand und das Ohmsche Gesetz. Komfortabler ist dagegen ein sogenanntes Zangen-Amperemeter. Es misst das Magnetfeld um den Leiter, das mit dem Strom stärker wird. Man spart sich so den Eingriff und die Mathematik. Ein solches Gerät, das den Leiter und damit den Strom „in die

Zange“ nimmt, gibt es zum Schnäppchenpreis. Das Zangen-Amperemeter wird auch Strommesszange oder Stromzange genannt und besitzt einen zangenartig teilbaren Eisenkern, durch den man einen Leiter führen kann. Der Vorteil: In Anlagen kann man messen, ohne die Spannung zunächst abschalten zu müssen. Ein weiterer Vorteil ist die Trennung vom Leiter – das Messsignal ist gegenüber der zu messenden Größe vollkommen potenzialfrei. Man unterscheidet zwischen Wechselstrom- und Allstrom-Zangen-Amperemeter.

## 5.1 Wechselstrom-Zangen-Amperemeter

Wie der Name bereits vermuten lässt, kann dieses Zangen-Amperemeter keinen Gleichstrom, sondern nur Wechselstrom messen. Es ignoriert einen Gleichstrom, der den Wechselstrom überlagert, falls der Gleichstrom nicht zu groß ist. Das Gerät funktioniert nach folgendem Prinzip: Der Strom im Leiter magne-

tisiert den Eisenkern und produziert so in der Wicklung auf der rechten Seite nach Abb. 5.1 eine Spannung. Diese ist so groß, dass man direkt ein Messgerät betreiben kann. In modernen Geräten ist das empfindliche Instrument durch eine elektronische Digitalanzeige ersetzt. Man benötigt deshalb eine Batterie.

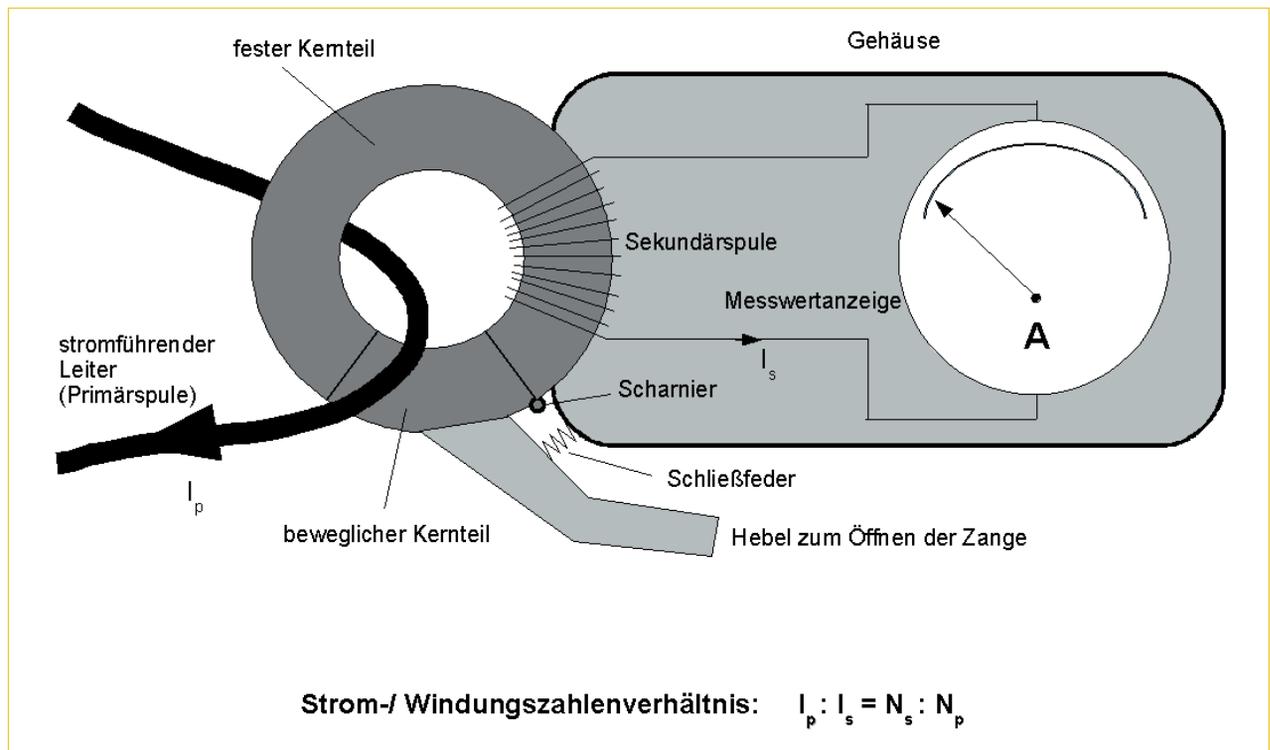


Abb. 5.1 – Aufbau des Wechselstrom-Zangen-Amperemeters mit Zeigerinstrument. (Wikipedia/Gisbert Glökler)

## 5.2 Allstrom-Zangen-Amperemeter

Bild 5.2 zeigt den Grundaufbau. Das Allstrom-Zangen-Amperemeter kann Gleich- und Wechselströme messen. Das geschieht durch Hallsensoren, die

in einen Luftspalt des Eisenkerns befestigt sind. Da die erzeugten Signale verstärkt werden müssen, benötigt auch dieses Messgerät eine Batterie.

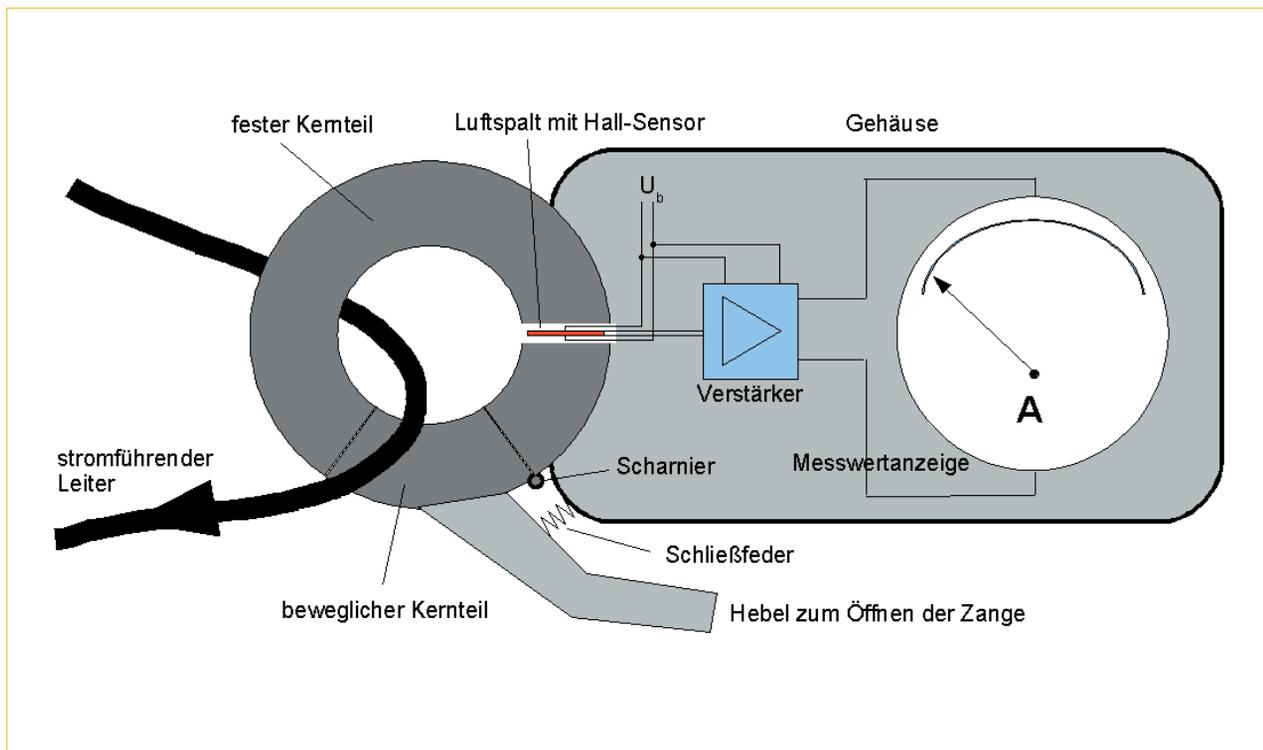


Abb. 5.2 – Grundaufbau des Allstrom-Zangen-Amperemeters. (Wikipedia/Gisbert Glöckler)

## 5.3 Stromzangen-Multimeter für maximalen Messkomfort

Da eine Stromzange nur zusammen mit einem Messgerät zu verwenden ist, liegt es nahe, die Stromzange mit einem Multimeter zu verbinden. Dieses Stromzangen-Multimeter (Bild 5.3) besitzt viele Funktionen eines konventionellen Multimeters und kann außerdem Strom berührungslos messen. Die Bilder 5.4 bis 5.6 zeigen, was so ein Stromzangen-Multimeter alles kann: Spannung oder Strom an der Hausinstallation messen, elektronische Schaltungen prüfen oder die Bordspannung des Autos ermitteln. Diese Geräte müssen keineswegs teuer sein: Man erhält sie bei Elektronik-Versandhändlern mitunter für rund 10 Euro.



Abb. 5.3 – Ein Stromzangen-Multimeter ist kompakt und leicht.



Abb. 5.4 – Die Zange misst den Strom.



Abb. 5.5 – Mit dem Stromzangen-Multimeter kann man auch einzelne Widerstände und Spannungen in elektronischen Schaltungen messen.

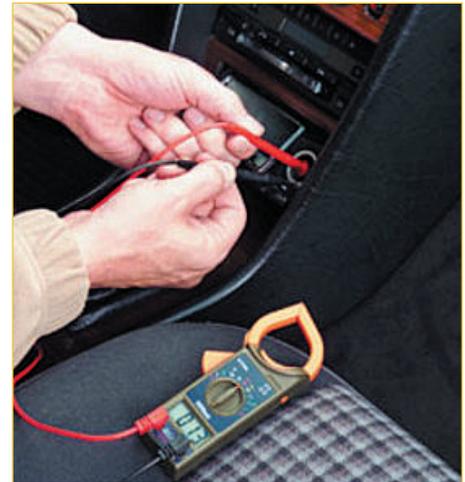


Abb. 5.6 – Im Auto oder Caravan lässt sich am Zigarettenanzünder die Bordspannung überprüfen.

## 5.4 Messgrenzen der Stromzange

**B**ei der Wechselstrommessung bestimmt das Kernmaterial der Zange, in welchem Frequenzbereich diese nutzbar ist. Da meist der Wechselstrom im 230-V-Lichtnetz gemessen werden soll, beträgt die Frequenz oft 50-60 Hz. Eine andere Messgrenze markiert ein sehr geringer Strom, bei dem die magnetische Wirkung entsprechend schwach ist. Dadurch wird der Eisenkern nicht mehr genügend magnetisiert, so dass die produzierte Spannung nicht mehr proportional zum Strom ist. Möch-

te man trotzdem kleinere Ströme messen, so kann man mehrere Windungen der stromführenden Leitung um die Zange wickeln. Legt man beispielsweise drei Windungen um den Eisenkern, so erhält man den dreifachen Wert des Stroms. Allerdings ist die Anzeige nur dann am genauesten, wenn die Leitung zentral und im Winkel von 90 Grad zur Zange durch diese führt. Übrigens: Nach oben ist der mögliche Strommessbereich nur durch die Größe der Zangenöffnung begrenzt.



## 6 Defekte Haushaltsgeräte reparieren

**H**eute sind im Haushalt viele Elektrogeräte selbstverständlich, und die gehen ab und zu mal kaputt. Mit dem Multimeter lässt sich der Fehler oft finden und selbst beheben. Die Widerstandsmessfunktion des Multimeters und der Durchgangstest sind dabei unentbehrlich und führen oft zum Ziel. Falls verschiedene Drähte zu lösen sind, um Geräteteile besser messen zu können, sollte man eine Skizze anfertigen. Diese stellt sicher, dass man die Kabel später wieder richtig anschließt. Abgebaute Einzelteile, auch Schrauben, sind übersichtlich so hinzulegen, dass sie nicht verloren gehen können. Sie sollten an Ort und Stelle wieder einsetzbar sein. Eine Reparatur ist erst beendet, wenn das Gerät im ordnungsgemäßen Zustand eine Zeit lang wieder funktioniert hat. Man sollte es deshalb nach der Reparatur ausgiebig testen.

## 6.1 Zuerst Netzstecker aus Steckdose ziehen

**B**evor man sich ans Messen macht, ist der Netzstecker aus der Steckdose zu ziehen, wenn das Haushaltsgerät mit 230 V läuft. Schaltet man das Gerät nur aus, besteht die Gefahr, dass der Außen- oder Phasenleiter nicht vom Gerät getrennt wurde – denn der Schalter trennt immer nur eins der beiden Netzkabel von der Steckdose. Der Außenleiter ist das Kabel, das die lebensgefährliche Spannung von 230 V führt. Das andere Kabel ist gefahrlos berührbar, weil es mit der

Erde oder dem sogenannten Nullpunkt des Systems verbunden ist. Da man aber nicht weiß, welches Kabel die Phase ist, ist höchste Vorsicht angebracht. Steckt man den Stecker um 180 Grad gedreht erneut in die Steckdose, erscheinen die gefährlichen 230 V auf der anderen Leitung! Das kann auch passieren, wenn man den Stecker nicht dreht, aber eine andere Steckdose benutzt. Kurzum: Vor jeder Messung ist deshalb zu kontrollieren, ob der Stecker gezogen ist!

## 6.2 Gerätesicherung prüfen

**I**st das Haushaltsgerät kaputt, lohnt sich zuerst ein Blick auf die interne Sicherung, die viele Elektrogeräte besitzen. Sie kann durch Überlastung immer mal kaputt gehen. Leider ist die kleine Glassicherung im Gerät nicht immer leicht zu finden. Hat man sie aufgespürt, lässt sie sich an ihren Anschlüssen auf Durchgang checken. Diesen Test beschreibt das Kapitel *Richtig messen leicht gemacht* im Unterkapitel *Durchgangstest prüft Verbindung*. Signalisiert das Multimeter eine leitende Verbindung durch entsprechende

Anzeige oder einen Ton, so ist die Sicherung OK. Reagiert das Multimeter anders, muss man die defekte Sicherung durch eine andere, gleichwertige ersetzen. Dabei ist darauf zu achten, ob die Sicherung flink, mittelträge oder träge ist, erkennbar an den Buchstaben F, M und T. Außerdem muss der Strom stimmen. Da eine Sicherung nicht ohne Grund durchbrennt, ist das Innenleben des Geräts vor der Inbetriebnahme genau in Augenschein zu nehmen. Manchmal hilft auch die Nase, indem sie zu verbrannten Stellen führt.

## 6.3 Durch Strommessung zum Fehler

Einen Hinweis auf die Fehlerursache kann der Stromverbrauch des Geräts liefern, der sich bequem an den Kontakten des Ein-Aus-Schalters messen lässt. Um zu wissen, wie groß der Strommessbereich des Multimeters sein muss, ist zunächst der Nennstrom des Geräts zu errechnen. Dazu braucht man vom Typenschild nach Abb. 6.1 die Nennleistung, in diesem Fall 1450 W. Diese Zahl ist durch 230 V zu teilen und man erhält den Nennstrom:  $1450 \text{ W} / 230 \text{ V} = 6,3 \text{ A}$ . Wie der Zusatz 100 W vermuten lässt, können Leistung und Strom auch etwas höher sein.

Einen Strom von 6,3 A kann ein Multimeter im 10-A-Bereich messen. Um einen Schaltfunken an den Multimeteranschlüssen zu vermeiden, sollte man beim Strommessen eine zweite Person hinzuziehen und entsprechend der Hinweise im

Kasten vorgehen. Bild 6.2 zeigt die Strommessung an einem Staubsauger.

Wenn sich kein Strom messen lässt, kann das zwei Ursachen haben: Einmal kann die Stromzufuhr defekt sein, weil ein Stecker lose, das Anschlusskabel defekt oder der Anschluss am Haushaltsgerät unterbrochen ist. Zum anderen kann das Haushaltsgerät selbst kaputt sein: wegen einer durchgebrannten Motorwicklung oder auch nur wegen einer losen Verbindung. Prüft man das vom 230-V-Netz getrennte Gerät weiter, erhält man Gewissheit.



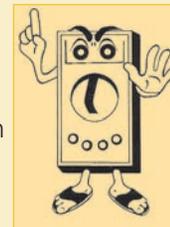
**Abb. 6.2** – Ein Anwender misst den Stromverbrauch des Staubsaugers. Eine zweite Person steckt dafür kurzzeitig den Netzstecker in die Steckdose. Die einschlägigen Sicherheitsvorschriften sind zu beachten.



**Abb. 6.1** – Das Typenschild eines modernen Staubsaugers informiert über die Nennleistung, mit der man den Nennstrom errechnen kann.

### Vorgehen beim Messen des Stromverbrauchs eines Haushaltsgeräts (die einschlägigen Sicherheitsvorschriften sind zu beachten)

- Gerät ausschalten
- Netzstecker aus Steckdose ziehen
- Gerät öffnen
- Multimeter auf AC und 10 A stellen
- Messstrippen in 10-A-Buchse und COM-Buchse stecken
- Messspitzen an Schalterkontakte des Geräts halten
- Multimeter so aufstellen, dass Anzeige gut sichtbar
- zweite Person steckt Netzstecker in Steckdose
- Anzeige am Multimeter ablesen
- zweite Person zieht Netzstecker aus Steckdose



## 6.4 Unterschiedlichste Lampen prüfen

Auch Lampen lassen sich prüfen, wenn sie nicht mehr leuchten, um so dem Grund dafür auf die Spur zu kommen. Während früher nur die Glühbirne für Licht sorgte, sind heute weitere Arten von Leuchten in Haus und Wohnung anzutreffen. Zunächst kam die Leuchtstoffröhre dazu. Es folgten die Halogenlampen und die Energiesparlampen als kompakte Leuchtstoffröhren (Abb. 6.3). Auch das Licht von Leuchtdioden, die beispielsweise nach Abb. 6.4 flackernde Kerzen imitieren, macht immer mehr von sich reden.

Wenn eine Lampe nicht mehr leuchtet, ist sie wahrscheinlich durchgebrannt. Bei einer Glühlampe ist das meist am durchtrennten Leuchtfaden zu erkennen. Ist nichts zu sehen, hilft das Multimeter mit einer Durchgangsprüfung oder Widerstandsmessung nach Bild 6.5. Dazu stellt man den großen Drehschalter des Multimeters auf den kleinsten Widerstandsbereich und misst den Kaltwiderstand der Lampe. Ist kein Widerstand messbar, ist die Lampe durchgebrannt. Das funktioniert nicht bei einer Energiesparlampe, aber bei einer nach Abb. 6.6 herausgenommenen Leuchtstofflampe. Deren Starter lässt sich mit dem Durchgangsprüfer des Multimeters ebenfalls testen. Der Starter besitzt einen internen Schalter, der die Leuchtstoffröhre zum „Zünden“ bringt, wenn man sie einschaltet. Der Widerstandswert muss also sehr hoch sein. Weiter muss eine gewisse Kapazität messbar sein, da parallel ein Störschutzkondensator eingelötet ist (Abb. 6.7). Prüft man die gesamte Schaltung einer Leuchtstoffröhre nach Abb. 6.8 mit einem Durchgangstest, sollte das wegen des Kondensators fehlschlagen, auch wenn die Lampe in Ordnung ist. Vorher ist die Schaltung selbstverständlich vollständig vom 230-V-Netz zu trennen! Zeigt das Multimeter dagegen einen gewissen Widerstand an, ist der Kondensator kaputt.

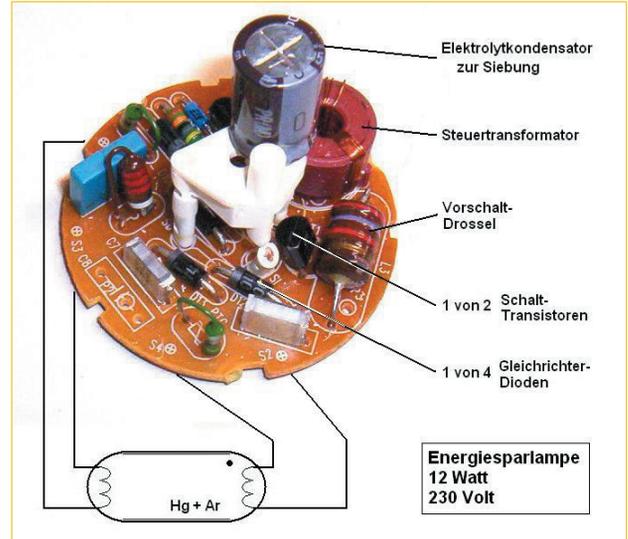


Abb. 6.3 – Innenansicht einer Energiesparlampe. (Wikipedia/Ulfbastel)



Abb. 6.4 – Leuchtdioden imitieren flackernde Kerzen. (solarversand.de)

## 6.4 Unterschiedlichste Lampen prüfen



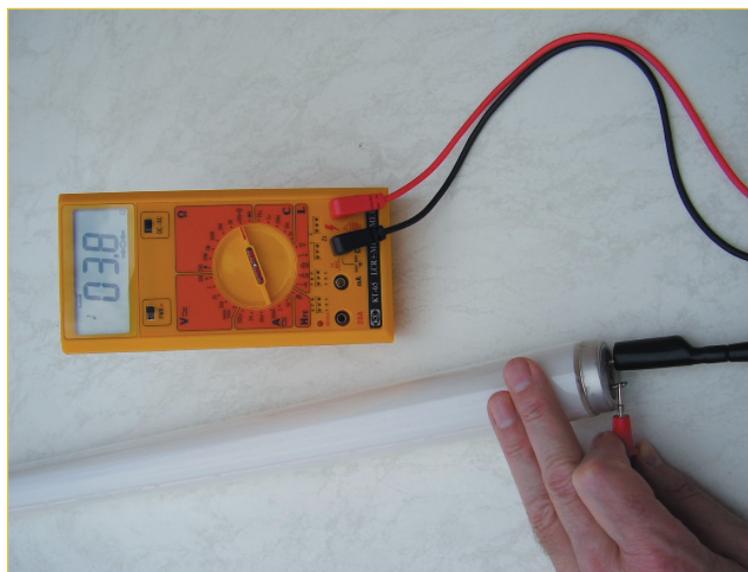
**Abb. 6.5** – So lässt sich prüfen, ob der Leuchtfaden der Glühlampe durchgebrannt ist. Der Kaltwiderstand dieser 60-W-Glühlampe beträgt  $61,7 \Omega$ . Das sind 7 Prozent vom Heißwiderstand ( $882 \Omega$ ).

Beim Prüfen von Leuchtdioden-Lampen ist darauf zu achten, dass es sich um Dioden handelt. Der große Drehschalter des Multimeters ist entsprechend auf das Diodensymbol zu stellen. Bei der Prüfung sind beide Anschlüsse der Diodenlampe wie bei einer einzelnen Diode zu vertauschen. Wie der Diodentest genau funktioniert, beschreibt das Kapitel *Richtig messen leicht gemacht* im Abschnitt *Funktioniert die Diode einwandfrei?*

### Die kaputte Lampe einer Lichterkette finden

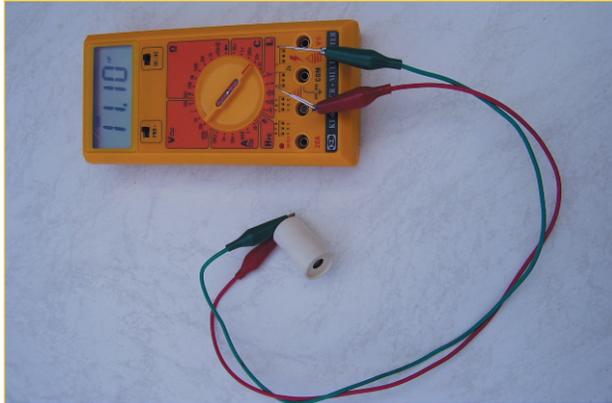
Regelmäßig zur Weihnachtszeit gibt es immer mal wieder Scherereien mit der Christbaumbeleuchtung, den Lichterketten im Garten oder den stolzen Lampen auf einem Schwibbogen. Ist eine Lampe der

Sind mehrere Halogenlampen nach Abb. 6.9 an einer Schiene montiert und leuchten nicht, so ist die Schiene mit Sicherheit spannungslos. Man sollte prüfen, ob dies durch einen Kurzschluss der Schiene passiert ist – dann ist meist die Sicherung defekt –, oder ob mit den Kontakten der Spannungsversorgung etwas nicht stimmt. Die Spannungsversorgung kann ein Trafo oder ein elektronisches Netzteil sein. Diese Komponenten machen aus der 230-V-Netzspannung eine 12-V-Wechselspannung für die Halogenleuchten.



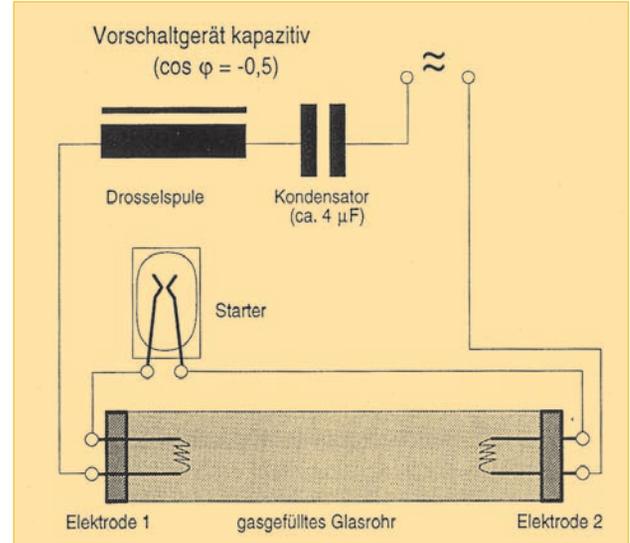
**Abb. 6.6** – An jeder Seite dieser Neonröhre ist ein Widerstand von  $3,8 \Omega$  messbar.

## 6.4 Unterschiedlichste Lampen prüfen

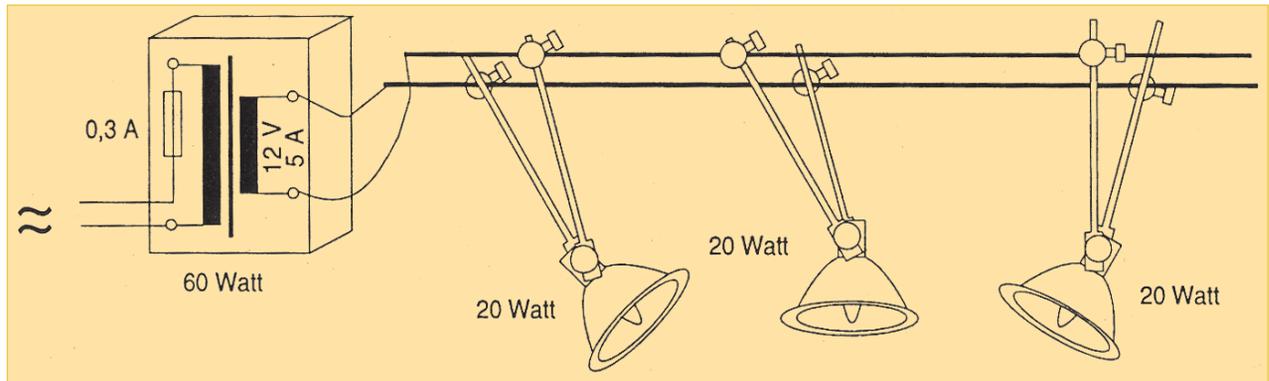


**Abb. 6.7** – Der Störschutzkondensator in diesem Starter besitzt eine Kapazität von 11 nF.

Lichterkette defekt, sind auch alle anderen dunkel, weil sie in Reihe zusammengeschaltet sind. Man weiß deshalb nicht, welche Lampe die kaputte ist. Die Lösung: Man misst mehrmals den Widerstand einzelner Lampen, um so den typischen Widerstand einer einzelnen Leuchte festzustellen. Danach sind alle anderen Lampen an der Reihe, so dass der Abweichter schnell gefunden ist. Prüft man die Weihnachtsbeleuchtung zeitig vor dem Fest, halten die Baumärkte ein großes Sortiment an Ersatzlampen bereit. Nehmen Sie immer die defekte Lampe mit zum Einkauf. Nur so können Sie ganz sicher sein, das richtige Ersatzmodell zu erhalten.



**Abb. 6.8** – Typische Schaltung einer Leuchtstoffröhre.

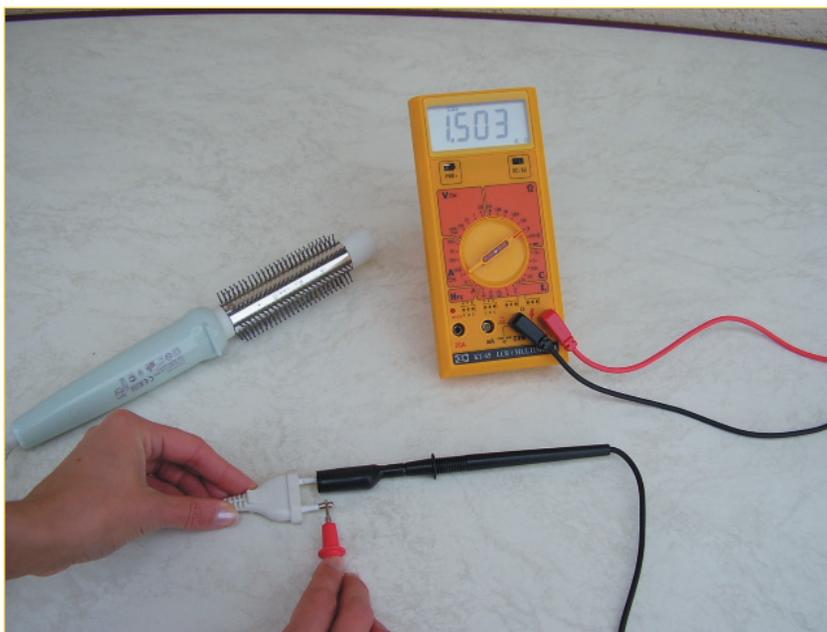


**Abb. 6.9** – 12-V-Halogenlampen an einer Stromversorgungsschiene.

## 6.5 Heizwendeln im Fön oder elektrischen Wärmeofen

Nicht nur der Leuchtfaden einer Glühlampe, auch die Heizwendel eines Föns, eines elektrischen Lockenwicklers oder eines elektrischen Wärmeofens kann durchbrennen. In diesem Fall ist im spannungslosen Zustand am Gerätestecker ein hoher bis sehr hoher Widerstand messbar. Obwohl das Gerät dafür nicht ans 230-V-Netz angeschlossen sein darf, muss es trotzdem eingeschaltet sein, sonst ist der Widerstand nicht zu ermitteln. Ist das Gerät indes in Ordnung, misst das Multimeter einen kleinen Widerstand im Ohmbereich. Je größer die Leistung der Heizwendel, umso kleiner der Messwert. Es gilt für den zu erwartenden

Messwert folgende „Faustformel“: Messwert  $R (\Omega) = 10.000 / \text{Nennleistung (W)}$ . Die Nennleistung ist am Gerät abzulesen. Bei 10 W Nennleistung kommt man laut Formel auf einen Widerstand von 1 k $\Omega$ , bei 500 W sind es 20  $\Omega$ . Aber diese Werte gelten nur ganz ungefähr, schon deshalb, weil es Kaltwiderstände sind. Ein anderes Beispiel ist der elektrische Lockenwickler, bei dem die Faustformel Messwert  $R (\Omega) = (230 \text{ V})^2 / \text{Nennleistung (W)}$  gilt. Das Modell in Bild 6.10 hat eine Nennleistung von 16 W, so dass sich rechnerisch 3,3 k $\Omega$  Innenwiderstand ergeben – messbar sind dagegen nur 1,5 k $\Omega$ . Messen ist deshalb auf jeden Fall angebracht.



**Abb. 6.10** – Das Multimeter zeigt am Lockenwickler einen Widerstand von 1,5 k $\Omega$ .

## 6.6 Haushaltsgeräte mit Motoren

Ob Staubsauger, Fön, Mixer, Rasierapparat oder elektrische Zahnbürste – überall steckt ein Motor drin. Ist er wirklich kaputt, wenn er sich nicht mehr dreht, oder liegt der Fehler woanders? In Haushaltsgeräten für den 230-V-Betrieb verrichtet meist ein sogenannter Universalmotor seinen Dienst (Abb. 6.11, 6.12 und 6.13). Dies ist ein Gleichstrommotor, der mit seinen beiden Kohlebürsten zwei „Pole“ besitzt und eine Hilfswicklung, die auch den Betrieb an einer Wechselspannung ermöglicht. Die Stromrichtung hat so keinen Einfluss auf die Drehrichtung des Motors. Da die Hilfswicklung meist in Reihe geschaltet ist, spricht man bei dieser Konstruktion auch von einem Reihenschlussmotor. Universalmotoren besitzen für Wechselspannung außerdem „geblechte“ Eisenkerne, die die magnetischen Verluste gering halten. Die Drehzahl ist stark von der Belastung abhängig und mit typisch 20.000 bis 30.000 Umdrehungen pro Minute hoch. Universalmotoren in Reihenschlusstechnik sind fest mit dem Gerät verbunden, das sie antreiben, um eine Selbstzerstörung zu verhindern. Beispiele sind Rasenmäher oder Lüfter.

### Fehler bei Universalmotoren finden

Um die Ursache für den Defekt bei Universalmotoren zu finden, hilft zunächst ein kritischer Blick. Im Defektfall sollte man sich die Kohlebürsten etwas genauer ansehen, weil dies Verschleißteile sind: Es kann sein, dass die Druckfeder erlahmt ist oder die Kohlestückchen zu

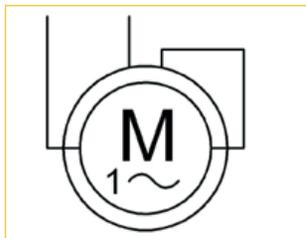


Abb. 6.13 – Symbol des Universalmotors.

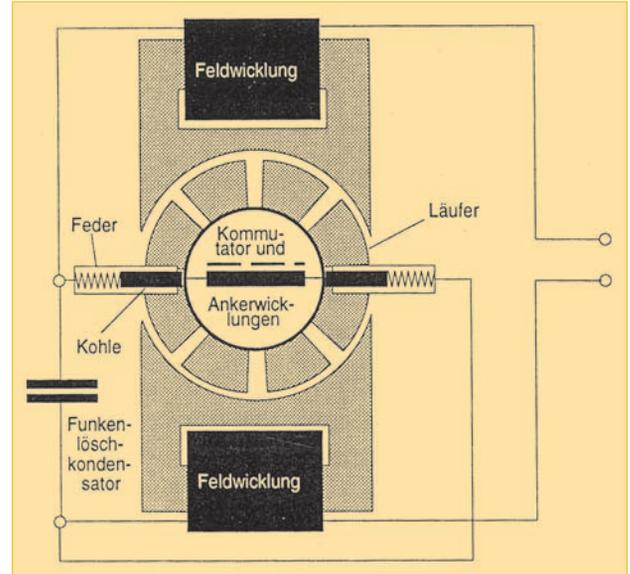


Abb. 6.11 – Aufbau eines Universalmotors.

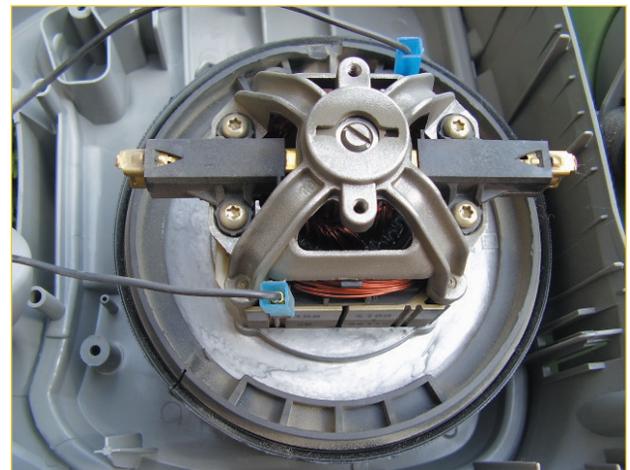


Abb. 6.12 – Die Kohlebürsten an diesem Universalmotor sind nicht zu übersehen.

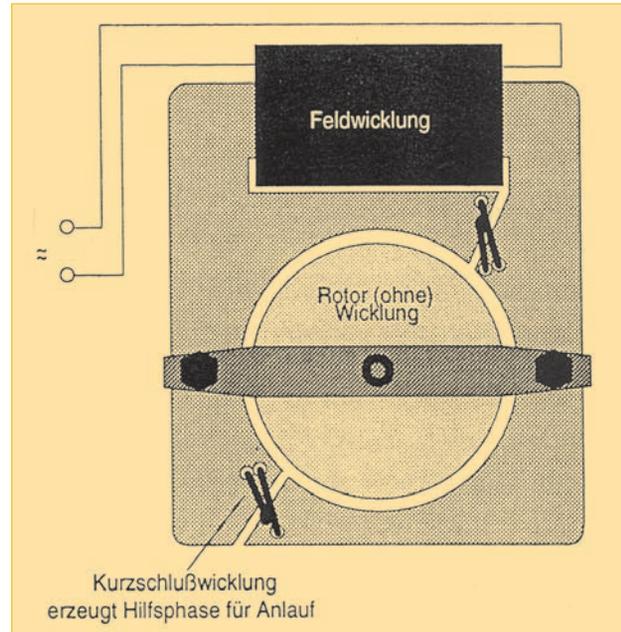
## 6.6 Haushaltsgeräte mit Motoren

sehr abgeschliffen sind. Da Universalmotoren einen Kollektor und Kohlebürsten besitzen, die im Betrieb Funkstörungen erzeugen, sind sie mit Entstörgliedern aus Kondensatoren und eventuell Spulen versehen. Diese Störschutzkondensatoren sind mit dem Durchgangstest auf einen Kurzschluss zu überprüfen. Zeigt das Multimeter beim Test eines Kondensators Nullen oder gibt einen Ton aus, ist er kaputt. Bleibt dagegen die Displayanzeige unverändert, besteht keine leitende Verbindung, und der Kondensator ist OK. So lassen sich alle Störschutzkondensatoren checken.

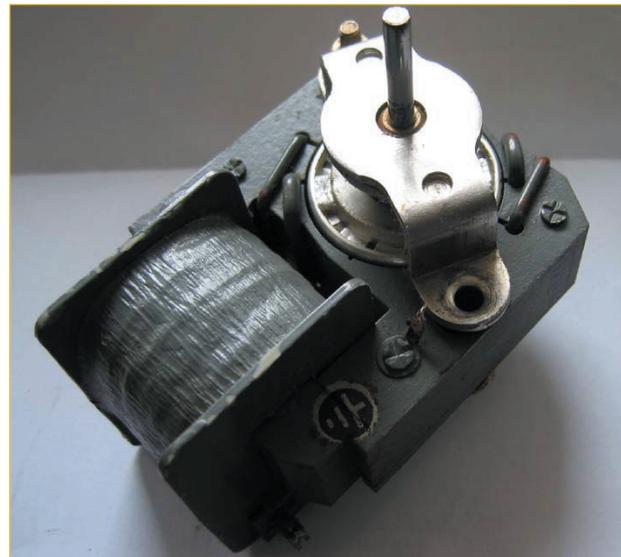
### Fehler bei Spaltpolmotoren finden

In regelmäßig benutzten Geräten wie dem Rasierapparat mit rotierenden Scherenköpfen oder in Wasch- und Spülmaschinen werden meist Spaltpolmotoren mit Kurzschlussläufer nach Abb. 6.14 und 6.15 eingesetzt. Dies sind sogenannte Asynchronmotoren, die Wechselstrom benötigen. Sie verzichten zwar auf die kritischen Kohlebürsten, laufen aber eigentlich nicht direkt an 230-V-Wechselspannung, so dass für den Betrieb Hilfswicklungen erforderlich sind. Arbeitet ein Motor nicht mehr mit der gewohnten Kraft, kann eine rotierende Ankerwicklung defekt sein. Das kann auch einen Universalmotor betreffen. Um zu prüfen, ob die Ankerwicklungen okay sind, messen wir die Wicklungswiderstände. Gleiche Wicklungen müssen gleiche Widerstände haben. Ist eine Wicklung hochohmig, besitzt also einen sehr hohen Widerstand, ist sie defekt. In diesem Fall sollte man den Motor durch einen neuen ersetzen, weil eine Reparatur zu umständlich ist. Die sogenannte Feldwicklung geht dagegen kaum kaputt, weil sie größer ausgeführt ist als die rotierende Ankerwicklung.

**Abb. 6.15** – Ansicht eines kleinen Spaltpolmotors. (Quelle: Wikipedia)

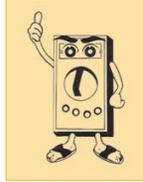


**Abb. 6.14** – Grundaufbau des Spaltpolmotors.



## 6.7 Fehlersuche bei Kleingeräten

Vom Rasierapparat über Mixer, Kaffeemaschine, Bügeleisen, Bohrmaschine bis zum Staubsauger haben sich elektrische Kleingeräte in modernen Haushalten etabliert. Manchmal versagen sie allerdings ihren Dienst oder wollen nicht mehr richtig funktionieren. Die wichtigsten Tipps zur Fehlersuche gibt der Kasten. Zuerst ist dabei die Stromzufuhr zu überprüfen.



Ob Steckerkontakt, Zuleitung, Sicherung oder Lötstellen: Mit einem Durchgangstest ist per Multimeter alles überprüfbar. Das Kapitel *Richtig messen leicht gemacht* beschreibt im Unterkapitel *Durchgangstest prüft Verbindung* wie man dabei vorgeht. Dazu ist das elektrische Kleingerät selbstverständlich vorher vom 230-V-Stromnetz zu trennen.

### Rasierapparate

sind einfache Konstruktionen und gliedern sich in zwei Grundtypen: Das Philipps-Modell kommt mit rotierenden kleinen runden Scherblättern aus. Der zweite Typ besitzt einen Schwinganker, der den massiven Scherkopf hin und her vibrieren lässt. Funktioniert der Rasierer nicht mehr, ist die Ursache meist Verschmutzung. Man sollte deshalb die runden Scherköpfe etwa monatlich auseinandernehmen, auspinseln und etwas ölen. Die Scherblätter sind dabei nicht durcheinander zu bringen, jedes kommt in seinen Scherkopf zurück.

### Mixer

besitzen meist Universalmotoren und sind damit relativ störanfällig. Neben der kompletten Stromzufuhr kommt der Motor als Störenfried besonders in Frage. Ein solches Küchengerät lässt sich relativ leicht demonstrieren und mit dem Multimeter untersuchen. Der Abschnitt *Fehler bei Universalmotoren finden* gibt die entscheidenden Tipps, wenn es den Motor erwischt hat.

### Vorgehen bei der Fehlersuche

- Ist Spannung auf der Steckdose?
- Hat der Netzstecker einwandfreien Kontakt mit der Steckdose? Angeschlossene Stecker fallen oft durch internen Kabelbruch auf, der von außen nicht erkennbar ist.
- Ist die Zuleitung okay?
- Ist die Gerätesicherung in Ordnung?
- Ist im Gerät ein Kontakt locker oder erscheint eine Lötstelle suspekt, weil sie eine stumpfe, bröcklige Oberfläche hat? Techniker sprechen in diesem Fall von einer „kalten“ Lötstelle.

### Kaffeemaschinen

zeigen fast ihre gesamte Elektrik, wenn man das Bodenteil abschraubt. Man sieht den Zuleitungsanschluss als Lüsterklemme, die Kontakte des Schalters mit Glimmlampe, den Thermostat, einen eventuellen Übertemperaturschutz und die „Heizschlange“ (Bild 6.16) Auch hier lässt sich mit dem Multimeter recht bequem prüfen und messen, wenn man das Gerät vom 230-V-Stromnetz getrennt hat. Bei Kaffeemaschinen ist ein Fehler durch verkalkte Wasserwege oder eine durchgebrannte Heizwicklung am wahrscheinlichsten. Im letzten Fall ist an der Heizwicklung kein Widerstand mehr messbar. Die Technik von Kaffeeautomaten und Espressomaschinen ist etwas komplizierter, weil mit einem Universalmotor Wasser durch das Kaffeepulver gepresst wird.

### Bügeleisen

besitzen einen Temperaturschalter aus sogenanntem Bimetall, der beim Betrieb des Bügeleisens häufig öffnet und schließt. Man kann das Klicken meist hören. Bimetall setzt sich aus zwei Metallen zusammen, die unterschiedlich auf Wärme reagieren und sich so als Temperaturschalter eignen. Das Schaltprinzip ist denkbar einfach: Ist die hohe Temperatur erreicht, schaltet der Bi-

## 6.7 Fehlersuche bei Kleingeräten

metallstreifen das Bügeleisen aus, ist die untere Grenztemperatur erreicht, schaltet er das Gerät ein. Ein Bügeleisen lässt sich wie die Kaffeemaschine schnell öffnen und mit dem Multimeter untersuchen. Neben dem Bimetall ist das Anschlusskabel mit einem Durchgangstest zu prüfen, ob es noch leitet, weil es durch die Hitze besonders gefährdet ist. Der Zugang zum Thermostaten ist meist etwas versteckt und erfordert weiteres Schrauben oder Abziehen.

### Handbohrmaschinen

gibt es in verschiedenen Leistungsklassen und mit einstellbarem Linkslauf. Die Schaltungen sind aber stets ähnlich (Bild 6.17). Diese Werkzeuge drehen den Bohrer mit einem Universalmotor mit meist einstellbarer Drehzahl. Durch den rauen Gebrauch treten Fehler in der Mechanik durch Stöße oder schweren Druck am häufigsten auf. Man sollte deshalb zuerst die Mechanik prüfen, bevor es an die Elektrik geht. Vor allem Kugellager und Getriebe sind zu kontrollieren.

### Staubsauger

arbeiten elektrisch ähnlich wie Bohrmaschinen – Universalmotor und Drehzahlsteuerung sind die wichtigsten Komponenten. Bei prall gefülltem Staubbeutel und voller Leistung wird dem Motor einiges abverlangt. Noch schlimmer kann es kommen, wenn er aus Versehen größere Objekte ansaugt, die den Saugkanal blockieren. Beim Defekt ist deshalb zuerst dieser zu kontrollieren. Wenn Staub an den Motor gelangt, läuft er langsamer. Auch hier empfiehlt sich deshalb ein optischer Check. Das Auseinandernehmen eines Staubsaugers kann allerdings recht knifflig sein. Elektrisch ist mit den üblichen Fehlerquellen

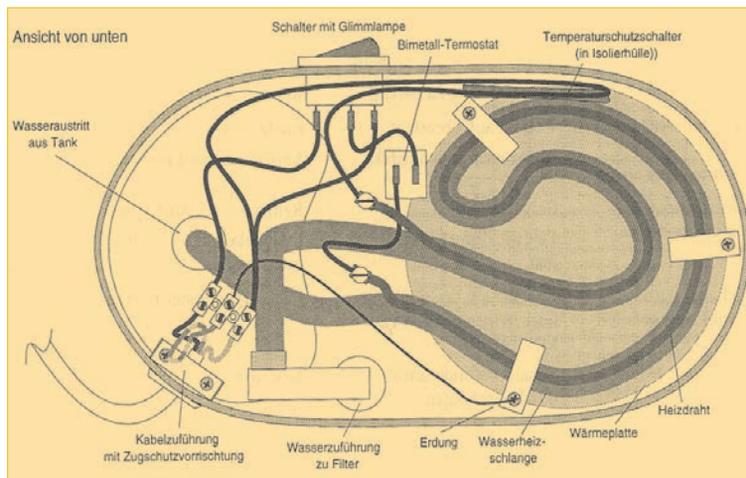


Abb. 6.16 – Elektrische Grundstruktur einer Kaffeemaschine.

zu rechnen: gebrochene Leitungen oder Kabelbruch, Wackelkontakte oder „kalte“ Lötstellen, manchmal auch durchgebrannte Ankerwicklungen am Motor. Ein Durchgangstest mit dem Multimeter verschafft bei allen Fehlerquellen Gewissheit. Wie dieser bei den Ankerwicklungen des Motors abläuft, beschreibt der Abschnitt *Fehler bei Spaltnmotoren finden*. Da der Netzstecker immer mit Druck in das Gerät gefahren wird, wenn der Teppich gesaugt wurde, ist ein Kabelbruch dort wahrscheinlich. Man sollte deshalb zuerst den Netzstecker auf leitende Kontakte prüfen – mit etwas Glück ist der Defekt schnell gefunden und der Staubsauger repariert.

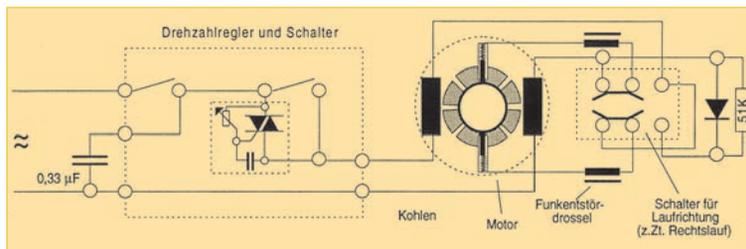
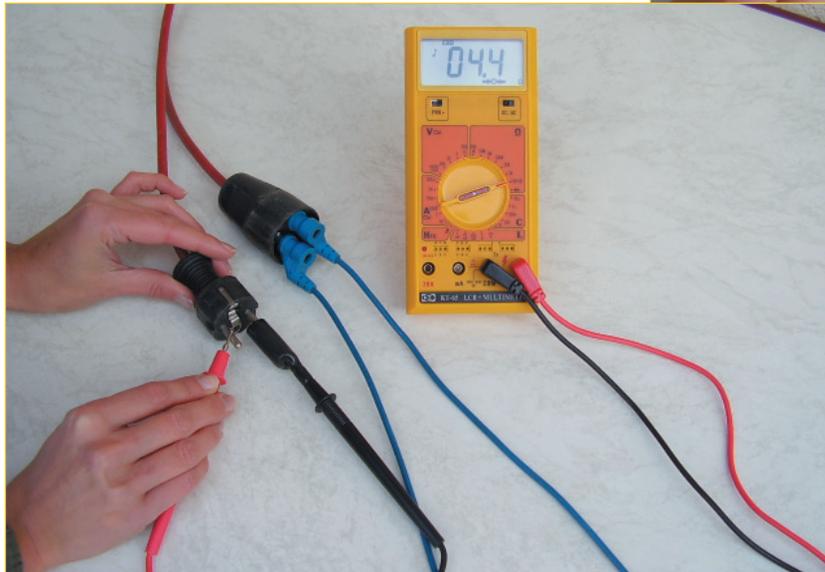


Abb. 6.17 – Grundschaltung einer Handbohrmaschine.

## 6.8 Verlängerungskabel und Steckdosenleiste prüfen

Beide lassen sich auf Isolationswiderstand, Leitungswiderstand und Schutzkontaktwiderstand testen. Der Widerstand der Kabelisolation, der sogenannte Isolationswiderstand, lässt sich nach Abb. 6.18 messen. Er muss sehr hoch sein. Nur dann sind Verlängerungskabel und Steckdosenleiste sicher zu nutzen, wenn ein großer Stromverbraucher wie ein elektrischer Wärmeofen angeschlossen ist. Um den Isolationswiderstand zu prüfen, ist das Multimeter auf den größten Widerstandsmessbereich zu stellen. Man misst an beiden Stiften des Netzsteckers und von jedem Stift zum Schutzkontakt. Das Messgerät sollte dabei „Überlauf“ anzeigen. Bei weniger als 500 k $\Omega$  sind Verlängerungskabel oder Steckdosenleiste nicht in Ordnung. Man sollte sie umgehend austauschen.

**Abb. 6.18** – Der Isolationswiderstand zwischen den stromführenden Adern muss sehr hoch sein.



**Abb. 6.19** – Der Widerstand der stromführenden Adern lässt sich messen, indem man das andere Ende des Verlängerungskabels kurzschließt. Er sollte sehr gering sein.

## 6.8 Verlängerungskabel und Steckdosenleiste prüfen

Um den Widerstand der Kabelleitung oder den Leiterwiderstand zu prüfen, ist das Multimeter in den kleinsten Widerstandsmessbereich zu stellen. Man schließt nach Abb. 6.19 die eine Seite des Verlängerungskabels kurz und misst an beiden Stiften des Netzsteckers. Bei Steckdosenleisten ist jedes Buchsenpaar kurzzuschließen und ein eventueller Ein-Aus-Schalter einzu-

schalten. Der zu messende Widerstand muss in beiden Fällen sehr gering sein und sollte ungefähr bei  $1 \Omega$  liegen, um einen einwandfreien Stromfluss sicherzustellen.

Um den Widerstand des Schutzkontaktleiters zu prüfen, bleibt man im kleinsten Widerstandsmessbereich und schließt das Multimeter an die Schutzkontakte von Netzstecker und Buchse an. Bei einer

Steckdosenleiste ist nach Bild 6.20 jeder Schutzkontakt der Leiste einzeln gegen den Schutzkontakt des Netzsteckers zu prüfen. Die Stellung eines Ein-Aus-Schalters spielt dabei keine Rolle. Der zu messende Widerstand muss ebenfalls sehr gering sein, theoretisch halb so gering wie der Leitungswiderstand.



**Abb. 6.20** – Hier wird der Widerstand des Schutzleiters an einer Steckdosenleiste gemessen.

## 6.9 Sicherheitsniveaus elektrischer Geräte

Elektrische Geräte im Haushalt müssen im Schadensfall den Anwender gegen Stromschlag schützen. Die Geräte sind deshalb in drei Schutzklassen eingeteilt.

Zur *Schutzklasse I* gehören alle Geräte mit einfacher Isolierung und einem Anschluss, an dem der Schutzleiter angeschlossen ist. Das Gerät besitzt einen Schutzkontakt- oder Schuko-Stecker und ein Metallgehäuse, das mit dem Schutzleiter verbunden ist. Beispiele sind CD-Player oder Sat-Receiver, die in ein Metallgehäuse eingebaut sind. Zur *Schutzklasse II* zählen alle Geräte mit einer Schutzisolierung. Meist handelt es sich um ein Kunststoffgehäuse, das alle berührbaren Teile zusätzlich zu einer Basisisolierung umgibt. Der Stecker ist meist ein einfaches Modell. Gerätebeispiele sind Handbohrmaschine oder Handmixer.

Die *Schutzklasse III* umfasst alle Geräte, die mit einer Sicherheitskleinspannung betrieben werden. Dies ist eine kleine elektrische Spannung, die auf Grund ihrer

geringen Höhe den Anwender besonders gegen einen elektrischen Schlag schützt. Bei Elektrohandgeräten ist beispielsweise eine kleine Spannung von 42 V üblich. Die Geräte besitzen weder einen Schutzleiter noch eine Erdverbindung. Metallische Gehäuse dürfen nicht geerdet sein. Beispiele sind Türgong, Haussprechanlage, Niedervolt-Halogenlampen oder Spielzeuge mit Netztrafo wie die elektrische Eisenbahn. Bei Kinderspielzeug darf die Wechsellspannung maximal 24 V betragen. Neben Geräten mit einer Sicherheitskleinspannung gehören auch Geräte mit einer Schutzkleinspannung oder „Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung“ zur Schutzklasse III. Ihre Trafos sind besonders gut vom 230-V-Lichtnetz isoliert, so dass auch sie einen besonderen Schutz gegen Stromschlag bieten. Diese Geräte sind geerdet und mit dem Schutzleiter verbunden.

Schließlich gibt es noch die *Schutzklasse 0*. Geräte dieser Kategorie sind in Deutschland nicht zugelassen!

## 6.10 VDE-Prüfzeichen

Bild 6.21 zeigt das wohl bekannteste Prüfzeichen in Deutschland. Die Abkürzung steht für Verband der Elektrotechniker Deutschlands. Es ist das Markenzeichen für elektrotechnische Erzeugnisse mit hohem Sicherheitsniveau und sucht weltweit seinesgleichen. Fast zwei Drittel der Bundesbürger kennen das VDE-Prüfzeichen und beziehen es laut einer repräsentativen Verbraucherumfrage in ihre

Entscheidungen ein – egal, ob beim Kauf von Haushaltsgeräten, Elektrowerkzeugen, Leuchten oder Geräten der Unterhaltungselektronik. Weltweit tragen rund 200.000 verschiedene elektrotechnische Geräte dieses Zeichen. Neben dem VDE-Prüfzeichen gibt es noch das GS-Zeichen, das für geprüfte Sicherheit steht und für technische Arbeitsmittel vorgesehen ist.



Abb. 6.21 – Das VDE-Prüfzeichen steht für die Sicherheit elektronischer Geräte.

## 7 Die Elektroinstallation im Griff haben

**D**as Messen und Prüfen an der Elektroinstallation mit dem Multimeter nach Bild 7.1 ist selten erforderlich. Vorschriftsmäßig installierte zeitgemäße Anlagen funktionieren sehr sicher und sind hervorragend gegen Überlastung geschützt. Eine Ausnahme bildet die Überspannung bei einem Blitzeinschlag. Meist spricht die Sicherung im Hausverteilerkasten (Abb. 7.2) an, wenn ein defektes Gerät in Betrieb geht. Der Hausanschlusskasten übergibt den Strom vom öffentlichen Stromnetz in das private Verbrauchernetz. Man spricht auch von der Gebäude- oder Hausinstallation. Die Sicherungen des Hausverteilerkastens dienen als Gebäude-Hauptsicherungen und liegen nach Abb. 7.3 unter einer Plombe. Größere Stromverbraucher wie Küchenherd oder Warm-

## 7 Die Elektroinstallation im Griff haben

wasser-Aufbereitung werden durch eigene Sicherungen geschützt. Zur Hausinstallation gehören die Leitungen in die einzelnen Wohnungen, der Installationsverteiler, an den die Endstromkreise mit Stromverbrauchern und Steckdosen angeschlossen sind, sowie die Wohnungs-Elektroinstallation. Daneben gibt es stets Licht- und Steckdosen-Stromkreise mit eigenen Sicherungen. Zur Hausinstallation gehören neben den klassischen Starkstromanlagen für Licht und Motorkraft



**Abb. 7.2** – Blick auf einen geöffneten Hausanschlusskasten.



**Abb. 7.1** – Messen mit einem CAT-III-Schutz-Multimeter im Hausanschlusskasten. Die einschlägigen Sicherheitsvorschriften sind zu beachten.

heute auch Ruf- und Wechselsprechanlagen, Fernmeldeanlagen sowie Anlagen zur Gebäudeautomatisierung. Sie arbeiten mit geringen Betriebsspannungen, sind an den dünnen Stromleitungen zu erkennen und lassen sich mit dem Multimeter gefahrlos prüfen. Die Bilder 7.4 bis 7.7 zeigen weitere Komponenten in einem typischen Hausanschlusskasten.



**Abb. 7.3** – Diese Plombe weist auf die Gebäude-Hauptsicherung hin.

## 7.1 Die einzelnen Leitungen im Stromkabel

Wenn man das Innenleben einer Verteilerdose, eines Stromkabels oder einer Steckdose der Hausinstallation betrachtet, fallen verschiedenfarbig isolierte Drähte ins Auge: braun oder schwarz, blau und grün-gelb. Das hängt damit zusammen, dass das Stromnetz auf sogenanntem Drehstrom basiert: Ein Generator mit drei autonomen Wicklungen, bei dem jede Wicklung eine 230-V-Wechselspannung liefert. Diese drei Wechselspannungen sind nach Abb. 7.8 und 7.9 zeitlich verschoben, man spricht auch von einer Phasen-

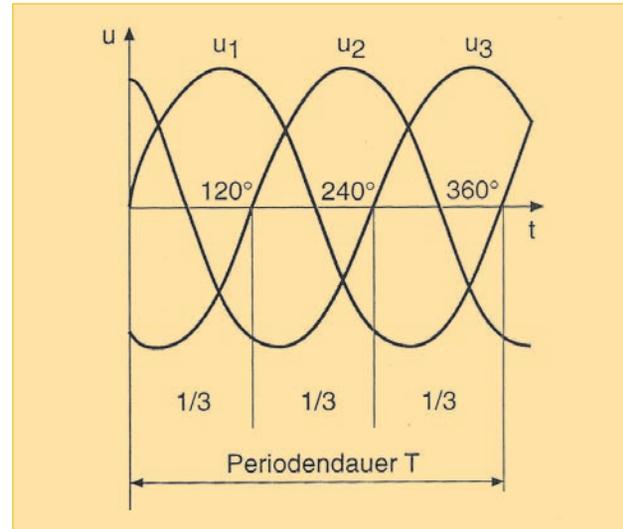


Abb. 7.8 – Die drei phasenversetzten Spannungen nennt man „Drehstrom“.

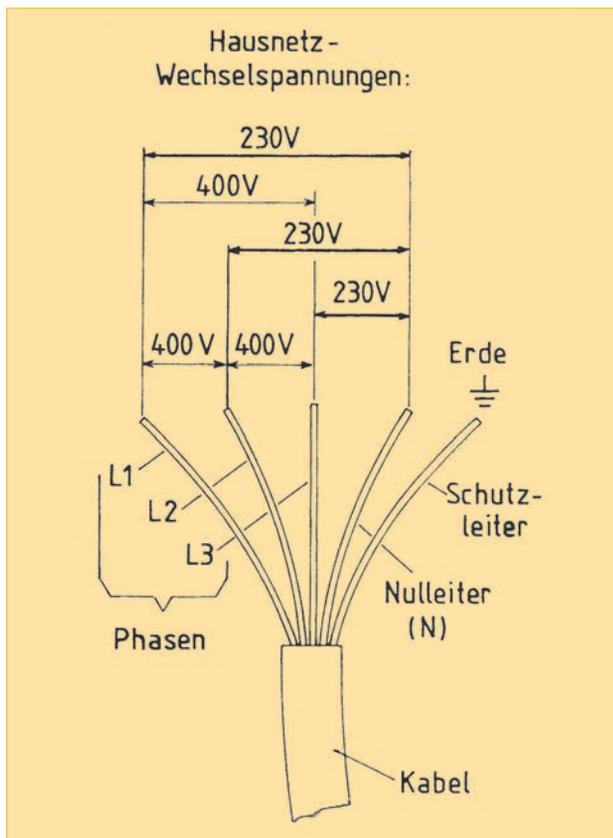


Abb. 7.10 – Die Leiterbezeichnungen bei einem Drehstromkabel.

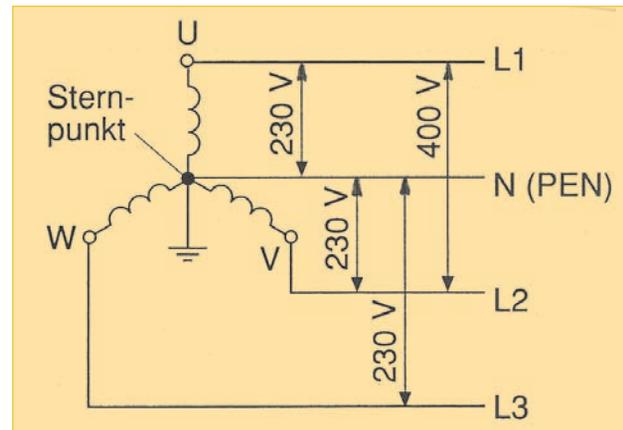


Abb. 7.9 – Drei rotierende autonome Wicklungen erzeugen den Drehstrom.

## 7.1 Die einzelnen Leitungen im Stromkabel

verschiebung um 120 Grad. Da eine Schwingung der 50-Hz-Netzspannung 20 Millisekunden (ms) dauert, beträgt der zeitliche Unterschied der einzelnen Schwingungen untereinander  $20 \text{ ms} / 3 = \text{etwa } 6,7 \text{ ms}$ .

Bild 7.10 nennt die Leiterbezeichnungen. Man spricht bei Außenleitern auch von den Phasenleitungen, die die gefährliche 230-V-Spannung führen. Neben den Außenleitern besitzt ein typisches fest verlegtes Kabel mit dem Null- und Schutzleiter noch zwei weitere Leitungen. Der Nullleiter verbindet die drei Generatorspulen. Auf diesen Leiter beziehen sich deshalb die 230 V. Im Betrieb dieses Dreiphasensystems führt der Nullleiter Strom, wenn sich die Ströme aus den drei Wicklungen nicht gleichen. Bei einem sogenannten Einphasensystem dagegen gibt es einen Strom im Außenleiter und im Neutralleiter. Dieser Nullleiter ist also keineswegs „neutral“, seine Spannung gegen Erde ist aber meist ungefährlich. Der Schutzleiter hat eine Schutzfunktion und ist deshalb im Normalbetrieb immer stromlos. Er ist mit der Erde verbunden und lässt nur im Fehlerfall einen Strom gegen die Erde abfließen, der die Sicherung im Verteilerkasten auslöst.

### Die Leitungen eines Stromkabels

Leitung	Funktion
Außenleiter	stellt die 230V-Spannung bereit
Nullleiter	sichert die Stromzufuhr und ist meist geerdet
Schutzleiter	hat Schutzfunktion und ist stets geerdet

### Welche Farben und Spannungen haben die Leitungen?

Die Farben der einzelnen Leitungen im Stromkabel sind alles andere als eindeutig. Fest steht nur, dass man einen grün-gelben Leiter nur als Schutzleiter nutzen darf, da er immer mit der Erde verbunden ist. Die außen liegenden Schutzkontakte einer Schuko Steckdose sind deshalb geerdet und darum ungefährlich. Der Nullleiter trägt die Farbe Blau. Braucht man diesen Leiter nicht, darf man die blaue Leitung auch für andere Zwecke nutzen, so dass an ihr eine gefährliche Spannung anliegen kann – deshalb Achtung bei blauen Leitern! Obwohl sie meist als Nullleiter vorgesehen sind, können sie gefährliche 230 V führen. Typische Farben für den Außenleiter, die Phase, sind Schwarz und Braun. Hier liegen immer 230 V an, wenn Schalter geschlossen sind. Zwischen zwei Außenleitern lassen sich übrigens 400 V messen, aber warum nicht  $2 \times 230 \text{ V} = 460 \text{ V}$ ? Weil die Spannungen zeitlich verschoben, also um 120 Grad phasenverschoben sind. So fallen das Maximum der einen und das Minimum der anderen Spannung zeitlich nicht zusammen. Die technischen Anlagen des 230-V-Stromnetzes gehören zum Niederspannungsbereich, so dass zwischen den Außenleitern maximal 1000 V und zwischen Außen- und Nullleiter maximal 600 V anliegen.

Eine Leitung, auf der sich rund 230 V messen lassen, muss nicht immer tatsächlich auch diese Spannung führen. Weil die Leitungen über viele Meter eng aneinander parallel verlaufen, beeinflussen sie sich untereinander, so dass die 50-Hz-Spannung auch auf andere Leitungen „überspringt“. Techniker sprechen dabei von koppeln. Das ist daran erkennbar, dass das Digitalmultimeter bis zu 230 V anzeigt – schließt man eine Glühlampe an, bleibt diese aber dunkel.

## 7.2 Unterschiedliche Sicherungen

Der häufigste Fehlerfall in der Hausinstallation ist das Ansprechen einer Sicherung. Meist ist die Ursache ein defektes Gerät. Stand der Technik sind heute Sicherungsautomaten nach Abb. 7.11, die man nach Entfernen des defekten oder für die Sicherung zu stromintensiven Geräts einfach wieder einschaltet.

Hat man noch alte Schraub- oder Schmelzsicherungen nach Abb. 7.12, ist eine neue Sicherung mit gleicher Farbkennzeichnung einzudrehen. Manchmal ist die Sicherung durchgebrannt, obwohl der untere Teil des Drahtes noch im Keramikgehäuse steckt – normalerweise fällt er heraus. Mit einem Durchgangstest lässt die Sicherung prüfen.

### Vorsicht bei alten Schmelzsicherungen

Alte Schmelzsicherungen sind bei Arbeiten am Stromnetz immer vollständig herauszuschrauben, um ganz sicherzugehen, dass dort keine Spannung anliegt. Trotzdem kann man am Sicherungssockel spannungsführende Teile aus Versehen berühren. **Unsachgemäßes Hantieren mit Werkzeug oder Multimeter ist hier lebensgefährlich!**

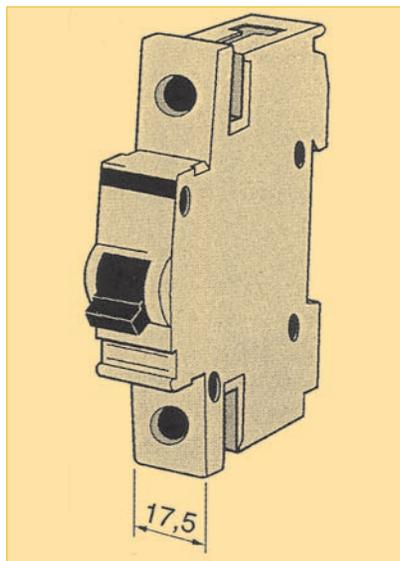


Abb. 7.11 – Der schmale und schnell reagierende Sicherungsautomat.



Abb. 7.12 – Die Fassung einer alten Schraubsicherung.

## 7.3 Netzspannung richtig messen

Bei Messungen ist zwischen der gefährlichen Netzspannung von 230 V gegen Erde und von 400 V zwischen den Außenleitern sowie dem ungefährlichen Kleinspannungsbereich zu unterscheiden. Ob im Verteilerkasten oder an der Steckdose, wenn man die Netzspannung in der Hausinstallation prüfen möchte, ist entsprechend der Hinweise im Kasten vorzugehen. Man misst die Spannung immer zwischen Schutzleiter und einem spannungsführenden Leiter, so dass das Multimeter bei der einen Steckdosenbuchse 0 V und bei der anderen 230 V anzeigt (Abb. 7.13).

### Besonderes bei Lampen und Verteilerdosen

Etwas anders als bisher beschrieben ist die Netzspannung an einer Lampenfassung zu messen, da dort meist nichts anklemmbar ist. Eine zweite Person, die das Multimeter hält, ist deshalb vor allem bei Deckenleuchten zu empfehlen. Außerdem ist Vorsicht beim Schutzleiter angebracht: Während man bei der Steckdose völlig sicher sein kann, dass der Schutzkontakt keine Spannung führt, ist dies bei

#### Vorgehen bei Spannungsmessung an einer Steckdose.

##### Die einschlägigen Sicherheitsvorschriften sind zu beachten

- Das Multimeter auf den größten Wechselstrommessbereich stellen.
- Den COM-Anschluss des Multimeters an den Schutzkontakt klemmen oder halten.
- Die zweite Messstrippe in die V-Buchse des Multimeters stecken.
- Man fasst die Prüfspitze hinter der Abrutschkrawe mit einer Hand an und kontaktiert jede Steckdosenbuchse.
- Die andere Hand bleibt nach Möglichkeit frei.

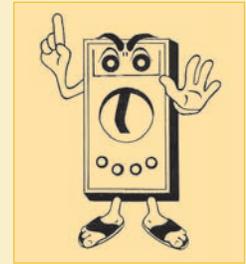


Abb. 7.13 – Spannungsmessung an einer Steckdose. Die einschlägigen Sicherheitsvorschriften sind zu beachten.

## 7.3 Netzspannung richtig messen

einer Lampenfassung unklar. Bei Lampen mit Netzschur kann der Stecker so oder so in der Steckdose stecken, so dass die gefährliche Phase am Außen- oder Innenkontakt der Fassung liegt. Bei einer fest installierten Lampenfassung muss diese laut Vorschrift auf dem Innenkontakt liegen. So ist gesichert, dass man diesen beim Herausdrehen der Lampe nicht berühren kann. Sicherheit verschafft der Phasenprüfer, der nur am Innenkontakt leuchten darf.

Auch mit dem Multimeter gelingt der Test leicht, wenn die Lampe nach Abb. 7.14 ein metallisches und mit dem Schutzleiter verbundenes Gehäuse besitzt. Die COM-Messstrippe ist ans Gehäuse zu klemmen und mit der Spitze der anderen Strippe an Außenring und Innenkontakt der Fassung zu tippen. Nur im letzten Fall darf das Multimeter etwa 230 V anzeigen – vorausgesetzt, der Schalter ist geschlossen. Ähnlich einer Lampe lässt sich auch die Netzspannung in einer Verteilerdose messen. Hilfreich ist wieder eine zweite Person, die das Multimeter hält und die Anzeige abliest, weil diese Dosen meist dicht unter der Decke montiert sind. Man tippt zuerst mit der COM-Strippe den Kontakt an, an dem die grün-gelben Drähte zusammenkommen und danach mit der anderen Messspitze beliebige

Punkte in der Dose. Wo sich die schwarzen Drähte der Phasen treffen, sollte eine Netzspannung anliegen.

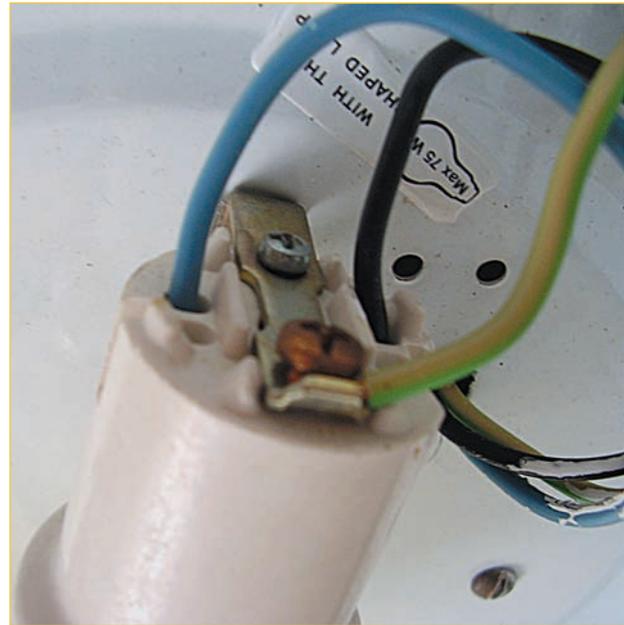
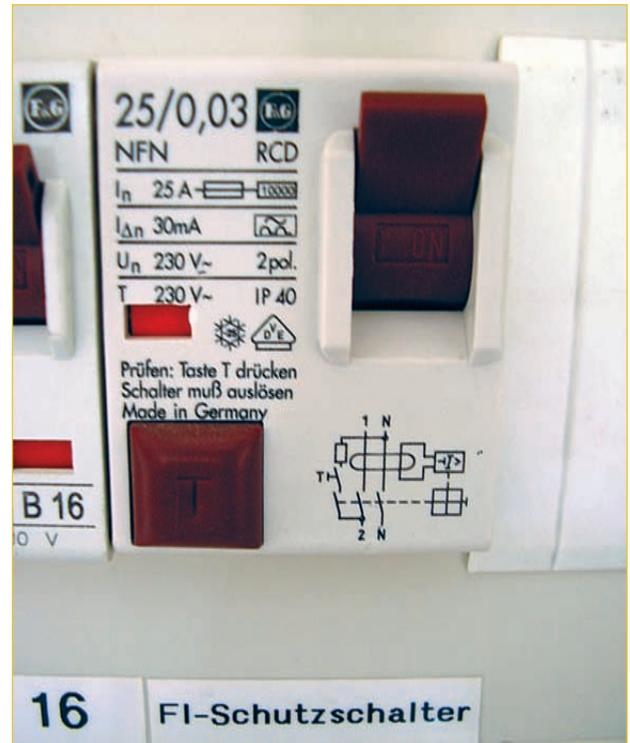


Abb. 7.14 – Korrekter Anschluss einer Deckenleuchte.

## 7.4 Der Fehlerstrom-Schutzschalter spricht an: Was tun?

Manchmal spricht bei Überstrom oder einem Kurzschluss nicht allein die für den Stromkreis zuständige Sicherung an, sondern auch der Fehlerstrom-Schutzschalter, kurz FI-Schutzschalter (Abb. 7.15). Diese Schutzeinrichtung trennt den angeschlossenen, überwachten Stromkreis vom restlichen Stromnetz, wenn Strom den überwachten Stromkreis auf falschem Weg verlässt – zum Beispiel durch den Körper einer Person. Da in zeitgemäßen Installationen für diverse Stromkreise Sicherungsautomaten eingebaut sind, weiß man nicht immer gleich, welche Sicherung zuständig ist. Das ist trotzdem kein Problem: Man schaltet alle Sicherungsautomaten aus, indem man ihren Hebel nach unten drückt, und schaltet danach den FI-Schutzschalter wieder ein. Dieser kann sich jetzt nicht mehr ausschalten. Nun ist Sicherungsautomat für Sicherungsautomat wieder einzuschalten. Dabei ist darauf zu achten, dass man ein eventuelles Auslösen einer Sicherung nicht mit der Hand blockiert. Spricht weder der FI-Schutzschalter noch ein Sicherungsautomat an, ist dieser Stromkreis mit allen angeschlossenen Elektrogeräten in Ordnung. So lässt sich ein Sicherungsautomat nach dem anderen einschalten und prüfen. Schließlich wird der gefundene, der zum kritischen Stromkreis gehört, der den FI-Schutzschalter ausgelöst hat. Jetzt „fällt“ dieser Sicherungsautomat, oder der FI-Schutzschalter spricht nochmals an. Ein Hinweis an dieser Sicherung sollte darüber informieren, welcher Stromkreis in welchem Zimmer betroffen ist. Hat man sich darüber vergewissert, sind in diesem Zimmer alle Stromverbraucher vom 230-V-Netz zu trennen und Sicherungsautomat sowie Schutzschalter danach erneut einzuschalten. Spricht die Sicherung oder der Schutzschalter immer noch an, liegt der Fehler in der

Elektroinstallation. Denkbar ist ein Kurzschluss in einer Verteilerdose oder eine unfachmännisch angeschlossene Steckdose. Sprechen dagegen weder Sicherung noch Fehlerstrom-Schutzschalter an, ist einer der Stromverbraucher der Übeltäter. Um ihn zu finden, sind die Gerätestecker im betroffenen Zimmer der Reihe nach wieder in die Steckdosen zu stecken und Sicherung sowie FI-Schutzschalter zu beobachten.



**Abb. 7.15** – Der Fehlerstrom-Schutzschalter, kurz FI-Schutzschalter, trennt den überwachten Stromkreis vom restlichen Stromnetz, wenn ihn Strom auf falschem Weg verlässt.

## 7.5 Eine Sicherung reagiert: Vorgehen bei der Fehlersuche

**S**pricht ein Sicherungsautomat an oder brennt eine Schmelzsicherung durch, muss dafür nicht zwangsläufig ein schadhaftes Gerät verantwortlich sein. Das Stromnetz kann auch überlastet worden sein. Das kann leicht im Winter beim Ausfall der Heizung passieren, wenn man versucht, mehrere mobile elektrische Heizgeräte an einem Stromkreis zu betreiben. Ein Steckdosenstromkreis ist mit maximal 10 A belastbar, so dass nur Geräte mit einer maximalen Gesamtleistung von 2.300 W angeschlossen sein dürfen. Spricht eine Sicherung an, sind deshalb zunächst die Leistungen aller elektrischen Geräte zusammenzurechnen, die man an

diesen Stromkreis betreibt. Auskunft geben Plaketten oder Aufdrucke an den Gehäusen. Man denke an einen Herd mit elektrisch betriebener Backröhre bei maximaler Temperatur! Manchmal erübrigt sich so die weitere Fehlersuche.

Ist doch ein Gerät der Übeltäter, sind alle Geräte von diesem Stromkreis zu trennen und nacheinander wieder in die Steckdose zu stecken, bis der Sicherungsautomat wieder anspricht – und der defekte Kandidat ist gefunden.

## 7.6 Kleinspannungen messen

**M**it Kleinspannungen funktionieren die Türsprechanlage, der Gong oder die ISDN-Leitung, an denen sich deshalb gefahrlos messen lässt. Für den Kleinspannungsbereich ist ein rund 5 mm dickes graues Kabel mit vier farblich verschieden gekennzeichneten Drähten typisch. Es ist nicht sehr widerstandsfähig und wird meist offen verlegt, zum Beispiel auf der Scheuerleiste. So können die Adern leicht beschädigt

werden. Um sie durchzuprüfen, sind Spannungsmessungen und Durchgangstests gefahrlos möglich. Die farbliche Kennzeichnung der Drähte lässt keine Verwechslungen zu. Oft sind sie allerdings nur aus ihren Klemmverbindungen gerutscht. Ein Beispiel ist ein Modem, das auf dem Fußboden liegt und ab und zu hin und her geschoben wird.

## 8 Auto, Caravan und Boot unter die Lupe nehmen

**A**uch in Kraftfahrzeug, Caravan oder Boot kann das Multimeter hilfreich sein – zumal der Elektronikanteil in diesen Fahrzeugen in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich zugenommen hat. Da beim Start eines Fahrzeugs mehrere hundert Ampere fließen, ist beim Messen besonders sorgfältig vorzugehen. Der extrem hohe Strom kann im Kurzschlussfall den Kabelbaum gefährden: Schnell können einzelne Leitungen heiß werden oder Kontakte abschmoren. Deshalb ist die elektrische oder elektronische Anlage auszuschalten, bevor man mit der Arbeit beginnt, und zuerst der Minuspol von der Batterie abzuklemmen. Dieser ist normalerweise mit der Karosserie, also der Masse verbunden.

## 8.1 Betriebsspannung sicher messen

Bei der Betriebsspannung beim Auto, Caravan oder Boot hat man es mit einer Gleichspannung zu tun – meist 12 V oder 24 V. Misst man beispielsweise am Zigarettenanzünder, ist darauf zu achten, dass die beiden leitenden Messspitzen keinen Kurzschluss verursachen. Nicht nur wegen des bequemeren und sicheren Messens, auch zum Betrieb diverser Geräte sollte man deshalb über Anschaffung oder Selbstbau von Adapterleitungen nachdenken. Bild 8.1 zeigt, wie sie aussehen können.

Neben der Gleichspannung lassen sich in Auto und Boot auch Widerstände messen und leitende Verbindungen mit einem Durchgangstest prüfen. So kann man den Spulenwiderstand an einem Zündverteiler nach Abb. 8.2 messen oder Leitungen einer Heckscheibenheizung nach Abb. 8.3 auf Durchgang prüfen. Das sind aber nur zwei von vielen Möglichkeiten.



Abb. 8.1 – Selbst gebauter (links) und handelsüblicher Adapter für das Kfz-Bordnetz.



Abb. 8.2 – Defekt oder in Ordnung? Kennt man den richtigen Spulenwiderstand des Zündverteilers, gibt das Multimeter die Antwort.



Abb. 8.3 – Durchgangstest bei der Heckscheibenheizung.

## 8.2 Die Autobatterie

Die wieder aufladbare 12-V-Autobatterie heißt eigentlich Akkumulator, kurz Akku, und besteht aus sechs Bleiakkuzellen, die jeweils 2 V liefern. Sie sind in Reihe geschaltet, so dass sich die Einzelspannungen addieren. Das Gehäuse umfasst alle sechs Zellen, die sich nicht trennen lassen. Die Autobatterie kann im Motor- oder Fahrgastraum untergebracht sein. Im letzten Fall muss sie voll gekapselt sein und ist oft nicht besonders gut erreichbar.

### Was sind Amperestunden?

Die Speicherkapazität einer Autobatterie, die in Amperestunden (Ah) angegeben ist, lässt sich mit dem Fassungsvermögen eines Weinfasses vergleichen. Im Gegensatz zum Weinfass ist der Inhalt nur nicht in Litern, sondern in Amperestunden angegeben. Wie lange kann die Batterie ein elektrisches Gerät mit Strom versorgen? Auskunft gibt die Kapazität, da „Ah“ für „Ampere mal Stunden“ steht. Eine Autobatterie mit einer Speicherkapazität von 60 Ah kann entweder 60 Stunden lang 1 A oder 30 Stunden lang 2 A liefern. Ganz so haargenau klappt es mit einer Berechnung in der Praxis allerdings nicht, da der Akku einen sogenannten Tiefentladeschutz besitzt. Dieser trennt alle Stromverbraucher vom Akku, sobald die Spannung unter die Tiefentladeschwelle sinkt. Die Geräte werden erst wieder automatisch eingeschaltet, wenn die Akkuspaltung etwas gestiegen ist. Je größer der Betriebsstrom, umso weniger Leistung lässt sich aus dem Akku ziehen. Entsprechend Reserve bei der Batteriekapazität ist deshalb immer einzukalkulieren.

### Maßnahmen bei zu geringer Spannung

Wenn die Autobatterie beim Starten zu wenig Spannung liefert, kann das vier Ursachen haben: zu alter Akku, zu häufiges Starten, die Lichtmaschine lädt den Akku nicht mehr voll auf oder zu hohe Selbstent-

ladung. Im ersten Fall hilft nur ein neuer Akku. Beim zu häufigen Starten ist das eigene Fahrverhalten optimierbar: Den Zündschlüssel nur so oft herumdrehen wie nötig und an Ampelkreuzungen mit einer langen Rotphase den Motor im Leerlauf ruhig mal schnurren lassen. Macht es die Lichtmaschine nicht mehr, ist meist die Werkstatt an der Reihe. Den Defekt signalisiert die Ladekontrollleuchte. Bei defekten Dioden, einem unsicheren Kontakt oder anderen Ladefehlern glimmt sie nur. Natürlich kann auch die Lampe selbst defekt sein, was mit einem Durchgangstest im stromlosen Zustand feststellbar ist. Dabei kann man mit dem Diodentest des Multimeters den Kaltwiderstand der Lampe messen. Weil die Lampe auch eine Leuchtdiode sein kann, lässt sie sich dabei auf Durchgangs- und Sperr-Richtung prüfen. Die Messstrippen sind dabei umzupolen.

Bleibt der letzte Fall für eine defekte Autobatterie: eine zu hohe Selbstentladung. Aufgeladene Akkus verlieren langsam an Ladung, auch wenn kein Stromverbraucher angeschlossen ist. Die Selbstentladung macht 0,1 bis 0,3 Prozent pro Tag aus und ist temperaturabhängig. Ein grober Richtwert sind 10 Prozent Ladungsverlust in 50 Tagen. Man kann die Selbstentladung also mit relativ kleinem Ladestrom von Zeit zu Zeit wieder ausgleichen. Beispiel eines 40-Ah-Akkus: Der Akku hat nach 100 Tagen 20 Prozent seiner Kapazität verloren, also 8 Ah. Er wird mit 1 A von früh bis abends oder über Nacht wieder aufgeladen – oder mit einem halben Ampere rund um die Uhr 24 Stunden lang. Das Laden kann einfach über den Zigarettenanzünder oder eine Steckdose erfolgen. Das Multimeter zeigt dabei den Strom oder die Spannung an (Abb. 8.4). Alle Stromverbraucher wie Lampen und Autoradio sind vorher auszuschalten. Außerdem muss man prüfen, ob die Ladespannung des Ladegeräts über der Batteriespannung liegt! Sonst kann Strom von der

## 8.2 Die Autobatterie

Batterie ins Ladegerät fließen und dieses überlasten. Vor allem übliche Netzgeräte können davon betroffen sein. Eine „richtige“ Ladeschaltung nach Abb. 8.5 verhindert deshalb einen eventuellen Rückfluss von Strom durch eine Diode. Bei der Drehstrom-Lichtmaschine sind mehrere Dioden dafür zuständig. Ob Strom in die verkehrte Richtung fließt, lässt sich leicht prüfen: Bei höherer Ladespannung muss auch ein größerer Strom fließen, falls nicht, fließt er in die verkehrte Richtung.

### Ladezustand feststellen

Der Ladezustand und damit der Alterungsgrad einer Autobatterie lässt sich feststellen, indem man sie nach der Aufladung einer Belastungsprobe unterzieht. Ist sie

#### Ladezustand von 12-V-Autobatterien bei Raumtemperatur

gemessene Spannung	Ladezustand
12,7 V	ca. 100 % Ladezustand
12,5 V	ca. 75 % Ladezustand
12,3 V	ca. 50 % Ladezustand
12,1 V	ca. 25 % Ladezustand



Abb. 8.4 – Ein Ladegerät lädt die Autobatterie über den Zigarettenanzünder auf.

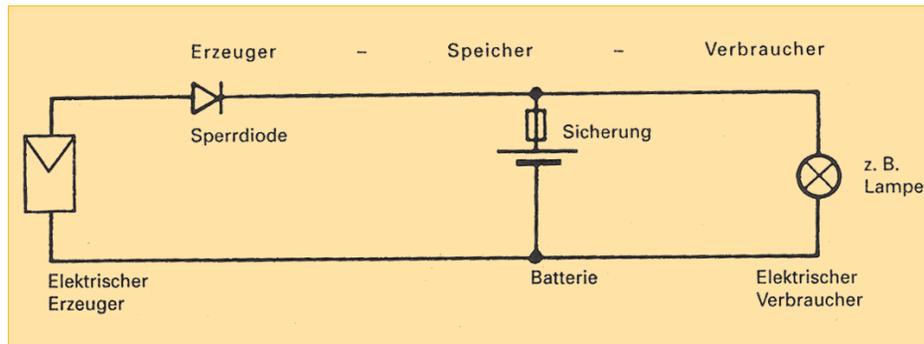


Abb. 8.5 – In dieser Ladeschaltung kennt der Strom nur die Richtung zur Batterie. Die Diode blockiert einen Stromrückfluss.

im Auto eingebaut, ist das leicht möglich: Man misst die Spannung an einer Steckdose oder am Zigarettenanzünder und schaltet die Hauptbeleuchtung ein. Bevor man das macht, sollte die Batterie rund fünf Stunden lang unbelastet gewesen sein.

## 8.3 Batterie mit Sonnenstrom aufladen

Die Solartechnik hat längst die Campingplätze erobert, da auch eine Solaranlage Akkus aufladen kann, was außerdem völlig geräuschlos passiert. Allerdings kann der Strom je nach Stärke des Sonnenlichts stark schwanken. So sind der mittlere Strom und damit die Ladezeit nur schwer zu bestimmen. Deshalb nimmt man bei der Solarladung die Ladespannung als Referenzgröße, die sich mit dem Multimeter problemlos messen lässt. Die Messung der Spannung an Solarmodul und Fahrzeugbatterie liefert auch im Betrieb brauchbare Informationen über Lade- und Akku-Zustand. Die Tabelle informiert darüber, was die gemessene Spannung am Akku für seinen Ladezustand bedeutet.

gemessene Akku-spannung bei Solarstrom	Ladezustand
über 15 V	Akku geladen, Ladung sofort abbrechen
13-15 V	normaler Spannungsbereich der Solaranlage bei Ladung ohne angeschlossenen Stromverbraucher
12-14 V	normaler Spannungsbereich der Solaranlage bei Ladung mit angeschlossenem Stromverbraucher
11,5-12,7 V	normaler Spannungsbereich bei Entladung
11 V	Entladung beenden und Ladung beginnen

## 8.4 Spannungswandler

Möchte man ein Gerät betreiben, das nicht mit der Bordspannung kompatibel ist, hilft ein elektronischer Spannungswandler. Solche Wandler bilden aus der Gleichspannung des Akkus eine 230-V-Wechselspannung oder eine Gleichspannung in anderer Höhe (Abb. 8.6 und 8.7). Diese Spannungswandler können für eine feste Eingangsspannung von 24 V oder 48 V ausgelegt sein oder einen wählbaren Spannungsbereich von 10 bis 96 V besitzen. Bei ähnlicher Baugröße liefern Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler eine deutlich geringere Leistung als Gleichstrom-Wechselstrom-Wandler. Das hängt mit dem Wirkungsgrad zusammen, der beim Umwandeln von Gleich- in Wechselspannung besser ist. Ist Gleichspannung in 230-V-Wechselspannung umzuwandeln, gelten die gleichen Sicherheitsbestimmungen wie beim häuslichen 230-V-Lichtnetz.

Die Höhe der Ausgangsspannung und der Wirkungsgrad lassen sich bequem mit dem Multimeter überprüfen. Für den Wirkungsgrad gilt dabei folgende Formel:  $\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{Ausgangsleistung}}{\text{Eingangsleistung}}$  oder  $\frac{\text{Ausgangsstrom} \times \text{Ausgangsspannung}}{\text{Eingangsstrom} \times \text{Eingangsspannung}}$ . Nutzt man den Spannungswandler nicht, ist er auszuschalten, damit er die Fahrzeugbatterie nicht mit seinem Ruhestrom belastet.

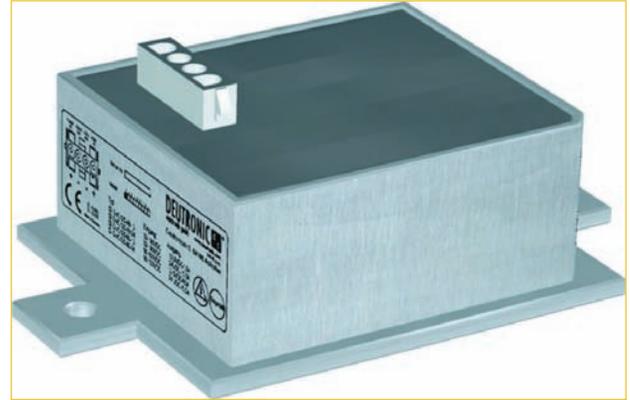


Abb. 8.6 – Ein Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler (DC/DC) zum Festeinbau.



Abb. 8.7 – Dieser leistungsstarke Gleichstrom-Wechselstrom-Wandler (DC/AC) ist kaum größer als eine Getränkedose.

## 8.5 Tipps für den Autobastler

**A**uf [www.oldie-schrauber.de](http://www.oldie-schrauber.de) gibt Dieter Siever Anwendern, für die Kraftfahrzeugtechnik ein Hobby ist, wertvolle Tipps. Hierzu gehört, alle Basteleien mit eigenen Sicherungen abzusichern und diese zu beschriften. Das spart im Zweifel viel Sucherei, wenn man später nicht mehr weiß, welchen Zweck eine Sicherung innehatte. Die Sicherungsgröße ist außerdem an die fließenden Ströme und den Querschnitt des Leiters anzupassen. Die Tabelle gibt Auskunft, welche Richtwerte die Leiterquerschnitte dabei nicht unterschreiten sollten. Die werkseitig verwendeten Sicherungen und Kabel sind meist exakt auf die fließenden Ströme ausgelegt und haben deshalb kaum Reserven. Überall, wo

man später bei Service und Wartung Teile zerlegen muss, ist eine Steckverbindung einzufügen. Man sollte die Stecker farblich kennzeichnen, damit sie auch ein fremder Techniker wieder richtig zusammenstecken kann. Alle Leitungen sollten flexibel, sinnvoll gebündelt und befestigt sein. Achten Sie besonders auf bewegliche und heiße Teile.

Um zu wissen, welcher Strom fließt, ist die Formel für die elektrische Leistung  $P = U \times I$  zu verwenden. Der Strom (I) errechnet sich aus der Leistung (P) dividiert durch die Spannung (U). Eine 55-W-Nebellichte benötigt danach bei einer 12-V-Spannungsversorgung  $55 \text{ W} / 12 \text{ V} = 4,6 \text{ A}$ .

### Den richtigen Leiterquerschnitt wählen

Zum Querschnitt von Leitungen gibt es zwei Faustregeln: Bei Dauerbelastung sollte pro  $\text{mm}^2$  maximal 5 A Strom fließen, bei kurzzeitiger Belastung sollten es pro  $\text{mm}^2$  maximal 10 A sein. Bei einzeln verlegten Leitungen sind aus Festigkeitsgründen immer Querschnitte ab  $1 \text{ mm}^2$  zu empfehlen, bei Kabelbündeln dürfen die einzelnen Leitungen auch dünner sein. Bei längeren Leitungen sollte man zur Vermeidung unnötiger Spannungsabfälle den jeweils höheren Querschnitt verwenden, falls die Belastungsgrenze des Leiters erreicht ist. Der Leiterquerschnitt ist darüber hinaus vom Verwendungszweck abhängig.

Richtwerte für Sicherungen und nicht zu unterschreitende Leiterquerschnitte	
Sicherung bis 3 A	Querschnitt $0,75 \text{ mm}^2$
Sicherung bis 6 A	Querschnitt $1 \text{ mm}^2$
Sicherung bis 8 A	Querschnitt $1,5 \text{ mm}^2$
Sicherung bis 16 A	Querschnitt $2,5 \text{ mm}^2$
Sicherung bis 25 A	Querschnitt $4 \text{ mm}^2$

## 8.5 Tipps für den Autobastler

Am Querschnitt einer Leitung ist der Strom zu erkennen, den sie vertragen kann, so dass sich auf den Verwendungszweck schließen lässt. Genaue Auskunft gibt die Farbe einer Leitung.

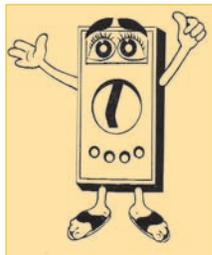
### Häufig im Auto anzutreffende Leiterquerschnitte

0,5 mm  
0,75 mm  
1,0 mm  
1,5 mm  
2,5 mm  
4,0 mm  
6,0 mm  
10,0 mm

<b>Querschnitte von Leitungen in Abhängigkeit vom Verwendungszweck</b>		
Stromstärke	Leitungsquerschnitt	Verwendungszweck
bis 2,5 A	0,5-0,75 mm <sup>2</sup>	Rücklicht, Standlicht, Innenbeleuchtung, Kontrollleuchten
bis 8 A	1,5 mm <sup>2</sup>	Fahrtrichtungs-Anzeiger, Scheinwerfer, Scheibenwischer, Hupe
bis 16 A	2,5 mm <sup>2</sup>	Sammelleitungen für Scheinwerfer
bis 40 A	6 mm <sup>2</sup>	Stromversorgung Zündschloss/Sicherungskasten
über 40 A	16-35 mm <sup>2</sup>	Anlasser (abhängig von Leitungslänge und Leistung)

## 8.6 Leitungsfarben im Auto informieren über Verwendungszweck

Über den Verwendungszweck der Leitungen im Auto informieren deren Farben. Sie sind mit Ausnahme der BMW-Modelle einheitlich. Eine Ader trägt nach DIN 72551 eine von acht Grundfarben, die die überwiegende Farbe der Ader ist. Die Grundfarbe kennzeichnet die Leitung und definiert ihren Verwendungszweck. Zur weiteren Unterscheidung dient die Kennfarbe, die in unterschiedlicher Weise an den Leitungsenden aufgetragen ist. Viele Leitungen sind zweifarbig. Die gängigsten Farben mit ihren Abkürzungen und typischen Verwendungszwecken sind den Tabellen zu entnehmen.



Farbe	Abkürzung	Verwendungszweck
hellblau	hb	Kontroll- und Signal-Leuchten
braun	br	Masse
gelb	ge	Abblendlicht
grün	gn	Zündspulen zu Unterbrechern
grau	gr	Schluss-, Begrenzungs- und Kennzeichen-Beleuchtung
lila	li	Kennfarbe
rot	rt	Anlasser zur Lichtmaschine, Zünd- und Lichtschalter sowie Stromverbraucher und Sicherungen, die direkt an Klemme 30 liegen.
schwarz	sw	Batterie zum Anlasser, Zünd- zu Licht-Schalter, Zündung allgemein
weiß	ws	Fernlicht

### Kennzeichnung der wichtigsten Leitungen für die Blink- und Licht-Anlage

Grundfarbe	Kennfarbe	Verwendungszweck
ws	-	Fernlicht links
ws	sw	Fernlicht rechts
ge		Abblendlicht links
ge	sw	Abblendlicht rechts
gr	sw	Standlicht links
gr	ro	Standlicht rechts
sw	ws	Blinker links
sw	gn	Blinker rechts

## 8.7 Motor und Akku im Elektroboot

Der Motortyp in einem Elektroboot richtet sich nach Einsatzgewässer, Häufigkeit der Anwendung und typischer Fahrzeit. Besonders wichtig sind Schubkraft und Leistungsaufnahme. Hinzu kommen die mechanischen Voraussetzungen im Boot, gewünschter Steuerungskomfort, die Überwachung des Ladezustands der Batterie und die elektrische Absicherung von Kabel und Motor. Wichtigstes Kriterium für den optimalen Motor ist das Verhältnis von Schub zu Leistungsaufnahme, das unter Kostengesichtspunkten zu bewerten ist. Qualität hat auch hier ihren Preis.

### Benötigte Batteriekapazität errechnen

Hat man einen Bootsmotor gefunden, lässt sich die benötigte Batteriekapazität errechnen. Dabei sind Nennspannung und Leistungsaufnahme des Motors und gewünschte Fahrzeit pro Batterieladung zu berücksichtigen. Die Mindestkapazität des Akkus lässt sich über die Stromaufnahme des Motors bestimmen:

Motor-Stromaufnahme = Motor-Leistungsaufnahme / Motor-Nennspannung. Beträgt beispielsweise die Leistungsaufnahme 275 W und die Motor-Nennspannung 12 V, liegt die Stromaufnahme bei 23 A. Damit lässt sich die Mindest-Speicherkapazität der Batterie nach folgender Formel errechnen: Mindestkapazität = 1,7 x Motor-Stromaufnahme x gewünschte Fahrzeit. Wollen wir mit obigem Motor drei Stunden (h) pro Batterieladung fahren, ergibt sich eine Mindestkapazität von  $1,7 \times 23 \text{ A} \times 3 \text{ h} = 117 \text{ Ah}$ . Es eignet sich deshalb eine Batterie mit 100 bis 140 Ah.

In Außenbordmotoren ist übrigens erst ab einer bestimmten Größe eine Drehstrom-Lichtmaschine eingebaut. Kleine Modelle besitzen eine Lichtspule mit maximal 100 W Leistung bei 12 V, die ebenfalls eine Batterie auflädt. Auf Grund ihrer geringen Leistung sollte man allerdings keine zu großen Akkus anschließen. Sonst besteht die Gefahr, dass die Ladeeinrichtung überlastet und zerstört wird, wenn nichts gesichert ist.

## 9 Defekte elektronische Geräte reparieren

**W**ie an reinen Elektrogeräten ist das Multimeter an elektronischen Geräten wie Radio, CD-Player oder Drucker erforderlich, wenn ein Defekt vorliegt. Dabei sind meist mittlere und kleine Gleichspannungen und Gleichströme zu messen. Der Defekt kann sich auch in einem übergroßen Strom im 230-V-Netz äußern, so dass die Netzsicherung im Verteilerkasten „gefallen“ oder „durchgebrannt“ ist. Häufiger als bei Elektrogeräten mit ihrem hohen Stromverbrauch ist in elektronische Geräte eine interne Sicherung eingebaut, wenn sie für 230-V-Betrieb ausgelegt sind. Eine Durchgangsprüfung am vom Netz getrennten Gerät zeigt schnell, ob diese Siche-

rung noch in Ordnung ist. Während Elektrogeräte meist eine Netzschur mit Stecker besitzen, sind bei elektronischen Geräten drei Möglichkeiten der Stromversorgung zu unterscheiden: die konventionelle Stromversorgung über das 230-V-Netz mit eingebautem Trafo, die Stromversorgung über ein Steckernetzteil oder Batterien und Akkus. Geht man auf Fehlersuche, weil das Gerät streikt, ist das Netzteil eine ziemlich wahrscheinliche Fehlerursache. Durch Überspannung infolge Blitzeinschlags können beispielsweise die Dioden zerstört worden sein. Auch Trafos mit durchgebrannten Wicklungen sind nicht selten, vor allem bei Geräten aus Übersee.

## 9.1 Stromversorgung bei eingebautem Trafo prüfen

Bei der konventionellen Netzversorgung besitzt das Gerät einen eingebauten Transformator mit einem Gleichrichter, der den Gleichstrom erzeugt. Es werden verschiedene Konzepte für die Gleichrichtung und die nachfolgende Spannungsaufbereitung angewandt. Die Bilder 9.1 und 9.2 zeigen zwei Möglichkeiten.

Bei der sogenannten Vollwellen-Gleichrichtung ohne Anzapfung des Trafos lassen vier Dioden die positive Halbwelle durch und „klappen“ die negative nach oben. Die Dioden stecken meist in einem Brückengleichrichter, dessen Anschlüsse wie im Bild gekennzeichnet sind. Der Strom fließt jeweils durch zwei Dioden, die ihn gleichrichten. Bei der Vollwellen-Gleichrichtung mit Anzapfung des Trafos lassen sich dagegen mit dem Brückengleichrichter symmetrische Ausgangsspannungen erzeugen. Dabei lenken die Dioden die Ströme der Halbwellen an den richtigen Ausgang. In beiden Fällen sind die unterschiedlichen Spannungen bequem messbar – der Kasten informiert über die Einstellungen am Multimeter.

Die Gleichspannung nach dem Gleichrichter muss beim Messen rund 40 Prozent höher sein als die Wechselspannung am Trafo. Die Wechselspannung nach dem Gleichrichter sollte dagegen sehr gering sein und höchstens einige 100 mV betragen. Drei Beispielwerte: Wenn am Trafo eine Wechselspannung (AC) von 14 V anliegt, sind nach dem Gleichrichter 19,5 V Gleichspannung zu messen. Die Wechselspannung nach dem

### Einstellungen am Multimeter für die Spannungsmessung

- in Stellung AC V am Trafo
- in Stellung DC V nach dem Gleichrichter
- in Stellung AC mV nach dem Gleichrichter

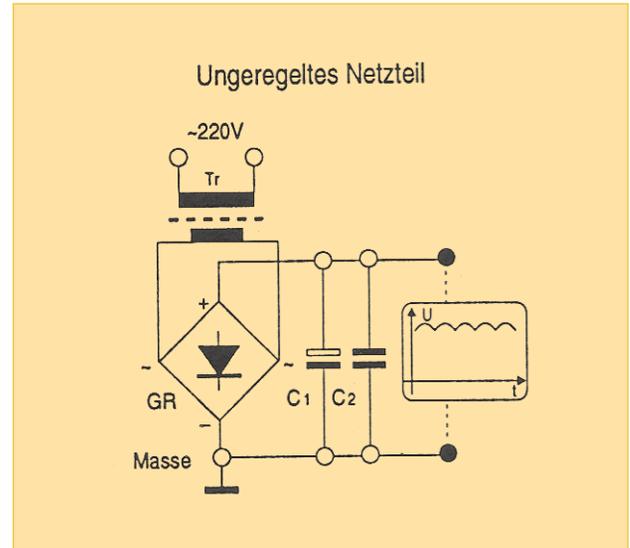


Abb. 9.1 – Vollwellen-Gleichrichterschaltung ohne Trafoanzapfung.

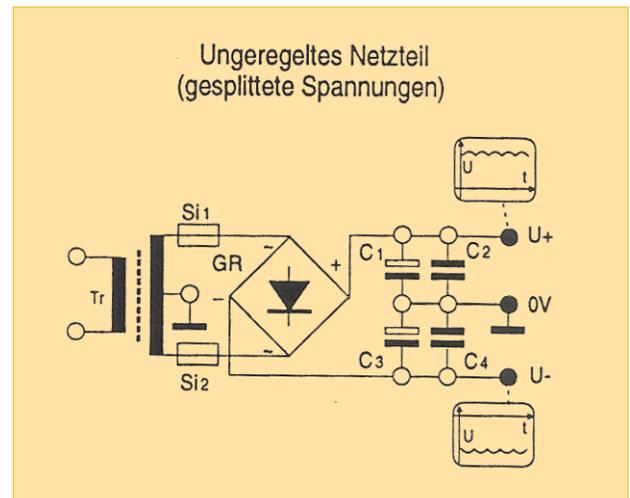


Abb. 9.2 – Die Vollwellen-Gleichrichterschaltung mit angezapftem Trafo generiert symmetrische Ausgangsspannungen.

## 9.1 Stromversorgung bei eingebautem Trafo prüfen

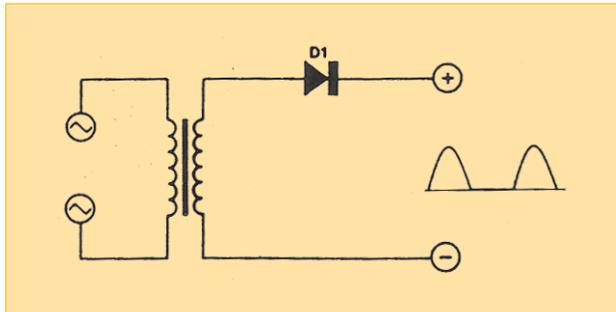


Abb. 9.3 – Der Einweg-Gleichrichter.

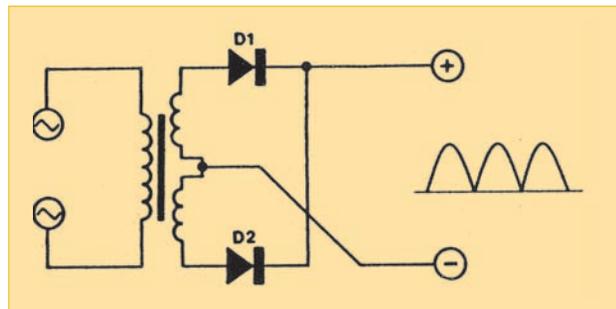


Abb. 9.4 – Der Vollwellen-Gleichrichter mit angezapftem Trafo benötigt nur zwei Dioden.

Gleichrichter liegt dagegen nur bei 150 mV. Trafo und Gleichrichter sind meist relativ gut im Gerät erreichbar. Vorsicht jedoch an der Primärseite des Trafos, da hier die volle Netzspannung anliegt! Die Bilder 9.3, 9.4 und 9.5 zeigen weitere mögliche Gleichrichterkonzepte.

Auf den Gleichrichter folgt nach Abb. 9.6 meist ein sogenanntes Stabi-IC, das die Ausgangsspannung regelt und stabilisiert. An seinem Ausgang lässt sich deshalb die Spannung messen, die der Schaltkreis liefern soll. Eine überlagerte Wechsellspannung darf jetzt kaum mehr messbar sein.

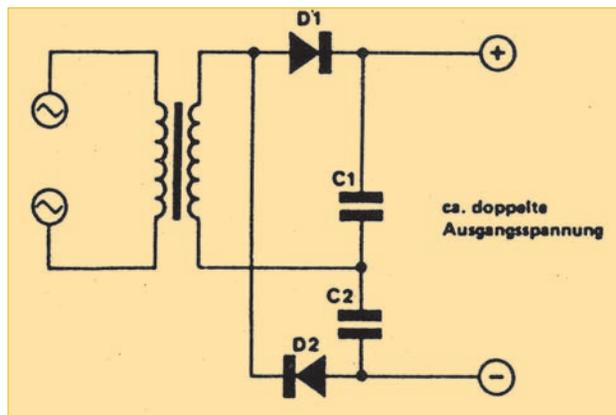


Abb. 9.5 – Gleichrichter-Verdopplerschaltung.

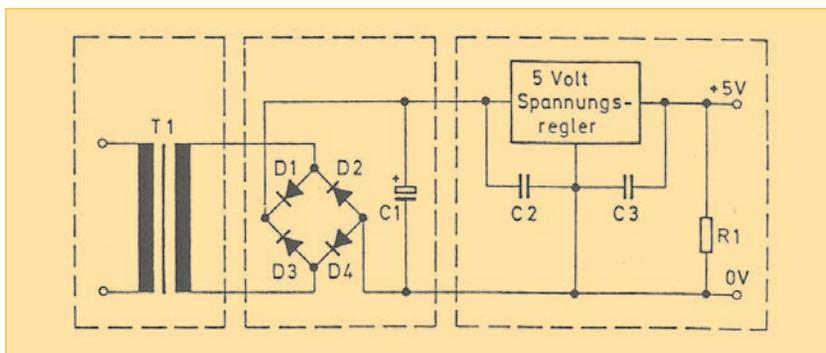
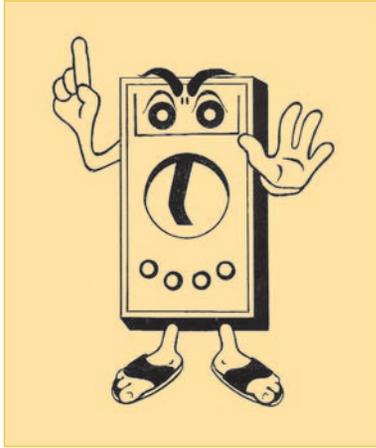


Abb. 9.6 – Standard-Netzteilerschaltung mit 5-V-Stabil-C, das die Ausgangsspannung stabilisiert.

## 9.1 Stromversorgung bei eingebautem Trafo prüfen



Bei Stabi-ICs gibt es eine große Typenvielfalt. Für das Messen spielt das glücklicherweise kaum eine Rolle, weil viele dieser ICs drei Beine besitzen. Ein Anschluss, meist der mittlere, liegt an Masse. Daran sind gegen Masse 0 V messbar. Ein anderer Anschluss erhält die Rohspannung, die auch am Kondensator des Gleichrichters anliegt. Man spricht auch von der IC-Eingangsspannung. Der dritte Anschluss führt die Ausgangsspannung, die deutlich geringer als die IC-Eingangsspannung sein muss. Bei 19,5-V-Rohspannung sollte die Ausgangsspannung 15 V oder 12 V betragen. Beide Spannungen lassen sich an den Anschlüssen des ICs mit dem Multimeter gegen Masse messen.

**Empfohlener Messvorgang bei einer internen Gerätespannung**  
 Gerätespannung von 230 V. Die einschlägigen Sicherheitsvorschriften sind zu beachten.

- Gerät durch Steckerziehen vom 230-V-Netz trennen
- Gerät öffnen
- Kontrolle „mit Auge und Nase“ nach verschmorten Stellen oder verkohlten Bauelementen
- Messpunkte ausmachen: Wo kann ich etwas messen?
- Bei ausgeschaltetem Gerät den Stecker in die Steckdose stecken
- 230-V-Leitungen beobachten: Zeigen sich Fünkchen, oder sind Schmorgeräusche zu hören?
- Gerät einschalten
- Gerät auf Fünkchen, Schmorgeräusche, Wärmeentwicklung und Rauchwölkchen beobachten
- Systematisch messen: erst die interne Betriebsspannungen, danach Arbeitspunktspannungen und eventuell Signalspannungen
- Messergebnisse notieren

### Vorsicht bei hoher interner Betriebsspannung

Nicht alle netzbetriebenen elektronischen Geräte arbeiten intern mit einer Kleinspannung von 12 V oder 24 V. Es gibt auch Geräte, bei denen die interne Betriebsspannung deutlich höher ist. Ganz die Finger sollte man von Röhrenfernsehern lassen, weil die Anodenspannung der Bildröhre bis zu 25 kV betragen kann. Diese hohe Spannung klingt nach Abschalten des Geräts erst über viele Minuten auf einen unbedenklichen Wert ab. Obwohl sie für den Menschen auf Grund eines zu ge-

ringen Stroms nicht unbedingt lebensgefährlich ist, kann sie dem Anwender einen ordentlichen Schreck versetzen. Affektive Körperreaktionen können außerdem weitere, unangenehme Folgen haben. Lebensgefahr besteht dagegen auf jeden Fall beim eingebauten Netzteil des Fernsehers, das üblicherweise eine Spannung von 320 V liefert! Wenn in anderen Geräten dagegen eine Netzspannung von 230 V anliegt, kann man messen – man sollte aber zur Sicherheit besonders vorsichtig sein. Der Kasten informiert, wie vorzugehen ist.

## 9.2 Steckernetzteil auf korrekte Spannung testen

Steckernetzteile gibt es nach Bild 9.7 in vielen verschiedenen Ausführungen. Sie lassen sich bequem testen, indem man die Ausgangsspannungen misst. Vorher lohnt sich ein Blick aufs Typenschild, da sich die Ausgangsspannung durch drei Charakteristika auszeichnen kann: 50-Hz-Wechselspannung mit Netzteil, unstabilierte Gleichspannung als einfacher Gleichrichter und stabilisierte Gleichspannung als Gleichrichter mit Stabi-IC. Man muss also vor dem Messen feststellen, ob die Stellung AC V für Wechselspannung oder DC V für Gleichspannung am Multimeter die richtige ist. Auskunft gibt das Typenschild am Gerät nach Bild 9.8. Besitzt das Netzteil keine stabilisierte Spannung, darf man sich nicht wundern, wenn eine wesentlich höhere Spannung messbar ist als die angegebene. Die einfachen Netzteile sind so dimensioniert, dass sie beim Nennstrom die Nennspannung liefern. Um sich genau davon zu überzeugen und um stabilisierte Netzteile auf Herz und Nieren zu prüfen, ist ein Test unter Belastung zu empfehlen. Dafür kommt ein 100- $\Omega$ -Widerstand infrage. Je nach Strom-Leistungsfähigkeit des Netzteils sollte die Spannung ohne Stabilisierung durch ein Stabi-IC mehr oder weniger deutlich zurückgehen, aber in jedem Fall noch über dem Nennwert liegen.

Beim Steckernetzteil nach Bild 9.8 lassen sich ohne angeschlossenen Stromverbraucher 13,5 V messen und mit einem 100- $\Omega$ -Widerstand 12,5 V (Abb. 9.9 und 9.10). Bei Netzteilen mit Stabi-IC darf dagegen der Spannungsrückgang mit Widerstand nur bei wenigen 10 mV liegen.

Lässt sich am Steckernetzteil keine Spannung messen oder „springt“ die Anzeige hin und her, kann



Abb. 9.7 – Verschiedene Steckernetzteile.



Abb. 9.8 – Das Typenschild des Steckernetzteils informiert über Ausgangsstrom und Ausgangsspannung, in diesem Fall ist es eine Gleichspannung von 9 V.

## 9.2 Steckernetzteil auf korrekte Spannung testen

es sich um einen internen Fehler oder um einen Fehler am Ausgangsstecker handeln. Ist das Netzteil leicht zu öffnen, sollte man deshalb innen am Ausgangskabel die Spannung prüfen. Ist der Wert dort korrekt und stabil, muss man den Stecker kontrollieren und eventuell austauschen.

### Fremdes Steckernetzteil verwenden

Eine böse Falle lauert, wenn man ein Steckernetzteil verwendet, das nicht zum Gerät gehört. Denn die Kleinspannungs-Hohlstecker mit 5,5 mm Außendurchmesser gibt es mit drei verschiedenen Innendurchmessern: 1,5 mm, 2 mm oder 2,5 mm. Das birgt die Gefahr, einen Stecker mit zu großem Innendurchmesser zu erwischen, da auch dieser Stecker ausgezeichnet in die Buchse passt – nur innen gibt es keinen Kontakt, weil der Stift der Buchse zu dünn ist. Neben der Sichtkontrolle des Steckers kann man die Ausgangsspannung des fremden Netzteils überprüfen – ist diese nicht zu groß? Dazu dient das Multimeter, wenn ein Stromverbraucher angeschlossen ist. Auch die Polarität ist so feststellbar, die Adapter leicht verdrehen können. Bild 9.11 zeigt die typische Polarität.



Abb. 9.11 – Typische Polarität an Stromversorgungs-Rundbuchsen.

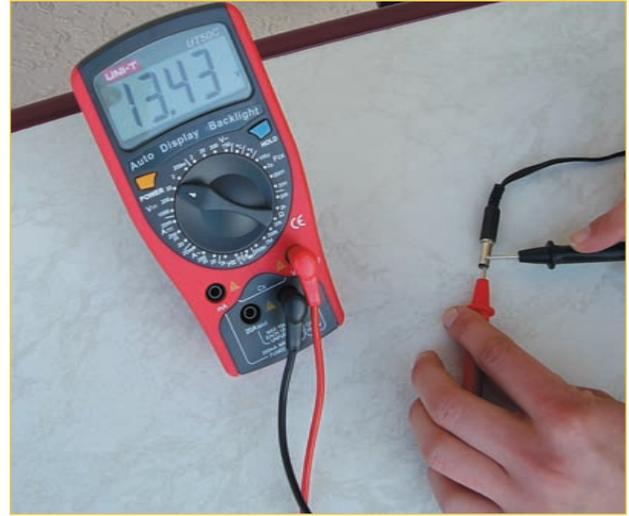


Abb. 9.9 – Die Leerlaufspannung ohne angeschlossenen Stromverbraucher liegt deutlich über den nominellen 9 V.

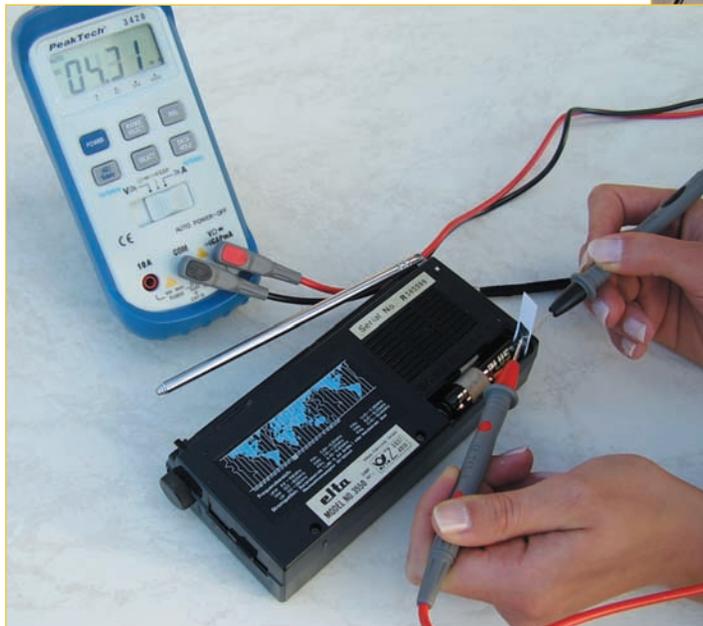
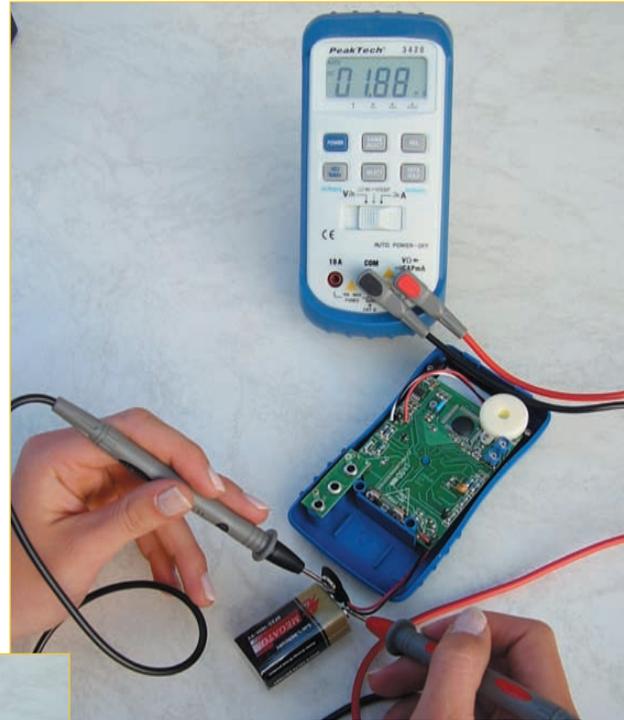


Abb. 9.10 – Auch bei Belastung mit einem 100- $\Omega$ -Widerstand ist die Spannung noch deutlich größer als die auf dem Typenschild angegebenen 9 V.

## 9.3 Fehlersuche bei Batterien oder Akkus

Bei elektronischen Geräten, die mit Batterien oder Akkus laufen, lässt sich bedenkenlos messen. Im Fehlerfall hilft vor allem, den Strom zu überprüfen. Dabei ist folgendermaßen vorzugehen: Bei einer Blockbatterie klemmt man nach Abb. 9.12 nur einen vom Gerät kommenden Kontakt direkt an – der Strom ist zwischen den anderen Kontakten im Stromkreis zu messen. Kommt man an den Einschalter des Geräts heran, ist der Batterie- oder Akkustrom bei ausgeschaltetem Gerät über den Schalterkontakten messbar. Für Rundzellen kann man sich nach Abb. 9.13 aus zwei Streifen Stanniolpapier und einem Streifen Pappe einen Adapter basteln und daran den Strom überprüfen.

**Abb. 9.12** – So kann man den Strom aus einer 9-V-Batterie messen.



**Abb. 9.13** – Der Strom lässt sich auch mit einem selbst gebauten Adapter messen.



## 9.4 Die elektronische Schaltung auf Fehler prüfen

Messen: Auf ihm sind oft zahlreiche Spannungsangaben eingetragen, an denen man sich orientieren kann. Ein Link-Tipp: [www.e-plan.josefscholz.de](http://www.e-plan.josefscholz.de). Jetzt stellt man das Multimeter auf DC V und kontrolliert die einzelnen Arbeitspunktspannungen gegen Masse – also die Spannungen, die an verschiedenen Stellen der Schaltung laut Beschriftung an aktiven Bauelementen anliegen müssen. Ein guter zusätzlicher Fehlerindikator ist dabei oft eine zu hohe Wärmeentwicklung. Dabei lässt man das Gerät eine Weile laufen, trennt es vom Netz und berührt danach die Gehäuse der aktiven Bauelemente mit dem Finger. Alle Temperaturen sollten „erträglich“ sein und bei maximal 40 Grad Celsius

liegen. Nicht selten lassen sich auch ICs oder Module aus der Steckfassung ziehen und separat prüfen, was sich meist auf eine Messung des Widerstands beschränkt.

Egal, ob Trafo oder elektronische Schaltung: Hat man mit der Reparatur des Sat-Receiver oder des CD-Players Schwierigkeiten, bleibt nur der Gang zur Werkstatt oder der Kauf eines neuen Geräts. Entscheidet man sich für die Fachwerkstatt, können die eigenen Messungen helfen, einen vernünftigen Reparaturpreis auszuhandeln. Kann man dem Personal bereits sagen, welche Ursache der Defekt hat, sind die Kosten besser kalkulierbar.

## 9.5 Kopfhörer und Lautsprecherboxen checken

Auch Kopfhörer und Lautsprecher lassen sich leicht mit dem Multimeter prüfen. Dazu benötigt man die Impedanzangabe – eine Widerstandsangabe, die man im Widerstandsmessmodus des Multimeters recht gut erfassen kann: Walkman-Kopfhörer besitzen  $2 \times 16 \Omega$ , Lautsprecherboxen  $4 \Omega$  oder  $8 \Omega$ . Die Impedanz gilt allerdings für Wechselspannung 1 kHz, so dass Abweichungen möglich sind. Die Bilder 9.15 und 9.16 illustrieren die Praxis.

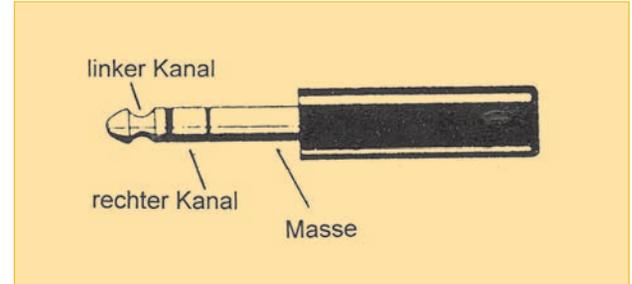


Abb. 9.15 – Dieses Bild zeigt, wie die Anschlüsse eines Stereo-Klinkensteckers belegt sind.

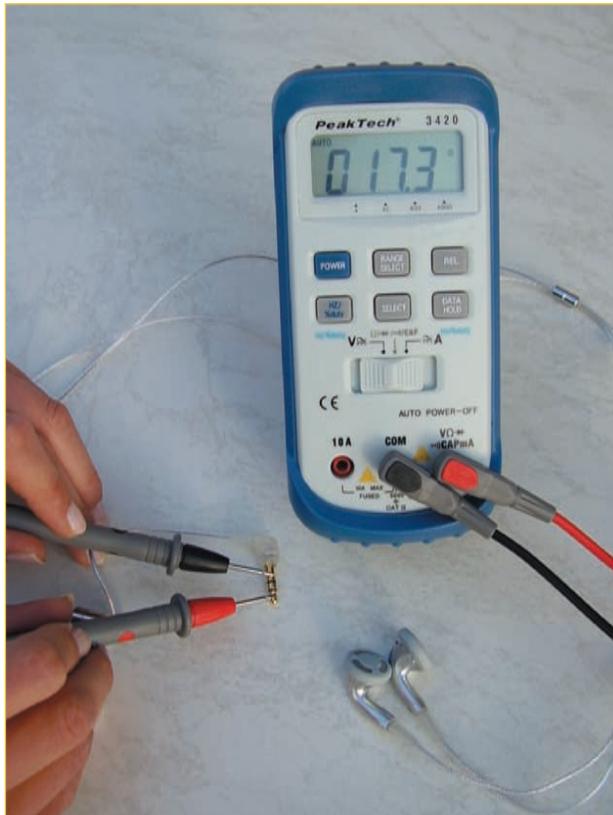


Abb. 9.16 – Diese intakte Walkman-Kopfhörerkapsel hat einen Gleichstromwiderstand von  $17,3 \Omega$ .

## 10 Batterien und Akkus auf dem Prüfstand

**A**kkus und Batterien ermöglichen den netzunabhängigen Betrieb vieler Geräte im Haushalt. Moderne Funkanwendungen wie funkbasierte Türklingel, Funk-Alarmanlage oder funkbasierte Audio-Video-Übertragungssysteme benötigen passende Batterien – und der Bedarf nimmt zu. Was liegt näher, als sich mit dem Multimeter vom elektrischen Zustand einer Batterie oder eines Akkus zu überzeugen (Bild 10.1) und die Aufladung eines Akkus zu überwachen. Batterietechnologien unterscheiden sich vor allem durch die verwendeten Materialien für die beiden Elektroden: Die Anode ist der Plus-, die Kathode der Minuspol. Im Folgenden beschreibt das Buch zunächst unterschiedliche Trockenbatterien und wie man ihren Entladungsgrad feststellen kann.



**Abb. 10.1** – Mit jedem Multimeter lässt sich die Spannung an Batterien und Akkus messen.

## 10.1 Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien

Sind als 1,5-V-Batterien bekannt oder auch als 9-V-Blockbatterien, die aus mehreren Einzelzellen bestehen. Alkali-Mangan-Batterien oder kurz Alkaline-Batterien sind auf Grund ihrer langen Lagerfähigkeit, hohen Kapazität und Belastbarkeit weit verbreitet. Alkali-Mangan-Knopfzellen sind außerdem eine preiswerte Alternative zu Silberoxyd-Knopfzellen. Sie besitzen die gleiche Nominale Spannung, aber andere Spannungs-Charakteristiken bei der Entladung. Im Gegensatz zu Alkaline-Batterien sind Zink-Kohle-Batterien weniger leistungsfähig. Da diese allerdings kaum Geld kosten, werden sie bei Anwendungen mit geringem Stromverbrauch genutzt – Beispiele sind Fernbedienungen oder Digitalmultimeter. Aus einer Alkaline-Batterie erhält man rund dreimal mehr Energie als aus einer gleichgroßen Zink-Kohle-Batterie. Sie ist deshalb deutlich langlebiger, was den höheren Preis rechtfertigt. Der Grund ist nach Abb. 10.2 die höhere Kapazität, die zur Fläche unter den Entladekurven proportional ist.

### Entladungsgrad einer 9-V-Blockbatterie feststellen

Die gemessene Leerlaufspannung (ohne angeschlossenen Stromverbraucher) informiert darüber, wie sehr sich die Batterie entladen hat. Über diesen Entladungsgrad kann man mit Hilfe des Kastens auf ihren Nutzwert schließen. Eine Zelle einer Zink-Kohle- oder Alkali-Mangan-Batterie hat eine Nennspannung von 1,5 V, in einer 9-V-Blockbatterie stecken deshalb sechs Zellen. Je nach Gerät lassen sich die Zellen noch bis etwa 0,9 V Spannung nutzen. Im Bild 10.3 liefert die Batterie etwa 8 V, das sind 1,33 V pro Zelle – die 9-V-Batterie ist damit brauchbar.

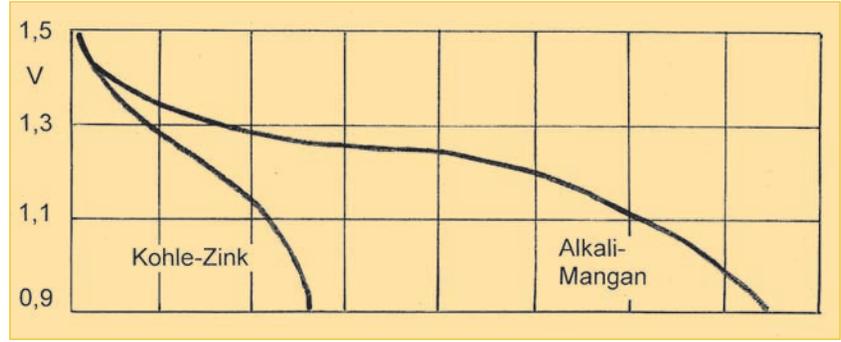


Abb. 10.2 – Typisches Entladeverhalten von Zink-Kohle- und Alkali-Mangan-Batterien.

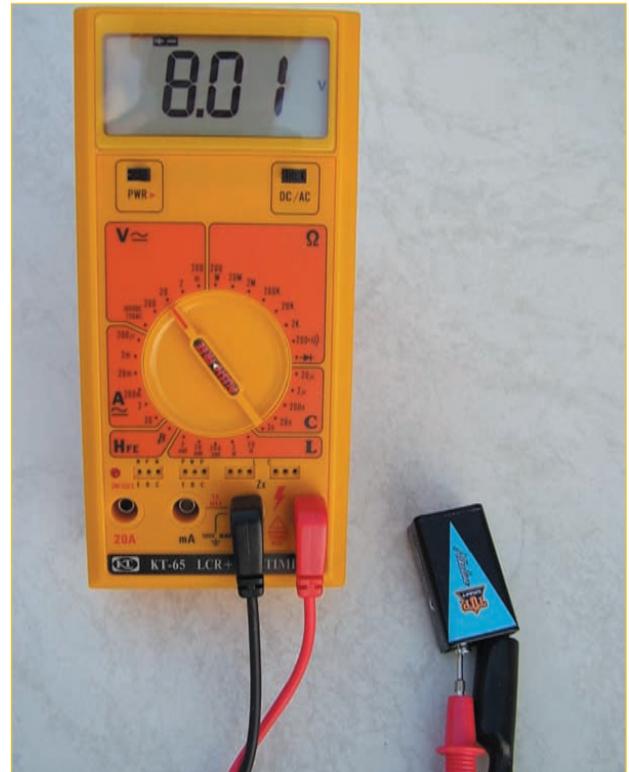


Abb. 10.3 – An einer älteren 9-V-Batterie liegt die Leerlaufspannung ohne angeschlossenen Stromverbraucher bei 8 V.

## 10.1 Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien

Gemessene Leerlaufspannung pro Zelle	Nutzwert der Zink-Kohle- und Alkali-Mangan-Batterie
über 1,55 V	sehr gut
1,4 V bis 1,55 V	gut
1,2 V bis 1,4 V	brauchbar
1 V bis 1,2 V	noch brauchbar

Wer über ein Sortiment an Widerständen verfügt, kann die Höhe der Entladung auch mit einer indirekten Strommessung bestimmen: einfach einen Widerstand mit bekannter Größe parallel zu den Batteriepolen schalten und darüber die Spannung messen. Aus beiden Werten lässt sich mit dem Ohmschen Gesetz der fließende Strom errechnen. Bei kleinen Batterien sollten in diesem Stromkreis rund 10 mA und bei großen Batterien rund 100 mA Strom fließen. Bei unserer 9-V-Batterie haben wir nach Abb. 10.4 einen Widerstand  $150 \Omega$  gewählt und darüber 6,6 V Spannung gemessen. Nach dem Ohmschen Gesetz  $I = U / R$  fließt damit ein Strom von  $6,6 \text{ V} / 150 \Omega = 44 \text{ mA}$ . Das Kapitel *Richtig messen leicht gemacht* beschreibt im Unterkapitel *Messen ohne Leitung auftrennen* diese indirekte Strommessung ausführlich.

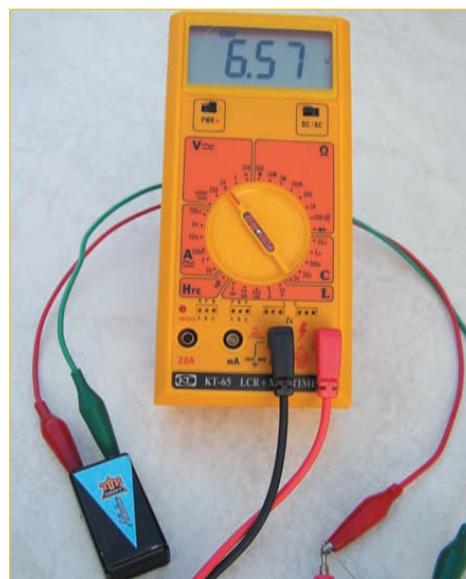


Abb. 10.4 – Bei Belastung mit einem  $150\text{-}\Omega$ -Widerstand geht die Spannung „in die Knie“.

Unterschiedliche Blockbatterien			
Bezeichnung	IEC-Bezeichnung	sonstige Bezeichnung	Maße in mm
Flachbatterie (Zink-Kohle)	3 R 12	-	62 x 22 x 67
6 V Flat Pack (Alkali-Mangan)	4 LR 61	-	48,5 x 35,6 x 9,2
9 V EBlock (Zink-Kohle)	6 F 22	-	26,5 x 17,5 x 48,5
9 V EBlock (Alkali-Mangan)	6 LR 61	6 AM 6	26,5 x 17,5 x 48,5

## 10.2 Lithiumbatterien

**B**eruhren auf Lithium in verschiedenen Kombinationen mit anderen Materialien. Sie lassen sich mit mindestens zehn Jahren sehr lange lagern und können hohe Ströme liefern. Anwendungen sind die „Stützbatterie“ im Computer, professionelle Fototechnik, Funk-Garagentoröffner oder die Funk-Autoverriegelung. Die Nennspannung einer traditionellen Lithiumbatterie beträgt 3 V. Abb. 10.5 zeigt die typische Ausführung, die wie eine etwas dickere runde Scheibe aussieht. Es gibt auch Lithiumbatterien mit anderen Formen und Spannungen, die die Abb. 10.6 bis 10.8 zeigen.

Wie bei den Zink-Kohle- und Alkaline-Batterien informiert die Leerlaufspannung (ohne ange-



Abb. 10.5 – 3-V-Lithium-Batterie.



Abb. 10.6 – 6-V-Lithiumbatterie für Fotozwecke.



Abb. 10.7 – Lithiumtechnologie in einer 9-V-Blockbatterie.



Abb. 10.8 – Zwei Lithiumbatterien mit je 1,5 V.

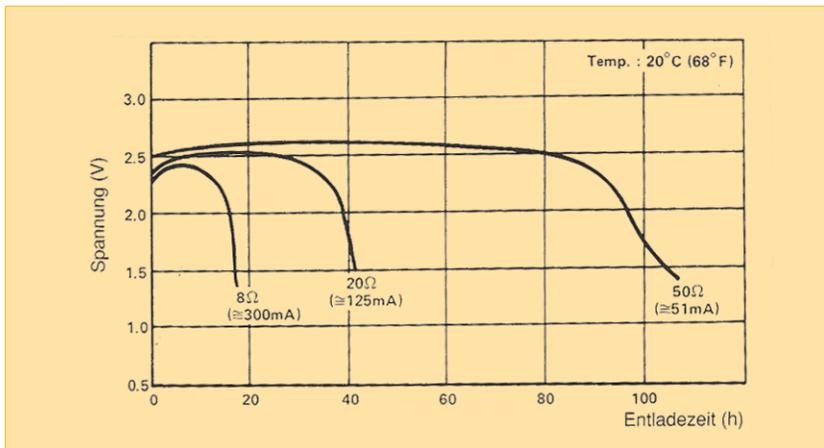


Abb. 10.9 – Entladekurven von Lithiumbatterien: Typisch ist die zu Beginn steigende Spannung.

schlossenen Stromverbraucher) über den Entladungsgrad. Alternativ lässt sich auf den Entladungsgrad schließen, wenn man die Batterie mit einem Widerstand von einigen 10  $\Omega$  bis 100  $\Omega$  belastet. Dabei darf die gemessene Spannung nur unwesentlich abfallen. Bild 10.9 zeigt die Entladekurven: Die steigende Spannung zu Beginn der Entladung ist ein typisches Kennzeichen der Lithiumzelle.

## 10.3 Silberoxydbatterien für Armbanduhr und Fotoapparat

Silberoxydbatterien sind als Knopfzelle in fast jede elektronische Armbanduhr eingebaut. In konventioneller Form findet man sie außerdem viel im Fotobereich. Der Entladungsgrad lässt sich wie bei den Vorgängermodellen feststellen, indem man die Leerlaufspannung (ohne angeschlossenen Stromverbraucher) misst. Die Nennspannung der Silberoxydzellen beträgt 1,55 V. Fotobatterien besitzen vier Zellen und kommen so auf 6 V. Die Tabelle informiert über den Nutzwert der Batterien in

Abhängigkeit von der gemessenen Leerlaufspannung, wenn die Nennspannung bei 1,55 V liegt.

Silberoxydbatterien sind zwar langlebig, lieben es aber, ihren Strom kontinuierlich über die Zeit abzugeben. Eine Belastung mit einem Widerstand ist zwar möglich,

sollte aber deshalb bei den kleinen Knopfzellen nur so kurz wie möglich sein! Die gemessene Spannung darf dabei nur unwesentlich abfallen. Ein guter Messwert für die Knopfzelle an einem 1-k $\Omega$ -Widerstand ist 1,4 V.

gemessene Leerlaufspannung	Nutzwert der Silberoxydbatterie
über 1,55 V	sehr gut
1,5 V bis 1,55 V	gut
1,4 V bis 1,5 V	brauchbar
1,3 V bis 1,4 V	noch brauchbar

## 10.4 Zink-Luft-Batterien für Hörgeräte

Diese Batterien sind vor allem in Hörgeräten montiert und besitzen eine sehr hohe „Energiedichte“, also Kapazität pro Volumeneinheit. Das hat aber auch Nachteile: Damit die Batterie lagerfähig ist, versiegelt sie der Hersteller nach Abb. 10.10 luftdicht. Man darf sie erst kurz vor Gebrauch entnehmen, und nach kurzer Zeit ist sie einsatzfähig. Die Nennspannung einer Zink-Luft-Zelle beträgt 1,4 V. Um den Entladungsgrad festzustellen, ist wie bei allen anderen Batterien die Leerlaufspannung zu messen.



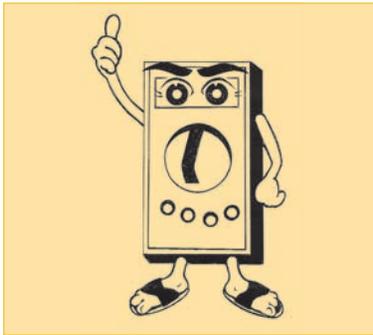
Abb. 10.10 – Zink-Luft-Batterien sind luftdicht verpackt.

## 10.5 Günstige Batterien so gut wie teure?

Die Zeitschrift *Guter Rat* informierte in der Ausgabe 3/2007 über einen großen Test von Mignon- und Micro-Batterien. Ein MP3-Player, eine Taschenlampe und eine Digitalkamera wurden damit so lange betrieben wie es ging. Die Preisunterschiede pro Ampere-stunde waren gewaltig. Das Fazit von *Guter Rat*: „Sie können bedenkenlos bei Aldi, Lidl, Penny, Plus

und Rossmann die günstigen No-Name-Batterien kaufen. Sie bringen ebenso viel Leistung wie die teureren Markenbatterien, zum Teil sogar mehr – und das zu einem Bruchteil

des Preises.“ Ob Batterie und Gerät lange funktionieren, hängt auch vom Umgang ab – der Kasten gibt Tipps.



### Tipps zum Umgang mit Einwegbatterien

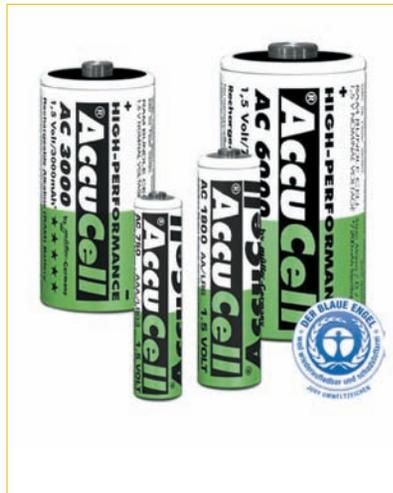
- Im Gerät erschöpfte Batterien wegen Auslaufgefahr unverzüglich gegen neue austauschen.
- Nur Batterien gleichen Typs und mit gleichem Entladungsgrad zusammen verwenden.
- Um die Selbstentladung gering zu halten, sind die Batterien bei möglichst niedriger Temperatur zu lagern.
- Obwohl Batterien in Messgeräten meist jahrelang halten, sind wegen Auslaufgefahr Kohle-Zink-Batterien jährlich und Alkali-Mangan-Batterien alle zwei Jahre zu ersetzen.
- Zur Kontrolle kann man ins Batteriefach einen Zettel mit dem Verwendungsdatum legen.
- Bei Rundzellen ist der richtige Anschluss zu beachten.
- Laut Gesetz sind Batterien nach Gebrauch bei einer Batteriesammelstelle abzuliefern oder der Verkaufsstelle zurückzubringen.

## 10.6 AccuCell ersetzt Einwegbatterie

AccuCell ist die Produktbezeichnung für eine wieder aufladbare Alkali-Mangan-Batterie, die Einwegbatterien ersetzen kann. Sie ist gefahrlos aufladbar und entlädt sich kaum selbst – ein großes Plus gegenüber herkömmlichen Akkus. AccuCell-Batterien (Bild 10.11) erreichen eine deutlich höhere Speicherkapazität als Nickel-Cadmium-Akkus und sind fast schadstofffrei. Mit den traditionellen Akkusystemen kann AccuCell trotzdem nicht konkurrieren, weil dieser Batterietyp keine hohen Ströme liefern kann. Laut Tabelle kann eine „dicke“ Monozelle deshalb nicht sechs Stunden lang ein Ampere liefern, also 6 Amperestunden, wohl aber 100 Stunden lang 60 mA. Kurz zur Erinnerung: Die Speicherkapazität oder einfach Kapazität einer Batterie wird in „Ah“ angegeben, das steht für „Ampere mal Stunden“. Die 6-Ah-Monozelle kann also auch 60 Stunden lang 100 mA liefern. Die Obergrenze des Stroms liegt bei der Monozelle bei 400 mA, die sie 15 Stunden lang abgeben kann. Die Nennspannung von AccuCell-Batterien liegt bei 1,5 V. Um sie laden zu können, braucht man ein spezielles Ladegerät, übliche Batterielader scheiden aus. Bild 10.12 zeigt ein Gerät, das Micro- und Mignon-Batterien laden kann, der Anschaffungspreis liegt bei 20 Euro.

**Die vier Typen von AccuCell-Batterien**

Typ	Kapazität	maximaler Strom
Micro AAA	750 mAh	50 mA
Mignon AA	1,8 Ah	100 mA
Baby C	3 Ah	200 mA
Mono D	6 Ah	400 mA



**Abb. 10.11** – Die Familie der AkkuCell-Batterien.

### Entladung verringert Kapazität: Was tun?

Bei AccuCell-Batterien schrumpft mit der Zahl der Entladungen kontinuierlich die Kapazität. Nach 100 Ladungen/Entladungen hat sich die Kapazität ungefähr halbiert. Der Hersteller gibt deshalb mit 25 bis 500 Entladungen/Ladungen einen hohen Bereich an. Der Anwender muss sich entscheiden, bis zu welcher Kapazität er die Batterie



**Abb. 10.12** – AccuCell-Batterien lassen sich nur mit einem speziellen Ladegerät aufladen.

verwenden möchte. Um die Kapazität zu kontrollieren, kann man die Batterie durch einen Widerstand belasten und stündlich die Spannung messen. Umso weniger dabei die Spannung abfällt, desto größer ist die Kapazität. Die zu verwendenden Widerstandswerte sind laut Tabelle von der Batterie abhängig. Bild 10.13 zeigt Entladekurven.

## 10.6 AccuCell ersetzt Einwegbatterie

Bei Kapazitätsprüfung zu verwendende Widerstände	
AccuCell-Batterietyp	Widerstand
Micro AAA	150 $\Omega$
Mignon AA	68 $\Omega$
Baby C	max. 33 $\Omega$
Mono D	max. 15 $\Omega$

Bezeichnungen und Maße von Rundbatterien			
Bezeichnung	IEC-Bezeichnung	sonstige Bezeichnung	Maße in mm
Lady	R 1	N/SUM 5/AM 5	12 x 30,2
Micro	R 03	AAA/SUM 4/AM 4	10,5 x 44,5
Mignon	R 06	AA/SUM 3/AM 3	14,5 x 50,5
Baby	R 14	C/SUM 2/AM 2	26,2 x 50
Mono	R 20	D/SUM 1/AM 1	34,2 x 61,5

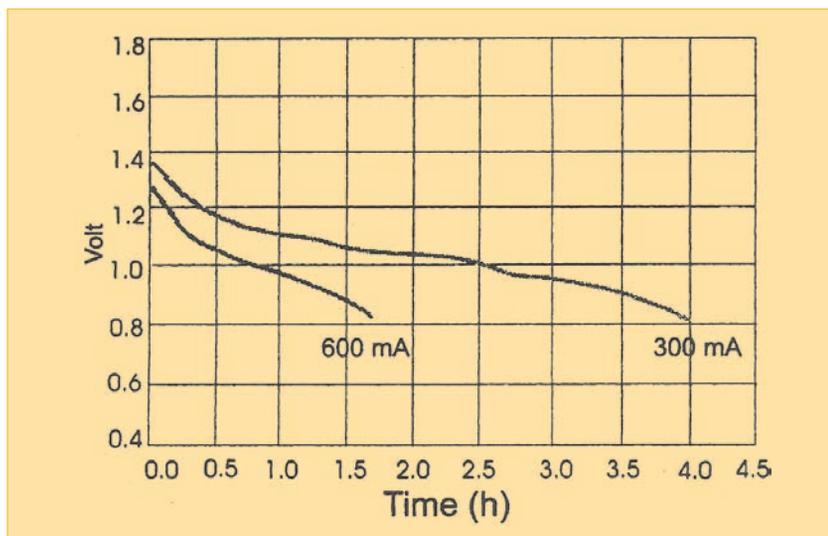


Abb. 10.13 – Zwei Entladekurven von AccuCell-Batterien.

## 10.7 Bleiakku als Autobatterie

**B**leiakkus sind die ältesten Akkus und als Autobatterien bekannt. Sie liefern hohe Ströme, sind preiswert und wegen des Bleis schwer. Die Leerlaufspannung einer gut geladenen Bleiakkezelle beträgt 2,4 V, ein 12-V-Akku besitzt also fünf Zellen. Liegt die Spannung des Akkus unter 9,25 V, was 1,85 V einer Zelle entspricht, ist er zu laden – und das ist einfach: Man lädt ihn zwölf Stun-

**Abb. 10.14** – Ladung eines 12-V-Bleiakkus mit einem selbst gebauten kurzschluss sicheren 15-V-Festspannungs-Netzteil. Den Ladestrom zeigt das kleine Einbau-Instrument an, mit dem Multimeter kontrolliert man die Akkuspannung.



den lang mit einem Strom der Größe  $Ah / 10$ . Ein 40-Ah-Akku wird also mit einem Strom von 4 A geladen. Mehr Ladestrom bei weniger Zeit oder weniger Ladestrom bei mehr Zeit sind möglich. Gibt das Netzteil beispielsweise 2 A ab, ist der 40-Ah-Akku 20 Stunden lang zu laden. Dabei ist darauf zu achten, dass man ihn nicht mitten in der Nacht abschalten muss. Die Spannung des Akkus sollte nach

**Abb. 10.15** – Der Ladestrom, den das Multimeter anzeigt, sinkt mit der Zeit durch die sich am Akku aufbauende Spannung.

## 10.7 Bleiakku als Autobatterie

dem Laden pro Zelle bei maximal 2,8 V liegen, was 14 V beim kompletten 12-V-Akku entspricht. Sie fällt wieder auf etwa 2,4 V, wenn man das Ladegerät abklemmt.

### Gleichspannungs-Netzteil als Ladegerät

Um den Bleiakku zu laden, genügt ein Gleichspannungs-Netzteil, das einen genügend hohen Strom bei ausreichender Spannung liefert. Bei unserem 12-V-Akku mit 40 Ah muss das Netzteil 15 V und einige Ampere abgeben können – mindestens 2 A sind wünschenswert, damit sich der Ladevorgang nicht unnötig in die Länge zieht. Die Höhe des Stromflusses lässt sich mit dem Multimeter kontrollieren. Man steckt es in den Stromkreis und schaltet es zum Ablesen ein. Mit diesem Multimeter kann man nach Abb. 10.14 selbstverständlich auch die Spannung messen, nicht nur den Ladestrom (Bild 10.15).

### Wie lange liefert der Bleiakku Strom?

Abb. 10.16 zeigt anhand von Kurven das Entladeverhalten des

12-V-Bleiakkus. Danach lässt sich berechnen, wie lange der Akku Strom liefert, wenn ein Gerät angeschlossen ist. Die Angabe 2C unter der linken Kurve steht für  $2 \times \text{Ah}$ , 0,05C unter der ganz rechten Kurve für  $0,05 \times \text{Ah}$ . Die linke Kurve besagt, dass der Akku einen sehr hohen Strom von  $2 \times \text{Ah}$  nur wenige Minuten abgeben kann. Einen sehr niedrigen Strom von  $0,05 \times \text{Ah}$  kann er dagegen nach der rechten Kurve über 10 Stunden liefern. Die

übrigen Stromwerte liegen zeitlich dazwischen. Nehmen wir als Beispiel wieder den 40-Ah-Akku: Nach der linken Kurve kann er  $2 \times 40 \text{ Ah} = 80 \text{ A}$  nur knapp 5 Minuten abgeben. Belastet man den Bleiakku dagegen nach der rechten Kurve mit einem geringen Strom von  $0,052 \times 40 \text{ Ah} = 2 \text{ A}$ , liefert er diesen bei 12 V zehn Stunden lang – über 11 V Spannung stehen sogar für 20 Stunden bereit.

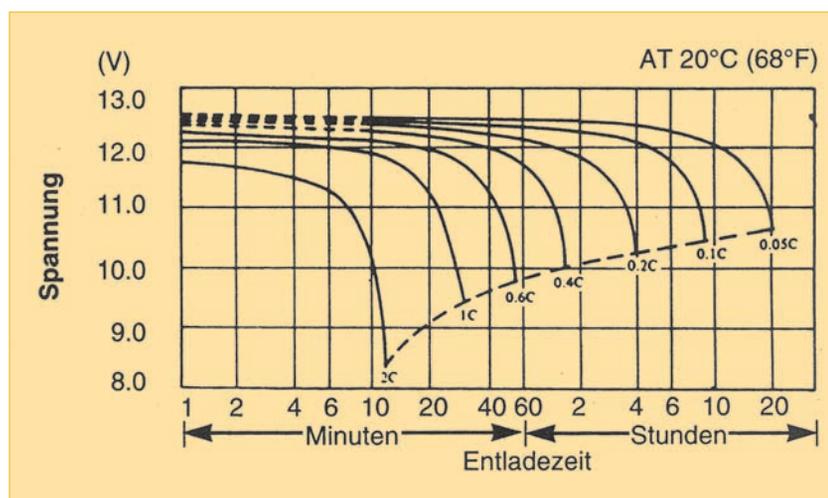


Abb. 10.16 – Entladeverhalten eines 12-V-Bleiakkus.

## 10.8 Bleigelakkus für hohe Ströme

**B**leigelakkus sind moderne Abkömmlinge des Bleiakkus und ebenfalls sehr stromergiebig. Ein Kurzschluss ist deshalb unbedingt zu vermeiden! Diese Akkus besitzen eingedickte Schwefelsäure, das Gel, und ein gasdicht geschlossenes und nicht zu öffnendes Gehäuse. Sie sind in viele kommerzielle Anwendungen eingebaut. Hierzu gehören blinkende Warnleuchten an Baustellen, Parkautomaten oder Notrufsäulen. Sie lassen sich auch im Hobby, Modellbau oder im Funkbe-

reich vielseitig einsetzen. Da die Nennspannung pro Zelle 2,1 V beträgt, besteht der Bleigelakku aus sechs Zellen, die zusammen eine Akku-Nennspannung von 12,6 V ergeben. Die Hersteller geben rund 200 Ladungen/Entladungen an. Zum Laden kommt wie bei Bleiakku ein Gleichstromnetzteil infrage. Da ein 12-V-Bleigelakku eine Nennspannung von 12,6 V besitzt, sollte man ihn unter 10 V aufladen, spätestens aber bei 8,75 V.

## 10.9 Nickel-Cadmium- und Nickel-Metall-Hybrid-Akkus

Sind besonders in der Größe einer Mignonbatterie bekannt. Der Nickel-Cadmium-Akku (NiCd) hat als gasdichte Rundzelle Karriere gemacht. Die Hersteller versprechen nicht zu viel, wenn sie ein tausendfaches Entladen/Wiederaufladen zusichern. Nickel-Metall-Hybrid-Akkus (NiMH) laufen trotzdem den Nickel-Cadmium-Typen immer mehr den Rang ab. Das hat drei Gründe: Sie sind umweltfreundlicher, besitzen die rund doppelte Kapazität und kennen keinen Memory-Effekt. Dieser verringert die Kapazität des Akkus, wenn er mehrmals geladen wird, ohne vorher vollständig entladen worden zu sein. Der Akku merkt sich quasi die geringere Lademenge und verhält sich so, als ob er nur noch diese fassen kann.

### Spezielles Ladegerät erforderlich

NiCd- und NiMH-Akkus sind am besten mit einem speziellen Ladegerät aufzuladen. Das beugt bei Nickel-Cadmium dem Memory-Effekt vor und verhindert bei Nickel-Metall-Hybrid-Akkus eine Überladung. Das in Bild 10.17 gezeigte Ladegerät entlädt nach Druck auf das blaue Knöpfchen die Akkus definiert. Nickel-Metall-

Hybrid-Akkus arbeiten dank Mikroprozessor vollautomatisch, so dass man sich um nichts zu kümmern braucht. Ist die Ladung beendet, lassen sich die Akkus mit einem klei-

nen Ladestrom „frisch“ halten. Die Nominalspannung einer NiCd- oder NiMH-Zelle beträgt 1,2 V. Mit dem Multimeter lässt sich der aktuelle Ladezustand überprüfen.



Abb. 10.17 – Praktisches vollautomatisches Ladegerät für Nickel-Cadmium- und Nickel-Metall-Hybrid-Akkus.

### Prüfen des Ladezustands eines NiCd- oder NiMH-Akku

Gemessene Spannung einer Zelle	Maßnahme
weniger als 0,9 V	zu stark entladen, möglichst schnell aufladen
0,9 V bis 1,1 V	vor Gebrauch aufladen
1,1 V bis 1,2 V	einsatzfähig
über 1,2 V	voll geladen, längste Betriebsdauer gewährleistet

## 10.10 Lithium-Ionen-Akkus speichern lange Strom

Die Lilo-Akkus tauchten kurz nach den NiMH-Akkus am Markt auf. Lithium ist das ideale Anodenmaterial. Der Vorteil der äußerst geringen Selbstentladung der Lithiumbatterie konnte zwar nicht voll auf die Akkus übertragen werden. Doch während Nickel-Cadmium und Nickel-Metall-Hydrid schon nach Wochen Ermüdungserscheinungen zeigen, können Lilo-Akkus ihre Energie einige Jahre lang festhalten. Selbst Bleiakkus bleiben nicht so lange „frisch“.

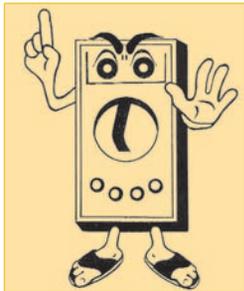
### Besonderes beim Laden

Lithium-Ionen-Akkus werden erst mit konstantem Strom und danach mit einer konstanten Spannung geladen. Das klappt ungefähr 500-mal recht gut. Jedes Laden, auch kurzes Nachladen, registriert der Akku dabei als vollständiges Laden. Die Geräte besitzen eine Nennspannung von 3,7 V und sollten nicht unter 3,5 V entladen sein. Sie kommen als produktspezifisches „Pack“ daher, beispielsweise für den Fotobereich nach Abb. 10.18, und sie finden

sich in vielen mobilen Geräten wie Mobiltelefonen. Auch in stromintensive Anwendungen wie Rasentrimmer oder Bohrhammer sind die Lilo-Kraftpakete eingebaut.



Abb. 10.18 – Lilo-Akku für Fotoanwendungen.



### Kleiner Batterien- und Akku-Knigge

- Kurzschlüsse unbedingt vermeiden.
- Batterien und Akkus auf keinen Fall öffnen! Eine Ausnahme sind Bleiakkus mit Schraubverschlüssen, um destilliertes Wasser nachzufüllen.
- Wieder aufladbare und nicht wieder aufladbare Batterien nicht zusammen einsetzen.
- Stets auf den richtigen Anschluss des Plus- und Minus-Pols achten.
- Verbrauchte Batterien und entladene Akkus sind aus dem Gerät zu nehmen.
- Nicht mehr genutzte Batterien und Akkus nicht in den Hausmüll werfen, sondern an spezielle Abnehmer wie Drogeriemärkte und Kaufhallen abgeben.

### Bei Batterien und Akkus zu messende Spannungen

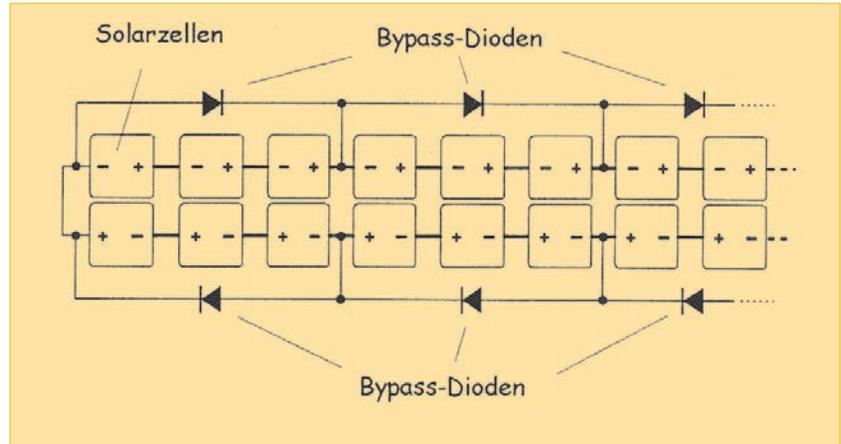
Stromspeichersystem	Nennspannung	Entladespannung Nennwert/möglich/zulässig
Alkali-Mangan	1,5 V	1,2 V / 0,9 V / 0,75 V
Kohle-Zink	1,5 V	1,2 V / 0,9 V / 0,75 V
Lithiumbatterie	diverse	
Silberoxidbatterie	1,55 V	1,4 V / 1 V / 0,9 V
NiCd-Akku	1,2 V	1 V / 0,9 V / 0,75 V
NiMH-Akku	1,2 V	1 V / 0,9 V / 0,75 V
Bleiakku	2 V	1,9 V / 1,7 V / 1,6 V
Bleigelakku	2 V	1,9 V / 1,7 V / 1,6 V
Lilo-Akku	3,7 V	3,6 V / 3,5 V / 3,4 V

## 11 Solarstrom mit Multimeter optimal nutzen

Von der Hausversorgung bis zur Solarleuchte: Die Photovoltaik erschließt immer mehr Anwendungsbereiche. Nicht nur große Solarflächen auf dem Dach boomen, auch viele kleine Anwendungen laufen mit Sonnenstrom – mit vielen Vorteilen: So entfällt bei batteriebetriebenen Geräten das ständige Auswechseln der Batterien, oder anstelle einer kostspieligen Stromleitung durch den Garten übernimmt eine Mini-Solaranlage die Stromversorgung. Auch im Schrebergarten oder Wochenendhaus kann Sonnenstrom viele Vorteile bieten. Das Multimeter ist dabei ein unentbehrliches Werkzeug. Grundbausteine sind Solarpanels oder Solarmodule, die aus vielen Solarzellen bestehen. Für kleine Experimente oder Spielereien erhält man Solarzellen auch einzeln. Jede Solarzelle liefert knapp 0,5 V Span-

## 11 Solarstrom mit Multimeter optimal nutzen

nung, die sich durch das Zusammenschalten der Zellen in Reihe erhöht. Um die Nennspannung weiter zu erhöhen, lassen sich außerdem mehrere Solarmodule zusammenschalten. Abb. 11.1 zeigt die mögliche innere Struktur eines Solarpanels: Die Solarzellen sind in Reihe geschaltet und als Dreiergruppen von sogenannten Bypassdioden überbrückt, die vor dem Hot-Spot-Effekt schützen. Dabei entwickelt sich eine stark beschattete Solarzelle im Modul zur Kochplatte und bringt die Vergussmasse zum



**Abb. 11.1** – Die Solarzellen sind in Reihe geschaltet, so dass sich ihre Nennspannung erhöht. Die Dioden sind normalerweise stromlos.



**Abb. 11.2** – Diese leistungsfähige Solaranlage speist auch elektrische Energie ins öffentliche Stromnetz ein.

Schmelzen. Die Ursache kann bereits ein einzelnes Blatt sein.

Wie groß eine Solaranlage ist, hängt vom Strombedarf ab. Eine hohe Leistung ist bei einer alternativen Hausversorgung zu empfehlen, eine mittlere Leistung für einzelne Anwendungen und kleinste Leistungen für Mini-Stromverbraucher. Das obere Extrem bilden nach Abb. 11.2 große, fast komplett mit Solarpanelen bedeckte Dächer. Mit einem einzigen Panel kommen Einzelanwendungen wie Teichpumpen, Lüftungssysteme, Ladegeräte oder Solarleuchten in unterschiedlichsten Varianten aus (Bilder 11.3 und 11.4). Die Akkus der Solarleuchten laden sich tagsüber auf, um nachts den Strom für das Licht

## 11 Solarstrom mit Multimeter optimal nutzen



**Abb. 11.3** – Solar-Lüftungssystem fürs Gewächshaus. (Conrad)



**Abb. 11.4** – Mit einem Solarladegerät ist man vollkommen unabhängig vom Stromnetz. (Conrad)

zu spenden. In der Pflastersteinleuchte nach Abb. 11.5 sind zwei Nickel-Cadmium-Akkus eingebaut.



**Abb. 11.5** – Solarzellen, Lampe, Akkus: Dieser Pflasterstein hat es in sich. (Conrad)

### Übersicht über unterschiedliche Solarleuchten

- Leuchtkugeln
- Wandstrahler
- LED-Lichterketten
- Schilderleuchten
- Hausnummer-Leuchten
- Pflasterstein-Leuchten

## 11.1 Wie erzeugt die Solarzelle den Strom?

**D**ie Solarzelle ist ein aktiver Siliziumhalbleiter, der Sonnenlicht in elektrischen Strom umwandelt. Da sie eine positiv und eine negativ dotierte Schicht besitzt, ist sie mit einer Diode vergleichbar. Wenn Photonen auf ihre Fläche treffen, setzen die obere Negativschicht der Solarzelle und die untere Positivschicht Ladungsträger frei. Diese wandern in das mittlere elektrische Feld, so dass sich auf der Sonnenseite der Solarzelle und an

ihrer Rückseite ein elektrisches Potenzial oder die elektrische Spannung bildet. Eine belichtete Solarzelle funktioniert dabei ähnlich wie eine Batterie, sie ist allerdings vom Sonnenlicht abhängig: Scheint viel Sonne auf das Panel, ist ein hoher Strom möglich. Schließt man ein elektrisches Gerät an eine Solarzelle an, sollten Lichtverhältnisse und Leistung harmonisieren.

## 11.2 Kristalline Solarzellenmodule

Im Bereich hoher, mittlerer und kleiner Leistung sind Solarmodule mit kristallinen Solarzellen anzutreffen (Bild 11.6). Kristallin meint, dass das Material aus Kristall besteht und seine Atome eine geordnete Struktur besitzen. Man unterscheidet außerdem monokristalline und polykristalline Solarzellen. Monokristalline Zellen bestehen aus einem Kristall, dessen Atome ein einheitliches, homogenes Kristallgitter bilden. Polykristalline Solarzellen bestehen dagegen aus vielen kleinen einzelnen Kristallen. Monokristalline Zellen werden ähnlich wie Dioden, Transistoren und

integrierte Schaltungen oder Computerchips hergestellt – und das ist teuer. Etwas preiswerter sind die polykristallinen oder multikristallinen Siliziumsolarzellen. Da ihr Wirkungsgrad kaum geringer als bei monokristallinen Zellen ist, sind sie vom Preis-Leistungs-Verhältnis her zu empfehlen. Es gibt sogar viele monokristalline Solarmodule, die einen deutlich geringeren Wirkungsgrad besitzen als manche polykristallinen Module. Je größer das Modul, umso mehr Leistung erhält man außerdem für sein Geld.

Das im Kasten beschriebene Solarmodul eignet sich gut zum

Laden von Akkus oder zum Direktbetrieb von Wasserpumpen. Es besitzt vorn wetterfestes Laminat aus gehärtetem Glas und eine Rückseite mit Kunststoffolie. Die Montage ist durch den umlaufenden Aluminiumrahmen leicht und sicher. Der elektrische Anschluss erfolgt über einen rückseitigen Anschlusskasten. Bei rund 50 Euro Anschaffungspreis liefert das Modul maximal 5 W, was aber an drei Bedingungen geknüpft ist: eine optimale Sonneneinstrahlung von 1000 W pro Quadratmeter, eine Zelltemperatur von 25 Grad Celsius und ein Lastwiderstand von



**Abb. 11.6** – Ein kleines kristallines Solarmodul.

### Technische Daten des abgebildeten kleinen Solarmoduls

- Abmessungen 290 x 210 x 20 mm<sup>3</sup>
- Gewicht 800 g
- 36 kristalline Solarzellen
- max. Leistung oder Nennleistung 5 W
- Strom bei max. Leistung oder Nennstrom 280 mA
- Spannung bei max. Leistung oder Nennspannung 18 V
- Leerlaufspannung 21,6 V
- Kurzschlussstrom 310 mA

## 11.2 Kristalline Solarzellenmodule

64  $\Omega$ . Die ersten beiden Punkte entsprechen einem schönen Sommertag um die Mittagszeit. Dabei ist allerdings die Zelltemperatur deutlich zu niedrig angesetzt. Wenn ein größerer Stromverbraucher angeschlossen ist, steigt an heißen Sommertagen die Betriebstemperatur auf 50 Grad und mehr, so dass der Wirkungsgrad der Solarzellen sinkt. Deshalb sind die im Kasten angegebene Nennspannung und der Nennstrom in der Praxis kaum erreichbar.

### Leistung mit passendem Widerstand optimieren

Damit ein Solarmodul die volle Leistung liefert, sind einige Kleinigkeiten zu beachten. Nicht nur der Montageort und die Größe der Solarzellenfläche sind dabei wichtig, sondern auch ein Lastwiderstand, an dem man das Solarmodul betreiben muss. Dieser ist vom Modul abhängig und beträgt beim Beispielmodul aus dem

Kasten 64  $\Omega$ . Er lässt sich mit folgender Formel errechnen: Nennspannung (V) / Nennstrom (A) = Lastwiderstand ( $\Omega$ ). Bei unserem Beispielmodul sind es 18 V / 0,28 A = 64,3  $\Omega$ . Nur mit diesem Lastwiderstand liefert das Modul die maximale Leistung!

Strom und Spannung bei maximaler Leistung sind bei Solarzellen übrigens kaum anders als der Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung. Mit 310 mA ist der Kurzschlussstrom beim Beispielmodul kaum größer als der Nennstrom von 280 mA. Gleiches gilt für die Leerlaufspannung ohne angeschlossenen Stromverbraucher, die mit 21,6 V kaum über der Nennspannung von 18 V liegt. Und das hat eine angenehme, nutzerfreundliche Folge: Während bei Kurzschluss eine Batterie schnell erschöpft und ein Netzteil meist überlastet ist, macht der Solaranlage auch ein dauerhafter Kurzschluss meist nichts aus.

## 11.3 Unterschiedliche Solarmodule auf Leistung prüfen

Um zu wissen, welches Solarmodul das geeignete ist, lässt sich jedes auf maximale Leistung mit dem Multimeter checken. Dabei ist folgendermaßen vorzugehen:

### Schritt 1

Die Module sind nebeneinander zu legen und optimal auf die Sonne auszurichten.

### Schritt 2

Man misst die Leerlaufspannungen und Kurzschlussströme und notiert sich diese. Bei zwei Modulen ergeben sich zum Beispiel bei Modul A 20 V und 600 mA, bei Modul B 20 V und 1,8 A.

### Schritt 3

Man multipliziert die Leerlaufspannungen und Kurzschlussströme der einzelnen Module, um deren Leistung zu erhalten. Bei den Beispielmusername sind das für Modul A  $20 \text{ V} \times 600 \text{ mA} = 12 \text{ W}$ , für Modul B  $20 \text{ V} \times 1,8 \text{ A} = 36 \text{ W}$ .

### Schritt 4

Die ermittelten Leistungswerte sind nun mit der Größe der Solarzellenfläche in Beziehung zu setzen, um beide Module miteinander vergleichen zu können. Dazu misst man zuerst die wirksame Modulfläche. Bei unseren Beispielmusername ergeben sich für Modul A  $36 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} = 900 \text{ cm}^2$ , bei Modul B sind es  $80 \text{ cm} \times 35 \text{ cm} = 2800 \text{ cm}^2$ .

### Schritt 5

Jetzt ist die ermittelte Leistung durch die wirksame Modulfläche zu teilen und man erhält einen Wert, der die tatsächliche Leistung des Solarzellenmoduls anzeigt. Für Modul A ergeben sich  $12 \text{ W} / 900 \text{ cm}^2 = 0,0133$ , für Modul B  $36 \text{ W} / 2800 \text{ cm}^2 = 0,0128$ . Je größer

dieser Rechenwert ist, umso leistungsfähiger ist das Modul. Modul A ist also nur geringfügig besser als Modul B, praktisch sind beide gleich leistungsfähig. Kein Wunder, beide Produkte kommen vom selben Hersteller: Das eine Solarpanel ist mit 10 W Nennleistung, das andere mit 30 W Nennleistung angegeben. Schaltet man die drei 10-W-Module parallel, addieren sich die Ströme, so dass sich bei etwa gleicher Fläche eine Leistung ergibt, die der des 30-W-Moduls entspricht. Von dieser Lösung ist allerdings abzuraten, weil die drei kleinen Module zusammen deutlich teurer sind als das große Solarpanel. Das Rechenergebnis von rund 0,013 ist unter den genannten Testbedingungen typisch für gute Solarmodule. Bei schwächerer Sonnenstrahlung ergeben sich kleinere Rechenwerte, die trotzdem einen aussagekräftigen Vergleich erlauben.

Man kann sich mit dem Multimeter auch vom Verhalten des abgebildeten Solarmoduls überzeugen. Während sich die Spannung schon bei einer Leistung von 100 W pro Quadratmeter fast vollständig aufgebaut hat, steigt der Kurzschlussstrom proportional zur Sonnenstrahlung nach Bild 11.7. Er erreicht sein Maximum mit 2,1 A bei  $1000 \text{ W/m}^2$ , also an einem schönen Sommertag um die Mittagszeit.

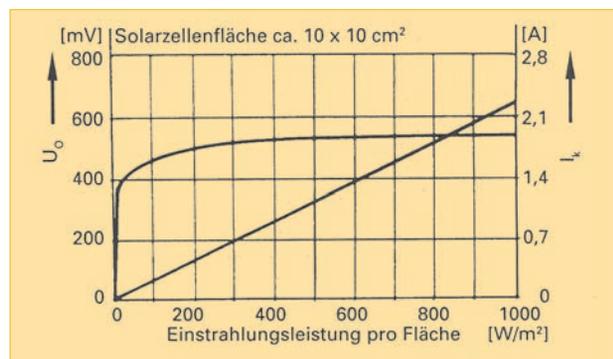


Abb. 11.7 – Der Kurzschlussstrom steigt mit der Lichtstärke.

## 11.4 Amorphe Dünnschichtzellen

Während kristalline Zellen für höchste bis kleine Leistungen einsetzbar sind, verrichten in Anwendungen mit minimalem Stromverbrauch amorphe Dünnschichtzellen ihren Dienst. Hierzu gehören Solar-Taschenrechner, Solar-Briefwaage, Mückenscheuche (Bild 11.8) oder auch Solar-Multimeter nach Bild 11.9. Bei einem Solarprodukt, das nicht mehr richtig funktioniert, lässt sich mit dem Multimeter kontrollieren, ob es an den Solarzellen liegt. Dafür kann man das Licht einer Schreibtischlampe nutzen.

Amorphe Dünnschichtzellen sind nicht so langzeitstabil und effizient wie die kristallinen Zellen, aber einfach herzustellen und deshalb preiswert. Man erkennt sie meist an der violetten Färbung. Kleine Module kann man auch zum Experimentieren oder Selbstbau eines Ladegeräts erwerben. Das Minimodul nach Abb. 11.10 liefert beispielsweise eine Nennspannung von 3,3 V und einen Nennstrom von 27 mA, was eine Nennleistung 90 mW ergibt. Es misst 70 x 30 mm<sup>2</sup> und kostet rund 5 Euro. Selten trifft man bisher auf „Poweranwendungen“ nach Bild 11.11.

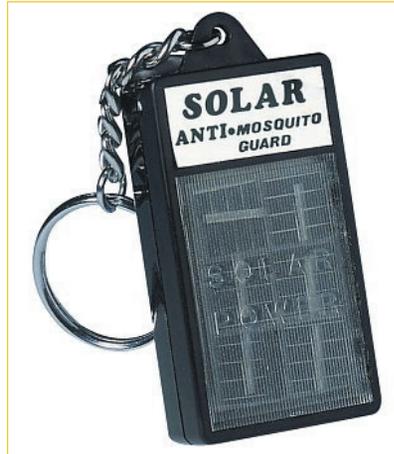


Abb. 11.8 – Mückenscheuche mit Solartechnik. (Conrad)

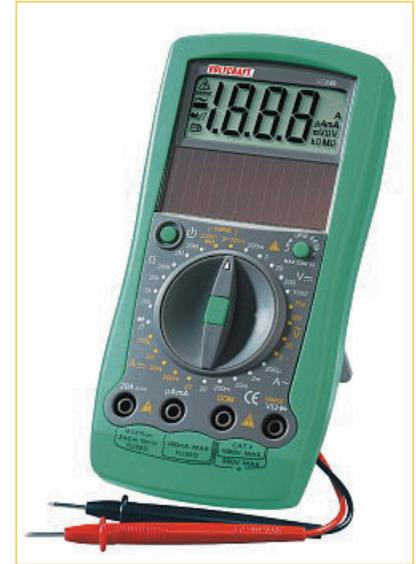


Abb. 11.9 – Dieses Solar-Multimeter verbraucht sehr wenig Strom, so dass es mit einer aufgeladenen Batterie bis zu 250 Tage läuft. (Conrad)



Abb. 11.10 – Solar-Minimodul mit amorphen Zellen für Bastelzwecke. (Conrad)



Abb. 11.11 – Große Solaranlagen mit amorphen Zellen sind bisher die Ausnahme. (Conrad)

## 12 Ausflug in die Hobbyelektronik

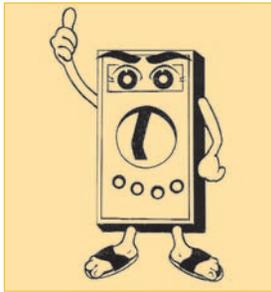
**D**ie vorangegangenen Kapitel haben den Praktiker darüber informiert, wie im ganz konkreten Fehlerfall vorzugehen ist: wenn ein elektrisches oder elektronisches Gerät den Dienst quittiert, der Akku oder die Batterie nicht mehr will oder die Elektroinstallation streikt. Überall muss man messen und hat es dabei meist auch mit elektronischen Bauteilen zu tun. Was liegt also näher, als in die Hobbyelektronik unter nutzbaren Praxisaspekten etwas tiefer einzusteigen. Wer beim Thema Elektronik etwas dazulernen möchte, hat außerdem beste Karten: Denn die Bauelemente sind meist recht preiswert, und auch das „Drumherum“ an Lötwerkzeug und Geräten gibt es schon für verblüffend wenig Geld. Was die Freude vermiesen kann, sind Schaltungen, die nicht so funktionieren, wie sie sollen. Mit dem Multimeter ist das kein Problem: Der Fehler lässt sich finden und beheben.

## 12.1 Bausätze sind Trumpf

Viele Elektronikfreaks setzen seit langem auf Bausätze. Warum? Sie sind ausgereift, von hoher Qualität und selbst erdachten Bauanleitungen in punkto Zeitersparnis und Preiswürdigkeit haushoch überlegen. Mit einem kostengünstigen Paket erhält man nicht nur die erforderlichen Bauelemente, sondern

auch eine hochwertige und garantiert „stimmige“ Platine. So ist innerhalb kurzer Zeit ein funktionierender Aufbau auf dem Bastel- oder Küchentisch realisierbar. Messungen sind dabei kaum wegzudenken. Damit man das Multimeter möglichst effektiv einsetzen kann, gibt es im Kasten einige Tipps.

Wenn man sich außerdem die Mühe macht, Bauelemente vor dem Einlöten zu prüfen, lässt sich in der Praxis mancher Frust vermeiden. Wie bei unterschiedlichsten Bauteilen vorzugehen ist, beschreibt das Kapitel *Richtig messen leicht gemacht* ausführlich.



### Tipps für die Bausatzpraxis

- Eine Lötstelle ist erst perfekt, wenn sich ein ausgeglichener, überall glänzender Lötkegel gebildet hat.
- Mit flachen Bauelementen beginnen, mit hohen enden.
- Mehrere Bauelemente einsetzen und zunächst einseitig anlöten. Ist diese Lötstelle ausgekühlt, wird der Rest gelötet.
- Eine „dritte Hand“ oder ein Platinehalter ist sehr hilfreich.
- Im Zweifelsfall sind Bauelemente, wenn möglich, zu messen.
- Bauelemente immer möglichst direkt auf der Platineoberseite aufliegend anordnen.
- Beim Abschneiden oder -kneifen mit dem Werkzeug leicht gegen die Platine drücken, um der Abscherkraft entgegenzuwirken.

## 12.2 Optimierte Fehlersuche bei elektronischen Schaltungen

Wie geht man bei der Fehler-suche vor, also wenn eine elektronische Schaltung nicht funktioniert? Dieses Buch informiert im Kapitel *Defekte elektronische Geräte reparieren* und dort im Unterkapitel *Die elektronische Schaltung auf Fehler prüfen* über Grundlagen. Die Fehlersuche beschränkt sich dabei auf das Messen von Arbeitspunktspannungen aktiver Bauelemente. Diese Spannungen sind mit den Werten zu vergleichen, die der Hersteller im Schaltplan angibt. Bei vielen defekten elektronischen Geräten führt dieses Vorgehen zum Erfolg – wenn nicht, wird es mit dem Messen etwas komplizierter. Dieses Kapitel gibt deshalb weitere Tipps, allerdings ohne zu tief ins Thema einzusteigen, um den Anwender nicht zu verwirren. Um sich unnötige Arbeit beim Messen zu sparen, sollte

man zunächst einige Dinge prüfen, über die der Kasten informiert.

### Audioverstärker als Beispiel

Um den Fehler in der elektronischen Schaltung eines analogen Audioverstärkers einer HiFi-Anlage zu finden, ist zunächst die Stromaufnahme der Schaltung zu überprüfen. Ist diese in Ordnung, ist man meist auf Spannungsmessungen angewiesen. Besonders wichtig sind dabei Messungen an aktiven Bauelementen wie Transistoren. In analogen Audioschaltungen sollte auf der Basis-Emitter-Strecke immer eine Gleichspannung von rund 600 mV messbar sein.

Abb. 12.1 zeigt eine Emitterstufe. Durch Messen der Emitterspannung ( $U_E$ ) gegen Masse nach Bild 12.2 kann man auf die Spannung an der Basis ( $U_B$ ) und auf die Kollektorspannung ( $U_C$ ) schließen. Die

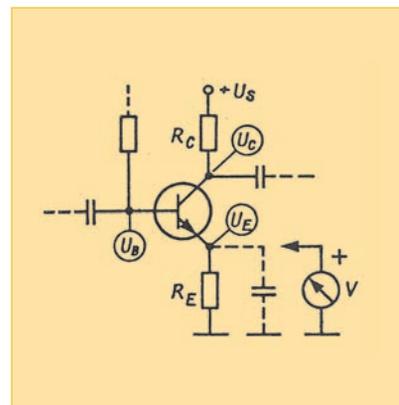
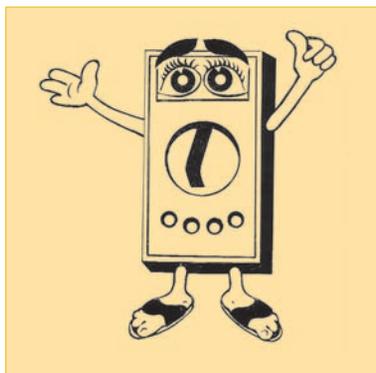


Abb. 12.1 – Spannungen an einer Emitterschaltung.

Basisspannung muss etwa 600 mV höher als die Emitterspannung sein, und zwischen Kollektor und Emitter müssen einige Volt anliegen. Liegt die Speisespannung bei 12 V, beträgt die Basisspannung  $U_B$  knapp 2,6 V, die Kollektorspannung  $U_C$  liegt dagegen zwischen 6 V und 9 V.



### Die Platine vor dem Messen prüfen

- Gibt es auf der Platine eine unzulässige Lötbrücke oder eine „vergesene“ Lötstelle?
- Ist die Betriebsspannung richtig gepolt?
- Wurden Schaltkreise, Transistoren und Dioden richtig auf die Platine gelötet?
- Sind alle externen Bauelemente angeschlossen?
- Haben die einstellbaren Bauelemente eine Mittelstellung?

## 12.2 Optimierte Fehlersuche bei elektronischen Schaltungen

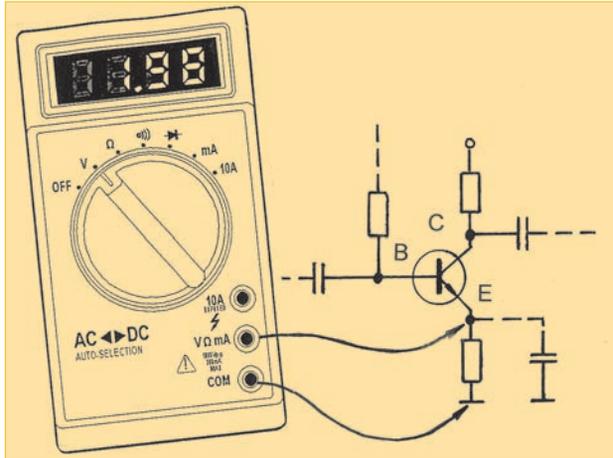


Abb. 12.2 – Die Emitterspannung wird gemessen.

Bipolare Transistoren in analogen Verstärkern kann man nach Abb. 12.3 durch einen Kurzschluss der Basis-Emitter-Strecke leicht in der Schaltung testen. Ist der Transistor in Ordnung, muss er jetzt die Kollektor-Emitter-Strecke dichtmachen, weil diese hochohmig geworden ist. Die Folge beim Messen: Die Spannung am Emittewiderstand gegen Masse muss gegen null gehen, die Kollektorspannung dagegen ansteigen und knapp die Speisespannung von 12 V erreichen.

### Mit Signalspannung dem Fehler auf der Spur

Kommt man mit Gleichspannungsmessungen nicht weiter, ist eine sehr kleine Wechselfspannung in den Audioverstärker zu geben. Techniker sprechen auch von einer Signalspannung, die dem zu verstärkenden Audiosignal gleichkommt und an verschiedenen Stellen des Verstärkers zu messen ist. So findet man den Defekt

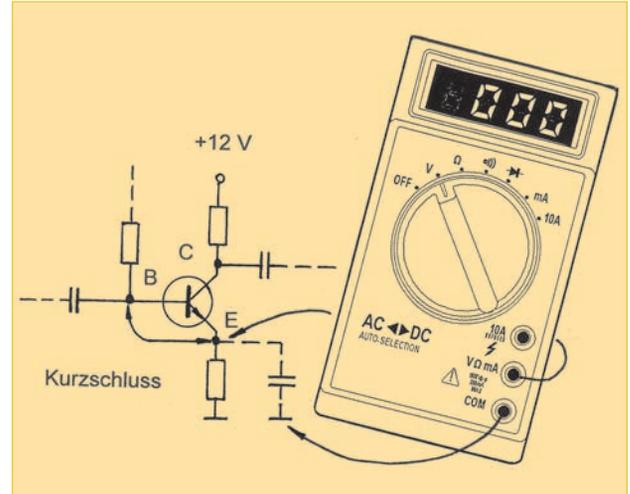


Abb. 12.3 – Dieser Transistor ist okay: Bei kurzgeschlossener Basis-Emitter-Strecke lässt sich am Emitter gegen Masse keine Spannung mehr messen.

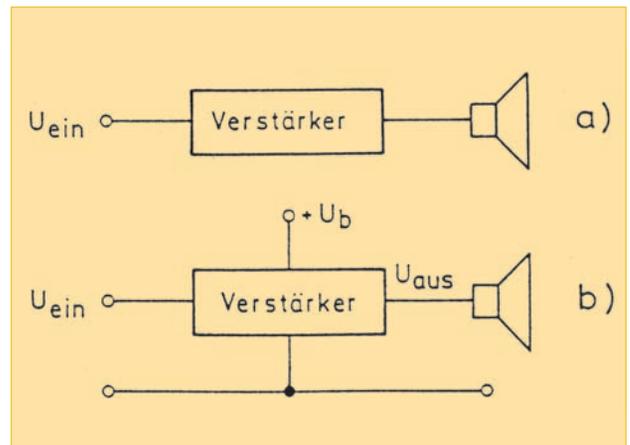
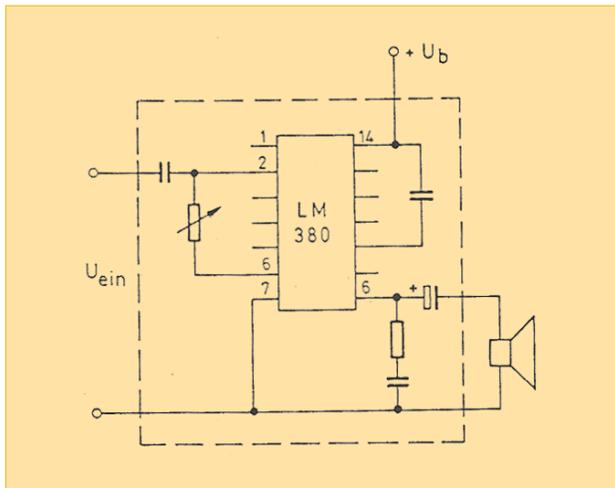


Abb. 12.4 – Der Audioverstärker als Black Box: Die Eingangs-Signalspannung  $U_{\text{ein}}$  und die Ausgangs-Signalspannung  $U_{\text{aus}}$  lassen sich gegen Masse messen.

## 12.2 Optimierte Fehlersuche bei elektronischen Schaltungen



**Abb. 12.5** – Dieses Bild erlaubt einen Blick in die Black Box: Das Audio-IC ist als Kasten in der Mitte zu erkennen.

garantiert. Jeder Verstärker muss eine bestimmte Signal-Eingangsspannung auf eine bestimmte Signal-Ausgangsspannung verstärken. Bei der Fehlersuche ist deshalb das Prinzip der „Signalverfolgung“ zu nutzen: Die eingespeiste Signalspannung verfolgt man ab dem Verstärkereingang, bis die fehlerhafte Verstärkerstufe gefunden ist. Eine Stufe mit einem Transistor in Emitterschaltung verstärkt die Signalspannung üblicherweise etwa um den Faktor 10. Emitterschaltung bedeutet, dass das Ausgangssignal am Kollektor ausgegeben wird. Die Bilder 12.4 und 12.5 führen weiter in die Praxis.

Der Profi nutzt für die Signalmessung eine Frequenz von meist 1 kHz – ein Signal, das kaum ein handelsübliches Multimeter erfassen kann, da der Wechselspannungs-Messbereich meist auf wenige 100 Hz begrenzt ist. Ein Ausweg ist ein Spannungsteiler nach Bild 12.6 mit einem 100- $\Omega$ - und einem 100-k $\Omega$ -Widerstand, der an die Sekundärwicklung des Trafos anzulöten ist. Von

dort holt man sich eine kleine Wechselspannung mit der Frequenz von 50 Hz, die das Multimeter anzeigen kann. Die Sekundärwicklung des Trafos stellt die Betriebsspannung für das Gerät bereit, die allerdings noch gleichgerichtet und stabilisiert werden muss. Im Gegensatz dazu liegen an der sogenannten Primärwicklung die 230 V aus der Steckdose an. Dort darf man den Spannungsteiler deshalb auf keinen Fall anlöten! Er sollte die Spannung etwa 1000:1 teilen, also aus 12 V Wechselspannung rund 12 mV machen. Jetzt ist noch ein sensibles, etwas besseres Multimeter erforderlich, das auch kleine Wechselspannungen misst – und schon kann man auf Fehlerjagd gehen. Dabei misst man die Signalspannung in Transistorschaltungen an der Basis (Eingang) und meist am Kollektor (Ausgang). Hierbei darf die Basisspannung der Folgestufe nicht wesentlich kleiner als die Kollektorspannung der vorangegangenen Verstärkerstufe sein. So sieht man, was die einzelnen Verstärkerstufen mit der Signalspannung von 12 mV anstellen. Am Ende der Kette stehen meist Verstärkerstufen mit einer Spannungsverstärkung von 1 – warum? Diese verstärken nicht die Spannung, sondern den Strom. Ihr Innenwiderstand ist so gering, dass ein niederohmiger Lautsprecher effizient betrieben werden kann. Wie ein vierstufiger Transistorverstärker die 12 mV Wechsel-

### Mögliche Verstärkung einer 12-mV-Signalspannung

- erste Verstärkerstufe: etwa 120 mV
- zweite Verstärkerstufe: etwa 1,2 V
- dritte Verstärkerstufe: etwa 12 V bei voll aufgedrehtem Lautstärkereglern
- vierte Verstärkerstufe: etwa 10 V wegen der Stromverstärkung

## 12.2 Optimierte Fehlersuche bei elektronischen Schaltungen

spannung verarbeiten könnte, zeigt der folgende Kasten.

Nun ergibt sich allerdings ein kleines Problem: In allen zeitgemäßen Audioverstärkern trifft man ganz oder teilweise auf integrierte Schaltkreise (ICs). Wenn man sich über diese Dinge informiert, lassen sich trotzdem Ein- und Ausgangssignalspannung messen. Infos findet man im Internet oder im Datenblatt.

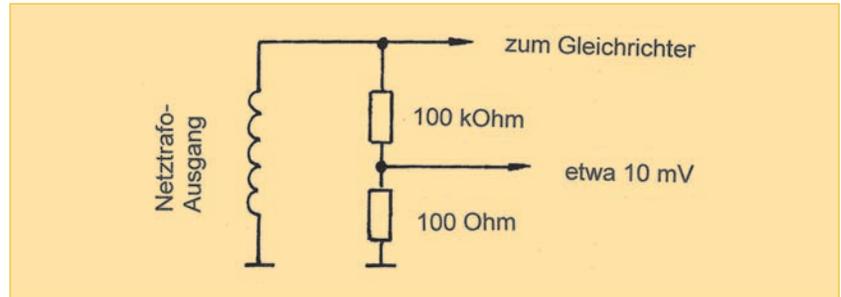


Abb. 12.6 – Spannungsteiler an der Sekundärwicklung des Netztrafos.

### Bezugsquellen für elektronische Bausätze

#### Conrad Electronic

Klaus-Conrad-Straße 1  
92240 Hirschau  
[www.conrad.de](http://www.conrad.de)

#### ELV Elektronik

Maiburger Straße 23-36  
26787 Leer  
[www.elv.de](http://www.elv.de)

#### Westfalia Technica

Industriestraße 1  
58083 Hagen  
[www.westfalia.de](http://www.westfalia.de)

## 13 Mit dem PC Messergebnisse automatisch auswerten

**E**in spannendes Feld der Messtechnik ist die Kombination eines Multimeters mit dem Computer. Dabei lassen sowohl analoge als auch digitale Messdaten erfassen. Der Vorteil: Der Computer kann die Messdaten schnell verarbeiten und auswerten – vorausgesetzt, er kann mit den Daten des Multimeters etwas anfangen. Dazu braucht er ein PC-Multimeter mit Software oder eine Computerkarte.

## 13.1 PC-Multimeter

Damit der Computer Multimeterdaten erhalten und verarbeiten kann, ist in einige Digitalmultimeter eine PC-Anschlussbuchse eingebaut. Diese ist recht unscheinbar und liegt meist hinten oben. Mitgeliefert wird eine passende Multimetersoftware, um über den PC auf alle Funktionen zugreifen zu können (Abb. 13.1). Dabei braucht man keine Angst vor hohen Kosten zu haben, meist liegt der Preis für ein Gerät im zweistelligen Eurobereich. Die Bilder 13.2 und 13.3 zeigen preiswerte Produkte. Qualitätsgeräte messen Temperaturen, Kapazitäten und bei Wechselströmen Frequenzen bis weit in den Megahertzbereich hinein.

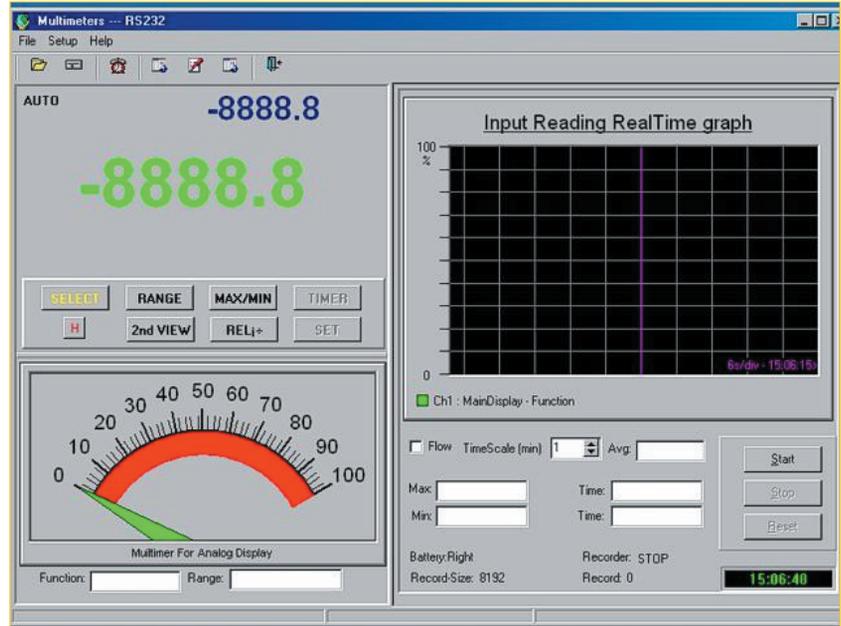


Abb. 13.1 – Typische „Bedienoberfläche“ eines PC-Multimeters auf dem Bildschirm.

## 13.1 PC-Multimeter



Abb. 13.2 – Ein leistungsfähiges PC-Multimeter.



Abb. 13.3 – Ein PC-Multimeter mit Software auf Diskette.

## 13.2 Computer-Messkarten für unterschiedlichste Anwendungen

Neben PC-Multimetern gibt es Computer-Messkarten für verschiedenste Messungen und Steuerungen. Sie können nicht nur sehr genau messen, sondern auch automatisch Geräte schalten sowie Langzeitanalysen protokollieren und auswerten. Interessant sind auch zeitlich gesteuerte Intervallmessungen. In Haus und Wohnung können die Computerkarten auch Haushaltsgeräte und Lampen ein- und ausschalten. Sie besitzen Stecker für alle gängigen Computerschnittstellen, die Messdaten erfassen, und eingebaute Sensoren. Weil die Geräte analoge in digitale Messsignale umwandeln, werden sie auch AD-Karten genannt. Die Preise der Modelle bewegen sich zwischen 150 und 1500 Euro.

Die Produkte unterscheiden sich vor allem darin, wie sie die Messdaten erfassen – Bild 13.4 zeigt eine PC-Karte. Dabei sind drei Typen zu unterscheiden: TTL-Karten können Vorgänge in digitalen Schaltungen auslesen und weiterverarbeiten. Ein Anschluss kann sowohl als Eingang als auch als Ausgang dienen, so dass die Karten Daten erfassen und externe Geräte steuern können. Optokoppler-Karten dagegen übertragen elektrische Signale und isolieren dabei Ein- und Ausgangs-Stromkreis elektrisch voneinander. So lassen sich Steuerungs- und Leistungsteil einer Schaltung trennen, so dass der Computer geschützt ist. Diese Karten eignen sich auch zur Datenübertragung über größere Entfernungen, weil dabei Störungen ausgeschlossen sind, und sie besitzen einen eigenen Masseanschluss. Relaiskarten steuern meist kleinere Leistungen und können problemlos Wechselspannungen und -ströme bis zu etwa 3 A verarbeiten. Dabei schalten sie externe

Stromkreise vom PC aus. Das können auch Lampen sein, die mit dem 230-V-Netz verbunden sind. Neben Wechselspannungs- können Relaiskarten natürlich auch Gleichspannungs-Stromkreise schalten.

Mit Computer und PC-fähigem Multimeter oder AD-Karte lassen sich messtechnische Aufgaben dokumentieren und automatisieren: Messdaten werden schnell verarbeitet, viele Messvorgänge sind schnell und bequem zu steuern und aufzuzeichnen. Es gibt bereits Multifunktions-Datenerfassungssysteme mit USB-Stecker, die vieles können: Sie ermöglichen Mobilität durch die Funktion als Notebook, Plug & Play bei laufendem PC, haben bis zu 16 massebezogene und acht Differenz-Analog-Eingänge und erlauben unzählige Messungen pro Sekunde.



Abb. 13.4 – Preisgünstige PC-Karte mit USB-Stecker.

# Stichwortverzeichnis

## A

Abschaltautomatik 29  
Abschnürspannung 42  
AccuCell 102  
Akkus 91  
Alkali-Mangan-Batterien 96  
Allstrom-Zangen-Amperemeter 45  
Amorphe Dünnschichtzellen 116  
Ampere (A) 11  
Amperestunden 77  
Amplitude 14  
Analoge Messgeräte 26  
Analogmultimeter 26  
Anode 17, 95  
Audioverstärker 119  
Audio-Video-  
Übertragungssysteme 95  
Autobatterie 77  
Automobil 34

## B

Batterien 91, 96  
Bauelemente 92  
Betriebsspannung 76  
Bimetall 60  
Bipolarer Transistor 18, 41  
Bleiakkus 104  
Bleigelakkus 106  
Bohrmaschine 60  
Boot 75  
Bootsmotor 84  
Brückenschaltung 31  
Bügeleisen 60

## C

CAT 21  
CD-Player 85  
Computer-Messkarten 126

## D

Deckenleuchte 71  
Dielektrikum 17  
Digitale Messgeräte 28  
Diode 17  
Diodentest 40  
Drehstrom-Lichtmaschine 78  
Dreiphasensystem 68  
Drucker 85  
Durchgangstest 52

## E

Einphasensystem 68  
elektrische Spannung 9  
elektrischer Strom 9  
Elektronen 10  
elektronische Schaltung 92, 119  
Emitterschaltung 121  
Entladekurven 103

## F

Fehlersuche 73  
Feldeffekttransistor 18, 41  
FI-Schutzschalter 72  
Fön 57  
Frequenz 15  
Funk-Alarmanlage 95

## G

Gleichspannungen 85  
Gleichspannungs-Netzteil 105  
Gong 74

## H

Hallsensoren 47  
Handbohrmaschinen 61  
Hausinstallation 67  
Hausverteilerkasten 65  
Hochspannung 14

## I

ICs 88, 122  
Indirekt messen 45  
Innenwiderstand 28  
ISDN-Leitung 74

## K

Kaffeemaschine 60  
Kapazität 17  
Kathode 17, 95  
Kleinspannungen 74  
Klingeltrafo 36  
Kondensator 17, 38  
Kopfhörer 94  
Kraftfahrzeug 75

## L

Ladeschaltung 78  
Lampen 55  
Lastwiderstand 114

# Stichwortverzeichnis

Lautsprecher 94  
Leistung 9  
Leiterquerschnitt 81  
Leuchtstoffröhre 54, 56  
Lithiumbatterie 98, 108  
Lockenwickler 57  
Lötstellen 60

## M

Masse 34  
Messbereich 21  
Messfehler 32, 38  
Mikroampere ( $\mu\text{A}$ ) 11  
Mixer 60  
Monokristalline Solarzellen 113  
Motoren 58

## N

Nanofarad 38  
Nickel-Cadmium-Akku 107  
Nickel-Metall-Hydrid-Akkus 107  
npn- und pnp-Transistoren 18

## O

Ohmsches Gesetz 12

## P

Passive Zeigerinstrumente 26  
PC-Multimeter 123  
Phasenleiter 52  
Phasenleitungen 68  
Phasenverschiebung 67  
Photovoltaik 109  
Picofarad 38

Polykristalline Solarzellen 113  
Potenzial 34

## R

Radio 85  
Rasierapparat 60  
Relativmessung 31

## S

Scheitel- oder Spitzen-Wert 14  
Schmelzsicherungen 69  
Schutzklasse 64  
Schutzleiter 68  
Sekundärspannung 16  
Sicherung 60  
Signalspannung 120  
Sinuskurve 14  
Solaranlage 79, 110  
Solarzelle 110  
Spannung 10  
Spannungsquelle 10  
Spannungswandler 80  
Stabi-IC 87  
Staubsauger 60  
Steckdose 10  
Steckdosenleiste 62  
Stiftmultimeter 29  
Strommessbereich 53  
Strommesszange 45  
Stromstärke 11  
Stromverbrauch 53  
Stromverbraucher 11  
Stromverstärkungsfaktor 18, 41  
Stromzange 45

## T

Tiefentladeschutz 77  
Trafo 16  
Transformator 16  
Transiente Überspannungen 20  
Transistor 18  
Transistortest 41  
Türklingel 95  
Türsprechanlage 74

## U

überlagerte Spannungen 35

## V

VDE-Prüfzeichen 64  
Verlängerungskabel 62  
Verteilerdose 67  
Vollwellen-Gleichrichtung 86  
Vorsatzzeichen 13

## W

Wärmeentwicklung 93  
Wärmeofen 57  
Wechselspannung 35  
Wechselstrom 45  
Widerstand 9, 12, 38  
Wirkungsgrad 80

## Z

Zangen-Amperemeter 45  
Zink-Luft-Batterien 100

Dieter Schulz  
Richtig löten

Dieter Schulz

# Richtig löten

Leicht gemacht, Geld und Ärger gespart!

Mit 173 farbigen Abbildungen

## **Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

### Hinweis

Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar.

Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2008 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

**Satz:** DTP-Satz A. Kugge, München

**art & design:** [www.ideehoch2.de](http://www.ideehoch2.de)

**Druck:** L.E.G.O. S.p.A., Vicenza (Italia)

Printed in Italy

**ISBN 978-3-7723-4499-2**

# Vorwort

**M**öchten Sie kleine Reparaturen in Haushalt und Hobby vornehmen, kommen Sie vielfach um den Lötkolben nicht herum. Funktioniert beispielsweise ein elektronisches Gerät nicht mehr, ist häufig eine kalte Lötstelle der Grund. Richtig löten behebt den Fehler und spart so viel Geld. Defekte Leitungen kann man schnell reparieren oder den gelockerten Stecker am Kabel festlöten, damit die angeschlossenen Komponenten wieder funktionieren. Können Sie ein kleines elektronisches Gerät als Bausatz zusammenlöten, statt es als Fertigprodukt beim Händler zu kaufen, sparen Sie sich erneut einen tiefen Griff ins Portemonnaie. Doch wie muss man vorgehen, damit alles klappt? Egal, ob Sie elektronische Bauteile richtig auf die Platine löten, perfekte Lötunkte setzen, überschüssiges Lötzinn sauber entfernen oder schlechte Lötstellen erkennen und vermeiden möchten – dieses Buch führt Sie zum Erfolg! Für Hobbyelektroniker ist es außerdem ein Nachschlagewerk, das viele weitere Fragen aus der Lötpraxis beantwortet. Das Buch erläutert, wie man defekte Leiterbahnen repariert, Drähte und Kabel fachgerecht verlötet oder gibt Tipps zum Löten mit bleifreiem Lötzinn. Es setzt bei alledem keine Vorkenntnisse voraus. Wer sich als Einsteiger zunächst über einen passenden Lötkolben und erforderliches Werkzeug informieren möchte, findet in diesem Buch ebenfalls wertvolle Tipps.

Viel Spaß und Erfolg beim richtigen Löten!

Ihr  
Dieter Schulz

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>„Welcher Lötkolben ist für mich der richtige?“</b>	9
1.1	Feinlötkolben für elektronische Bauteile _____	11
1.2	Universallötkolben – fast immer die richtige Wahl _____	12
1.3	Standardlötkolben für dicke Drähte _____	13
1.4	12-Volt-Lötkolben im Auto _____	13
1.5	Batterielötkolben machen mobil _____	14
<b>2</b>	<b>Erforderliches Werkzeug und Zubehör</b>	15
2.1	Welche Lötspitze für welchen Zweck? _____	16
2.2	Mit Elektronikerzangen Anschlussdrähte zuverlässig bearbeiten _____	18
2.3	Abisolierzange macht Drahtenden blank _____	20
2.4	Verschiedene Schraubenzieher _____	21
2.5	Pinzette und Lupe dürfen nicht fehlen _____	22
2.6	Woran Sie gute Lötkolbenständer erkennen _____	23
2.7	Spezialschraubstöcke machen das Löten leichter _____	25
2.8	Flussmittelentferner beseitigt Lötrückstände _____	28
2.9	Alte Bauteile auslöten? Entlötdraht und Entlötpumpe helfen _____	29
<b>3</b>	<b>Sicherheit geht vor</b>	31
3.1	Arbeitsstelle mit wenig Aufwand sicher einrichten _____	32
3.2	Augen auf bei Lötspitze und Lötzinn _____	34
3.3	Hände weg von zu lötenden Teilen _____	36
<b>4</b>	<b>Perfekte Lötunkte auf Platine setzen</b>	37
4.1	Leitfaden zum Vorgehen _____	39
<b>5</b>	<b>Rote Karte für Kalte Lötstellen</b>	41
5.1	Schlechte Lötstellen erkennen und vermeiden _____	43
<b>6</b>	<b>Platine mit Bauteilen bestücken – so geht's</b>	45
6.1	Keine Angst vor Maßeinheiten – mit Vorsatzzeichen sicher umgehen _____	46
6.2	Die Platine – Bestückungsplan als wertvolle Einbauhilfe _____	47

# Inhaltsverzeichnis

6.3	Mit Widerständen beginnen .....	49
6.4	Spulen .....	51
6.5	Dioden .....	52
6.6	Leuchtdioden .....	54
6.7	Kondensatoren .....	55
6.8	Transistoren .....	59
6.9	ICs oder integrierte Schaltungen .....	61

## **7 Elektronikbausatz erfolgreich zusammenlöten** 63

7.1	Stückliste überprüfen .....	65
7.2	Bauteile vorbereiten und fachgerecht einlöten .....	66
7.3	Empfindliche Bauteile sicher handhaben .....	71
7.4	Gelötete Schaltung überprüfen – Anschlussdrähte nicht sofort abwickeln .....	73
7.5	Bauteile vertauscht? Fehler systematisch beheben .....	75
7.6	Stromversorgungskabel richtig anlöten .....	76
7.7	Löten auf sehr glatten Oberflächen .....	78
7.8	Lautsprecher- oder Mikrofon-Kabel anlöten .....	79
7.9	Letzte Sichtkontrolle und Schaltung in Betrieb nehmen .....	80

## **8 Unerwünschtes Lot zuverlässig entfernen** 81

8.1	Entlötdraht fachgerecht einsetzen .....	82
8.2	Mit Entlötpumpe Lötzinn absaugen .....	84
8.3	Gereinigte LötKolbenspitze? Nur eine Notlösung .....	85

## **9 Defekte Platine reparieren** 87

9.1	Kaputte Leiterbahn mit Drahtbrücke auf Vordermann bringen .....	88
9.2	Kaputtes Lötauge mit Anschlussdraht überbrücken .....	92

## **10 SMD-Bauteile löten** 93

10.1	SMD-Adapter bauen .....	95
------	-------------------------	----

# Inhaltsverzeichnis

<b>11</b>	<b>Drähte und Kabel fachgerecht zusammenlöten</b>	97
<b>12</b>	<b>Löten im Auto – Brandflecken keine Chance lassen</b>	101
<b>13</b>	<b>Bleihaltiges Lot für Anfänger zu empfehlen</b>	103
13.1	An Abkürzung „Pb“ erkennbar _____	104
13.2	Wie dick muss das Lot sein? _____	106
<b>14</b>	<b>Mit bleifreiem Lot erfolgreich löten</b>	107
14.1	Was muss der LötKolben können? _____	108
14.2	Schlechte Lötkontakte vermeiden _____	109
14.3	Alte Geräte mit bleihaltigen Lötstellen reparieren _____	110
14.4	Auch bei bleifreien Loten auf Gesundheit achten _____	110
<b>15</b>	<b>Worin unterscheiden sich teure von preiswerten Lötstationen?</b>	111
15.1	Einstellbare Löttemperatur _____	113
15.2	LötKolbenhalter _____	114
15.3	Bei einfachen Geräten auf Betriebsspannung achten _____	115
15.4	Sonderfunktionen _____	117
<b>16</b>	<b>Fädertechnik für Lochrasterplatten</b>	119
<b>17</b>	<b>Anhang</b>	121
17.1	Weitere LötKolbentypen _____	122
17.2	Farbcodes von Widerständen _____	125
17.3	Farbcodes von Spulen _____	125
17.4	Farbcodes und Kennbuchstaben von Kondensatoren _____	126
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	128

# 1 „Welcher LötKolben ist für mich der richtige?“

Diese Frage werden Sie sich vielleicht stellen, wenn Sie im Fachmarkt vor einer meist unüberschaubaren Auswahl an Modellen stehen. Da nicht jeder LötKolben für jede Aufgabe geeignet ist, sind sie nach ihrer Leistungsaufnahme unterteilt, die in Watt (W) angegeben ist. Es gibt LötKolben von ganz klein bis ganz groß, je nachdem, ob Sie große oder kleine Bauteile löten wollen – denn die richtige Löttemperatur entscheidet darüber, ob Sie erfolgreich löten können. Eine grobe Faustformel besagt: Je kleiner ein LötKolben ist, umso weniger Leistung nimmt er auf und entsprechend ge-



Abb. 1.1 – Im Fachmarkt ist die Auswahl an LötKolben groß.

# 1 „Welcher LötKolben ist für mich der richtige?“

ringer ist die Löttemperatur. Sie sollten deshalb beim Kauf auf die Wärmeleistung des LötKolbens achten. Bei Lötarbeiten zu Hause sind meist Temperaturen zwischen 250 und 400 Grad Celsius erforderlich. Die meisten LötKolben arbeiten in einem bestimmten Temperaturbereich.

Neben der Temperatur ist die Wärmemenge entscheidend, die LötKolben und Lötspitze abgeben können. Versuchen Sie beispielsweise, mit einem sehr kleinen LötKolben einen Draht mit großem Querschnitt an eine große Metallfläche zu löten, wird das kaum gelingen. Da Metalle sehr gute Wärmeleiter sind, verteilen sie die Hitze des LötKolbens auf eine größere Fläche. Dadurch erhitzt sich nicht nur die Lötstelle, sondern auch das metallische Umfeld. Wie sehr sich die Wärme verteilt, merken Sie besonders an Drähten. Sie werden noch in einer Entfernung von 20 cm zur Lötstelle mit der Zeit so heiß, dass man sie kaum noch mit bloßen Fingern halten kann. Versuchen Sie im Gegenzug, mit einem sehr großen LötKolben feine elektronische Bauteile zu löten, werden Sie ebenso scheitern. Mit einem leistungsstarken LötKolben kann man die große Lötspitze kaum exakt auf die Arbeitsstelle führen. Außerdem kann die zu große Hitze kleine elektronische Bauteile schnell zerstören.



**Abb. 1.2** – Zwei typische LötKolben

Neben Löttemperatur und abgegebener Wärmemenge ist beim LötKolben auch ein handgerecht geformter Griff wichtig. Dieser muss an seiner Vorderseite einen stabilen und ausreichend großen Schutz gegen Abrutschen besitzen, der verhindert, dass Sie sich beim Löten die Finger verbrennen (Abb. 1.3).

Das Buch stellt im Folgenden die für Heimwerker, Elektronik- und Hobby-Bastler wichtigsten LötKolbentypen vor. Daneben führt der Handel Kaltlötgeräte für Profis und weitere Modelle, über die der Anhang in Kapitel 17.1 informiert.



**Abb. 1.3** – Ein großzügiger Abrutschschutz beugt Verbrennungen vor.



**Abb. 1.4** – Ein kleiner Abrutschschutz schützt die Finger nicht immer ausreichend.

## 1.1 FeinlötKolben für elektronische Bauteile

FeinlötKolben für elektronische Bauteile erkennen Sie an der kompakten Bauweise und ihrem geringen Gewicht. Die Leistungsaufnahme bewegt sich meist zwischen 8 W und 25 W. Einen FeinlötKolben brauchen Sie, wenn Sie es in der Elektronik oder Elektrotechnik mit kleinen Lötstellen und empfindlichen Bauelementen zu tun haben. Hierzu gehören SMD-Bauteile nach Kapitel 10.



Abb. 1.5 – FeinlötKolben besitzen meist eine Bleistiftlötspitze.



Abb. 1.6 – FeinlötKolben mittlerer Größe. Er ist an der Leistungsaufnahme von 16 W zu erkennen.

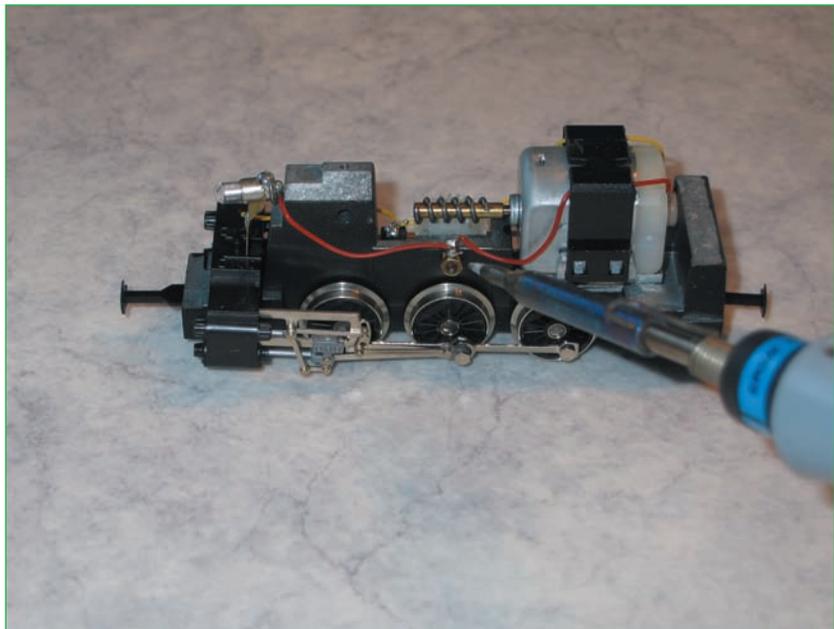


Abb. 1.7 – FeinlötKolben eignen sich für sehr filigrane Lötarbeiten.

## 1.2 UniversallötKolben – fast immer die richtige Wahl

**F**ast jeder Bastler hat einen zu Hause – und das nicht ohne Grund: Mit ihrer Leistungsaufnahme von rund 20 W bis 40 W eignen sich UniversallötKolben für viele Aufgaben in Hobby und Handwerk. Sie kommen außerdem mit etwas Geschick und Übung für Lötarbeiten infrage, für die man eigentlich einen FeinlötKolben braucht. Dazu gehören einfache und mittelschwere Elektronikbausätze. Für Elektronikbasteleien oder kleine Reparaturen sind Sie deshalb mit dem UniversallötKolben bestens bedient. Er ist nicht zu klein und nicht zu groß – und er ist für Einsteiger zu empfehlen, die zunächst Erfahrungen mit dem Löten sammeln möchten.



**Abb. 1.8** – UniversallötKolben sind größer als FeinlötKolben und besitzen meist eine Flachlötspitze oder eine Lötspitze in Meißelform.



**Abb. 1.9** – Dieser UniversallötKolben mittlerer Größe nimmt eine Leistung von 30 W auf.

## 1.3 StandardlötKolben für dicke Drähte

StandardlötKolben nehmen rund 50 W bis 150 W auf und sind deshalb für den Hobbyelektroniker und Bastler bereits zu leistungsstark. Man erkennt sie an der abgewinkelten Lötspitze. Die große Hitze würde die empfindlichen Bauteile zerstören. Diese ist allerdings erforderlich, wenn Sie dicke Drähte löten möchten, was bei Reparaturen der Fall sein kann. Wie groß der Hitzebedarf ist und damit die benötigte Leistung des LötKol-

bens, hängt vom Drahtdurchmesser ab. Mit einem 50-W-LötKolben bringen Sie Kupferleitungen mit 2,5 Quadratmillimeter ( $\text{mm}^2$ ) Querschnitt auf Arbeitstemperatur. Wol-

len Sie dagegen Kabel mit bis zu  $6 \text{ mm}^2$  Querschnitt löten, brauchen Sie einen leistungsstärkeren 150-W-LötKolben.



**Abb. 1.10** – StandardlötKolben sind an der abgewinkelten Lötspitze zu erkennen.

## 1.4 12-Volt-LötKolben im Auto

Diese NiederspannungslötKolben eignen sich für Bastelarbeiten und Reparaturen im oder am Fahrzeug – zum Beispiel, wenn die eingebaute HiFi-Anlage streikt. Die benötigte Betriebsspannung von 12 V steht am Zigarettenanzünder bereit. 12-V-LötKolben nehmen eine Leistung von rund 30 W auf, besitzen wie die übrigen LötKolben eine auswechselbare Lötspitze und sind mit dem UniversallötKolben vergleichbar. Was beim Löten im Auto zu beachten und warum dabei aus Sicherheitsgründen von einem 230-V-LötKolben abzuraten ist, erläutert Kapitel 12.



**Abb. 1.11** – 12-V-LötKolben sind für kleine Lötarbeiten im Auto zu empfehlen.

## 1.5 BatterielötKolben machen mobil

**B**atterielötKolben machen mobil und arbeiten mit drei bis vier Mignonbatterien. Sie erreichen je nach Modell Leistungen von rund 6 W und bis zu 40 W. Diese LötKolben eignen sich für Arbeiten im Elektronikbereich oder dort, wo für einen 230-V-LötKolben keine Steckdose in Reichweite ist. Nach rund 180 Lötungen muss man die Batterien auswechseln.

Mit BatterielötKolben sind zwei Löttemperaturen einstellbar, die höher als bei üblichen HandlötKolben sind. Die Geräte erreichen sehr schnell, nach rund 15 Sekunden, die Betriebstemperatur von 450 Grad oder 510 Grad und kühlen nach der Lötung schnell ab. Bereits nach rund 90 Sekunden kann man die Lötspitze berühren und abnehmen, ohne sich zu verbrennen. Sie ist wie bei anderen LötKolben austauschbar.



**Abb. 1.12** – Ein batteriebetriebener LötKolben mit einer Lötspitze in Bleistiftspitzenform, die sich für punktgenaue Lötungen an sehr kleinen Bauteilen und IC-Anschlüssen eignet.



**Abb. 1.13** – Damit sich der BatterielötKolben aufheizt, ist der Taster am Schieber gedrückt zu halten. Zwei Leuchtdioden zeigen den Betriebsstatus an.

## 2 Erforderliches Werkzeug und Zubehör

**E**rfolgreiches Löten verlangt neben dem richtigen LötKolben geeignetes Werkzeug und Zubehör. Dazu gehören nicht nur Hammer, Schere, Zange und einige Schraubenzieher, sondern auch zusätzliche Elektronikwerkzeuge. Diese sind durchweg kleiner als typische Werkzeuge und erforderlich, um die Drahtanschlüsse elektronischer Bauteile vor dem Einlöten vorzubereiten. Mit einer großen Kombizange wird das kaum gelingen. Auch die Finger werden wahrscheinlich versagen, da präzises Arbeiten gefragt ist. Dieses Kapitel erläutert, welche Elektronikwerkzeuge und sonstiges Zubehör erforderlich sind, damit dem richtigen Löten nichts mehr im Wege steht.

## 2.1 Welche Lötspitze für welchen Zweck?

Für den Erfolg einer Lötung ist nicht nur der richtige LötKolben nach Kapitel 1, sondern auch die richtige Lötspitze entscheidend. Man kann sie deshalb bei vielen LötKolben austauschen. Je nachdem, was Sie löten möchten, brauchen Sie einmal eine Bleistift- oder Flachspitze oder eine in Meißelform. Eine Lötspitze in Bleistiftspitzenform, die vor allem bei batteriebetriebenen LötKolben nach Kapitel 1.5 anzutreffen ist, ermöglicht punktgenaue Lötungen. Sie ist deshalb bestens geeignet, um sehr kleine Bauteile oder die Beinchen von Integrierten Schaltungen (ICs) ein- oder auszulöten. Die Lötspitzen lassen sich meist leicht mit einem Schraubenzieher auswechseln. Bei einigen LötKolben können Sie die Spitze sogar ohne Werkzeug abschrauben oder abziehen (Abb. 2.2). Der LötKolben muss bei allen Auswechselarbeiten ausgekühlt sein.

Im Gegensatz zu Lötspitzen aus Kupfer sollten Dauerlötspitzen, die an die meisten LötKolben angeschraubt sind immer mit Lot bedeckt bleiben. Das vermeidet Oxi-



**Abb. 2.1** – Die Lötspitzen vieler LötKolben sind austauschbar. Meist ist dazu eine Schraube zu lockern.



**Abb. 2.2** – Besonders komfortabel sind LötKolben mit Schnellwechsellspitze.

## 2.1 Welche Lötspitze für welchen Zweck?



**Abb. 2.3** – Drei unterschiedliche Lötspitzen, links im Bild eine Bleistiftspitze.

ation und eine passive Lötspitze. Dauerlötspitzen sind deshalb nur von Verunreinigungen und überflüssigem Altlot zu befreien. Nehmen sie trotzdem kein Lot mehr auf, wickeln Sie einige Windungen flussmittelhaltigen Lötdraht um die kalte Lötspitze. Schließen Sie danach den LötKolben ans Lichtnetz an, um ihn auf Temperatur zu bringen.

### Lötspitze richtig handhaben verlängert die Lebensdauer

Der richtige Umgang pflegt die Lötspitze und verlängert so deren Lebensdauer. Dabei ist zwischen Lötspitzen aus Kupfer und sogenannten Dauerlötspitzen zu unterscheiden. Lötspitzen aus Kupfer transportieren die Wärme nahezu verlustlos zur Lötstelle. Dabei oxidieren sie jedoch stark und geben beim Löten mikroskopisch kleine Kupferteilchen ab. Das greift ihre Oberfläche an. Nur wenn Sie die Kupferlötspitze penibel pflegen, erreicht sie eine lange Lebensdauer – und das heißt: Die Spitze regelmäßig an einem feuchten Küchenschwamm abwischen, damit möglichst wenig Lot haften bleibt. Wenn man den Schwamm zuschneidet, passt er in jede dafür vorgesehene Schale eines LötKolbenständers nach Kapitel 2.6. Der Fachhandel führt dafür auch spezielle Lötswämme in passenden Größen.



**Abb. 2.4** – Eine mit Lot benetzte Dauerlötspitze.

## 2.2 Mit Elektronikerzangen Anschlussdrähte zuverlässig bearbeiten

**E**lektronikerzangen sind nur etwa halb so groß wie normales Werkzeug und eignen sich durch ihre zierliche Ausführung zum Bearbeiten elektronischer Bauteile. Mit einer Elektronikerflachzange können Sie Anschlussdrähte von Widerständen, Dioden oder Kondensatoren vor dem Einbauen bequem zurechtbiegen und so den Bohrungen auf der Platine anpassen. Mit einem Elektronikerseitenschneider oder einer kleinen Printzange lassen sich zu lange Drähte nach dem Einlöten der Bauteile kürzen. Sie sind so weit abzuwickeln, dass der Anschlussdraht nur noch rund 0,5 mm bis weniger als 1 mm aus dem Lötauge ragt. Das gelingt nicht mit normalen Elektrikerzangen. Mit ihnen ist es außerdem kaum möglich, einen einzelnen Anschlussdraht zu bearbeiten, wenn Sie mehrere Bauteile eingelötet haben.

Mit kleinen Printzangen lassen sich nur dünne weiche Drähte von rund 0,2 mm bis maximal 1,6 mm Durchmesser durchtrennen. Drähte mittlerer Härte dürfen Sie mit Printzangen dagegen nur bis zu einem Durchmesser von maximal 1 mm abkneifen. Wegen ihrer zierlichen Form und der kleinen Schneidfläche sind solche Zangen nicht für



Abb. 2.5 – Gebogene Elektronikerflachzange



Abb. 2.6 – Elektronikerseitenschneider mit Drahtklammer

## 2.2 Mit Elektronikerzangen Anschlussdrähte zuverlässig bearbeiten



**Abb. 2.7** – Eine Printzange. Die im Bereich der Schneidefläche angebrachte Drahtklammer verhindert, dass die abgezwickten Drahtenden unkontrolliert wegspringen.

größere Drahtquerschnitte geeignet, die in der Elektroinstallation anzutreffen sind. Tiefe Kerben in der Schneidefläche wären die Folge, die das Bearbeiten feiner Drähte unmöglich machen würde.

### *Elektronikrundzangen*

gibt es in verschiedenen Größen. Sie eignen sich, um kleine Ösen zu biegen und so beispielsweise die Anschlussdrähte der Bauteile besser anschrauben zu können. Auch Bauteile lassen sich mit diesen Zangen schonend halten.



**Abb. 2.8** – Elektroniker-Rundzange.

## 2.3 Abisolierzange macht Drahtenden blank

Mit Abisolierzangen können Sie den Kunststoff an den Drahtenden einige Millimeter abziehen, um den Draht so lötbar zu machen. Entscheidend ist, dass sich die Abisolierzange für verschiedene Drahtdurchmesser einstellen lässt. Das erleichtert das Abziehen, ohne den Leiter zu beschädigen. Für elektronische Anwendungen führt der Fachhandel spezielle Modelle, die für sehr dünne Drähte im Kunststoff- oder Gummimantel geeignet sind. Das können ein-, mehr- oder feindrähtige Leiter mit Durchmessern von 0,1 mm bis 0,8 mm sein.

Mit etwas Geschick lässt sich die Isolierung bei Drahtdurchmessern ab rund 0,5 mm auch mit einem Seitenschneider entfernen. Drücken Sie diesen nur so weit zusammen, dass der Kunststoffmantel gerade durchtrennt wird, und ziehen Sie die Isolierung vom Draht ab. Drücken Sie den Seitenschneider zu fest zu-

sammen, können Sie den Draht unbeabsichtigt abzwicken, oder Sie haben mit einer Kerbe eine mögliche Fehlerquelle hinterlassen. Durch Verbiegen oder anderen mechanischen Druck wird der Draht wahrscheinlich genau an dieser Stelle brechen.

### *Abisolierpinzette für dünne Drähte mit Lackschicht*

Häufig sind sehr feine Drähte mit kaum erkennbarem, durchsichtigem Lack umgeben. Sie erkennen diese Isolierung am besten, wenn Sie den Draht zwischen die Finger nehmen. Die Lackschicht fühlt sich etwas glatter und wärmer an als die blanke Drahtoberfläche. Um den Lack zu entfernen, ist eine Lackabzieh-Pinzette ideal. Man spricht auch von einer Abisolierpinzette. Je nach Ausführung eignet sie sich für Drahtdurchmesser von rund 0,5 mm bis 1 mm.

## 2.4 Verschiedene Schraubenzieher

Verschiedene Schraubenzieher zählen ebenfalls zur Standardausstattung eines Elektronikbastlers. Neben Flach- und Kreuzschlitz-Schraubenziehern können welche mit Sonderspitzen gefragt sein, um Gehäuse zu öffnen oder Platinen auszubauen. Schraubendreher mit flacher Klinge sind hilfreich, wenn Sie einen IC vom Sockel abheben oder einen regelbaren Widerstand auf einer Schaltung einstellen möchten. Neben Schraubenziehern normaler Größe benötigen Sie für Elektronikanwendungen kleine Feinmechaniker-Schraubendreher.



**Abb. 2.9** – Eine Grundausrüstung an üblichen Schraubenziehern sollten Elektronikbastler griffbereit haben



**Abb. 2.10** – Feinmechaniker-Schraubenzieher im Set

## 2.5 Pinzette und Lupe dürfen nicht fehlen

**P**inzetten helfen, eine Platine mit sehr kleinen elektronischen Bauteilen zu bestücken. Hierzu gehören SMD-Bauteile nach Kapitel 10, die Sie damit punktgenau löten können. Dabei sind Geschick und eine ruhige Hand gefragt. Herkömmliche Elektronikerzangen nach Kapitel 2.2 kommen wegen ihrer Größe nicht infrage. Pinzetten sind auch beim Auslöten von Bauteilen oder beim Hantieren mit ICs praktische Werkzeuge.

Auch einfache Lupen sollten zur Standardausstattung eines Elektronikbastlers gehören. Sie ermöglichen es, die Qualität vor allem einer kleinen Lötung besser zu beurteilen. Ist der Lötunkt einwandfrei? Oder fehlt Lötzinn, weil ein Teil der Platinenbohrung noch sichtbar

ist? Ein Blick durch die Lupe verschafft Gewissheit. Auch schlechte Kontaktstellen, Defekte und Beschriftungen an Bauteilen lassen sich so problemlos erkennen – von Vorteil bei sehr filigranen Lötarbeiten.

Lupen können bereits an Platinenhalterungen befestigt sein. Das Kapitel 2.7 erläutert unter der Überschrift *Helping Hands – eine preiswerte Alternative?* diese Platinenhalterungen. Die Lupe an diesen Geräten ist so auszurichten, dass Sie die Arbeitsstelle optimal sehen können. Das erlaubt, beim Einlöten sehr kleiner IC-Beinchen das Lötzinn exakt aufzutragen, um anschließende Kurzschlüsse zu vermeiden.

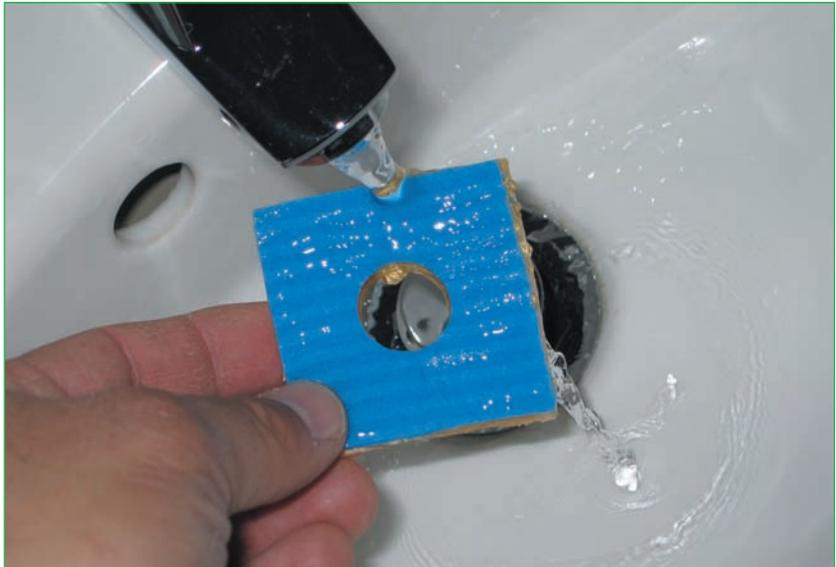
## 2.6 Woran Sie gute LötKolbenständer erkennen

**G**ute LötKolbenständer besitzen einen stabilen Standfuß, an dem eine solide Metallwendel montiert ist (Abb. 2.11). Diese nimmt den gesamten vorderen heißen Teil des LötKolbens auf und schützt so vor Berührung. Der Standfuß garantiert sicheren Halt, so dass der LötKolben nicht verrutschen kann. Diese LötKolbenständer eignen sich am besten für FeinlötKolben nach Kapitel 1.1 und UniversallötKolben nach Kapitel 1.2, also Geräte mit bis zu 40 W Leistung. Auch etwas größere LötKolben mit bis zu 80 W können in die Metallwendel hineinpassen. Da sie jedoch deutlich größer sind, muss man abschätzen, ob der LötKolbenhalter noch stabil stehen kann. Er besitzt meist eine Schale, in die Sie einen kleinen befeuchteten Schwamm legen können. Egal, ob zugeschnittener Küchenschwamm oder der passende Lötswamm aus dem Fachhandel: Streifen Sie die LötKolbenspitze gelegentlich daran ab, um sie von Ablagerungen und überflüssigem Lot zu reinigen.

**Abb. 2.12** – Den Lötswamm kann man unter fließendem Wasser befeuchten, ausdrücken und in die Schale des LötKolbenständers legen.



**Abb. 2.11** – Ein solider Ablageständer ist der ideale Aufbewahrungsort für heiße LötKolben.



## 2.6 Woran Sie gute LötKolbenständer erkennen

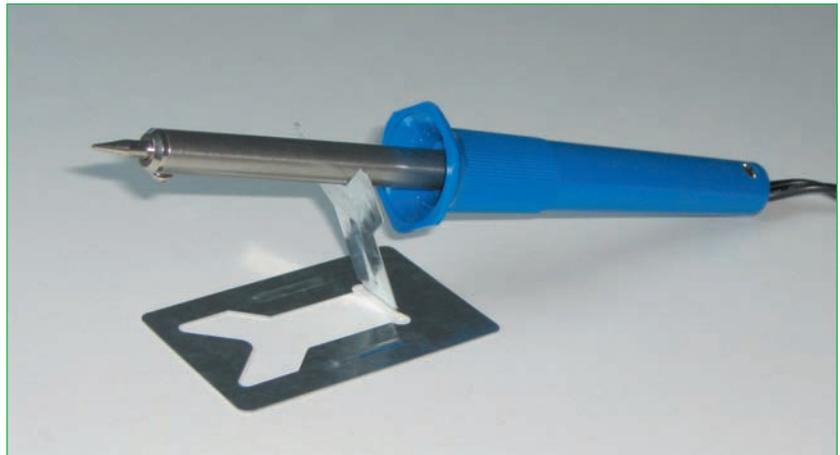
LötKolbenhalter gibt es nicht nur als Lötzubehör zu kaufen. Sie sind auch im Lieferumfang der meisten Lötstationen enthalten, über die Kapitel 15 informiert.

### *Vorsicht bei kleinen Ständern*

Immer wieder sind LötKolben kleine Ständer beige packt. Sie haben meist die Form eines Plättchens mit aufklappbarem Bügel (Abb. 2.13). Anders als die großen LötKolbenständer geben diese Modelle nur wenig Halt. Berühren Sie das Anschlusskabel, kann der LötKolben aus der Halterung fallen und Schaden anrichten. Die Miniaturhalter schützen außerdem nicht davor, die Lötspitze unabsichtlich zu berühren. Sie sind deshalb nur ein Notbehelf, als solide Dauerlösung scheiden sie aus – es sei denn, Sie nutzen einen großen StandardlötKolben nach Kapitel 1.3, der für gängige Halter zu lang und zu schwer ist. In diesem Fall kommen Sie um einen kleinen Ständer nicht umhin. Bevor Sie den LötKolben darauf ablegen, achten Sie auf ein frei liegendes Anschlusskabel. Es darf nicht am Arbeitstisch herunterhängen, damit es den LötKolben nicht nach unten ziehen kann.



**Abb. 2.13** – Mitunter sind LötKolben sehr filigrane Ständer beige packt, die nur ein Notbehelf sind.



**Abb. 2.14** – Kleine LötKolbenständer sollte man nur für lange schwere LötKolben verwenden.

## 2.7 Spezialschraubstöcke machen das Lötén leichter

**D**amit das Lötén problemlos klappt, sollte man die Platine nicht mit einer Hand festhalten und mit der anderen den LötKolben. Komfortabler arbeiten Sie mit Feinmechanikerschraubstöcken, in die Sie empfindliche Werkstücke wie Platinen einspannen können. Feinmechanikerschraubstöcke sind universell einsetzbar und kommen deshalb für Basteleien aller Art infra-



**Abb. 2.16** – Mit der aufsteckbaren Spannzwin ge lässt sich der Schraubstock an jeder Tischplatte befestigen.



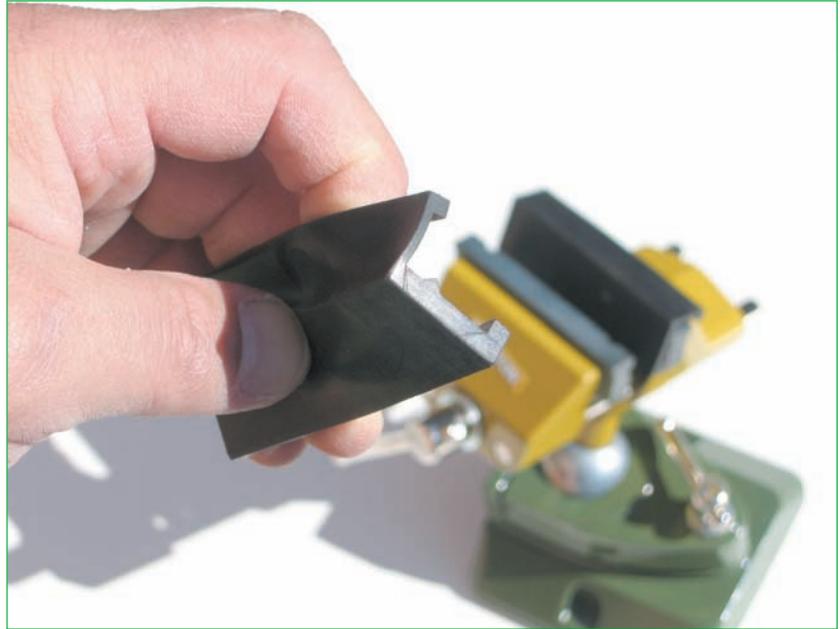
**Abb. 2.15** – Feinmechaniker-Schraubstöcke eignen sich bestens für Lötáufgaben.

ge. Sie sind relativ schwer und bieten stabilen Halt – selbst dann, wenn Sie den Schraubstock auf den Tisch stellen. Haben Sie zu Hause eine Werkstatt, können Sie ihn an der Werkbank anschrauben. Möchten Sie den Feinmechanikerschraubstock an verschiedenen Orten nutzen, lässt er sich mit einer aufsteckbaren Spannzwin ge an fast jeder Tischplatte montieren. Andere Modelle haben einen Saugfuß, mit dem man sie besonders schonend an glatten Oberflächen befestigen kann. Diese Schraubstöcke liefern höchsten Arbeitskomfort und mindern das Unfallrisiko.

Schraubstöcke haben mehrere Vorteile, die das Lötén entscheidend vereinfachen. Sie erlauben, die zu

## 2.7 Spezialschraubstöcke machen das Löten leichter

bearbeitende Platine je nach Größe so einzuspannen, dass sie nach oben ragt, oder man spannt sie quer zwischen beide Backen – ganz nach Bedarf. Damit die Schraubstockbacken der Platine nichts anhaben können, besitzen einige Modelle Schutzkappen aus Kunststoff. Besonders komfortabel ist das Kugelgelenk, mit dem Sie die Platine in die Position bringen können, in der die Arbeit am leichtesten von der Hand geht. Lockern Sie den Spannhebel etwas, und Sie können den Schraubstock in alle Richtungen schwenken. Selbst vermeintlich



**Abb. 2.17** – Schutzkappen aus Kunststoff lassen sich über die Metallbacken des Schraubstocks stülpen und schützen so empfindliche Werkstücke.



schwer zugängliche Arbeitsbereiche sind so leicht zu erreichen.

Die beschriebenen Kleinschraubstöcke führt der Fachhandel unter verschiedenen Bezeichnungen wie „Kugelkopf-Schraubstock“ oder „Vakuum-Schraubstock“. Für gute

**Abb. 2.18** – Mit dem Kugelgelenk können Sie die Platine in die Position bringen, in der die Arbeit am leichtesten von der Hand geht.

## 2.7 Spezialschraubstöcke machen das Löten leichter

Modelle sollten Sie mindestens 25 Euro einplanen. Eine Preisgrenze nach oben gibt es nicht.

### *Helping Hands – eine preiswerte Alternative?*

Wer Geld sparen möchte, kann auf sogenannte Helping Hands, zu Deutsch helfende Hände, zurückgreifen – ein im Gegensatz zum Feinmechanikerschraubstock eher filigranes Gebilde. Es besteht aus einem kleinen Standfuß und einer Stange, an der Gelenke und zwei Krokodilklemmen mit Flügelmuttern festzuschrauben sind. Auf der Stange kann zusätzlich eine ebenfalls dreh- und schwenkbare Lupe montiert sein. Klemmen Sie die Platine in die Krokodilklemmen ein und richten Sie sie in die gewünschte Lage aus. Ein wenig Übung ist allerdings erforderlich, bis Sie die Handhabung mit wenigen Handgriffen beherrschen. Die Krokodilklemmen sind außerdem

mit Vorsicht zu genießen. Da sie fest zupacken, können sie bei unachtsamer Handhabung schon einmal eine Leiterbahn zerstören. Auch der Größe der zu lötenden Platinen sind im Gegensatz zu Feinmechaniker-

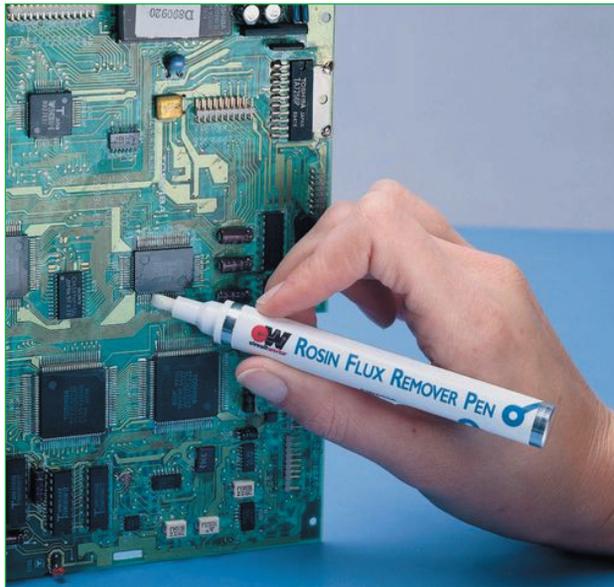
schraubstöcken Grenzen gesetzt: Mit zunehmender Größe des Werkstücks steigt die Gefahr, dass der Platinenhalter umkippt, was die Arbeit etwas erschwert.



**Abb. 2.19** – Der Umgang mit diesem zierlichen Platinenhalter will gelernt sein.

## 2.8 Flussmittelentferner beseitigt Lötückstände

Lötzinn enthält ein sogenanntes Flussmittel, das für das leichte Schmelzen und gleichmäßige Verteilen des Lots im Arbeitsbereich verantwortlich zeichnet. Nachdem die Lötstelle ausgekühlt ist, hinterlässt es an der Platinenoberfläche allerdings hässliche bräunliche und etwas klebrige Rückstände. Diese lassen sich mit Flussmittelentferner beseitigen, der als Spray oder Stift im Fachhandel erhältlich ist. Im Gegensatz zum Flussmittelentferner in Sprayform kann man mit Reinigungsstiften gezielt und punktgenau säubern. Typische Anwendungsgebiete sind gedruckte Leiterplatten, Bauteilanschlüsse und empfindliche Schaltbauteile.



**Abb. 2.21** – Ein Flussmittelentferner als Reinigungsstift erlaubt, Lötückstände punktgenau zu entfernen. (Foto: Chemtronics)



**Abb. 2.20** – Mit einem Flussmittelspray und einem Tuch lassen sich Lötückstände bequem abwischen. (Foto: Chemtronics)

Achten Sie bei der Auswahl des Flussmittelreinigers auf die zu bearbeitenden Materialien und auf die Art des Flussmittels. Lesen Sie dazu die Herstellerhinweise auf den Verpackungen oder recherchieren Sie alternativ im Internet auf den Websites der Hersteller. Mitunter stoßen Sie dort auf Vergleichstabellen, die Ihnen die Auswahl eines Produkts erleichtern. Achten Sie dabei auch auf Kunststoffverträglichkeit. Flussmittelentferner schonen die meisten Kunststoffe, elastisch verformbare Kunststoffe, man spricht auch von Elastomeren, und die meisten Gummitypen.

## 2.9 Alte Bauteile auslöten? Entlötdraht und Entlötpumpe helfen

Beim Löten sind nicht nur elektronische Bauteile auf eine Platine zu stecken und Bausätze zusammenzubasteln. Auch das Auslöten von Bauelementen gehört dazu – zum Beispiel, wenn Sie einen defekten Widerstand gegen einen neuen austauschen möchten oder ein ausgedientes Gerät „auschlachten“. Damit sich das Lötzinn an den Bauteilen sicher entfernen lässt, sind Entlötdrähte zu empfehlen. Sie sind aus vielen dünnen, hochflexiblen Metalllitzen geflochten, flussmittelgetränkt und nehmen so das Altlot auf. Je nachdem, ob Sie kleine oder große Bau-



Abb. 2.22 – Entlötdrähte aus Kupferlitze.

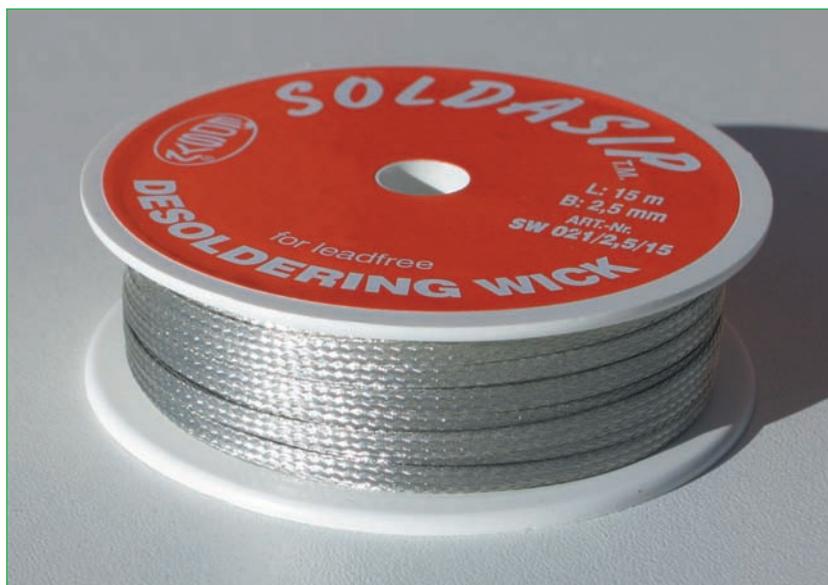


Abb. 2.23 – Bei dieser Entlötlitze ist ein Hinweis, der auf ihre Eignung für bleifreies Lot hinweist, angeführt.

teile auslöten wollen, führt der Fachhandel Entlötdrähte in verschiedenen Breiten von rund 0,6 mm bis 5 mm. Zu unterscheiden sind außerdem Drähte für altes, bleihaltiges und neues, bleifreies Lötzinn. Entlötdrähte sind nur einmal verwendbar und halogenfrei. Kapitel 8.1 erläutert, wie man sie fachgerecht einsetzt, damit das Lotentfernen komfortabel klappt.

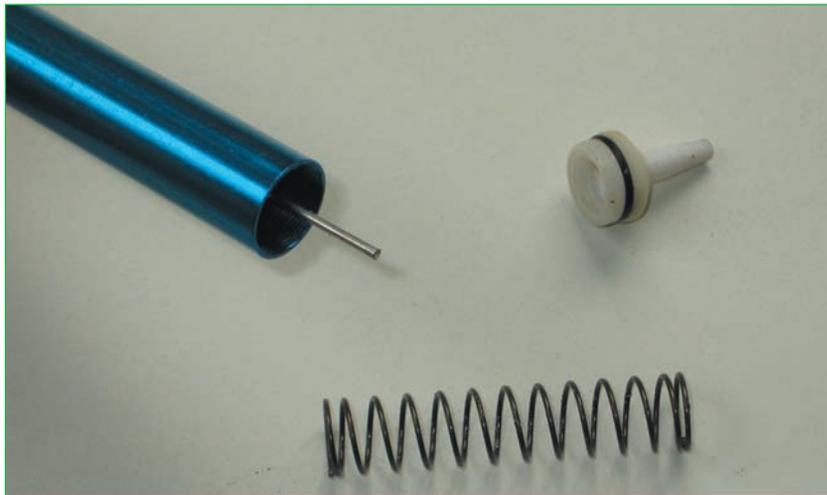
Mit einer Entlötpumpe können Sie überschüssiges Lötzinn absaugen. Sie gleicht einem überdimensionierten Kugelschreiber und besteht aus einem Zylinder, in den ein mit einer Spiralfeder vorgespannter Kolben eingebaut ist. An der Spitze

## 2.9 Alte Bauteile auslöten? Entlötdraht und Entlötpumpe helfen

ist eine hitzebeständige Teflonspitze mit einem kleinen Loch aufgeschraubt. Wenn Sie Lötzinn absaugen wollen, müssen Sie den Kolben spannen. Drücken Sie dazu den Griff auf der Rückseite so weit in den Zylinder, bis dieser einrastet. Er ist jetzt über die Spiralfeder vorgespannt, die Sie über einen Knopf entspannen können. Der erzeugte Unterdruck saugt das überschüssige Lot auf und transportiert es in



**Abb. 2.24** – Eine höherwertige Entlötpumpe ist oft an einem Metallzylinder erkennbar.



**Abb. 2.25** – Das Innenleben einer Entlötpumpe

den Zylinder. Hochwertige Entlötpumpen kompensieren diesen Rückstoß, so dass die Entlötspitze beim Absaugen nicht mehr auf die Lötstelle aufschlägt. Der Umgang mit Entlötpumpen erfordert etwas Übung. Kapitel 8.2 erläutert, wie beim Entlöten mit der Pumpe vorzugehen und auf was dabei zu achten ist.

## 3 Sicherheit geht vor

Lötkolbenspitzen werden über 400 Grad Celsius heiß. Um Schäden zu vermeiden, muss man umsichtig mit dem heißen Gerät hantieren, das sonst im schlimmsten Fall einen Brand auslösen kann! Nicht jeder Anwender besitzt eine Werkstatt, in der er nach Lust und Laune basteln kann, ohne besonders aufs Mobiliar achten zu müssen. Wenn Sie im Wohnzimmer, der Küche oder im Büro löten, entfernen Sie deshalb vorher alle brennbaren Stoffe aus dem Arbeitsbereich. Dazu zählen nicht nur Papier, sondern auch leicht entflammbare Flüssigkeiten wie Reinigungsmittel und Sprays.

### 3.1 Arbeitsstelle mit wenig Aufwand sicher einrichten

**W**er auf Nummer sicher gehen will, kann mit geringem Aufwand die Arbeitsstelle optimieren und so Schäden nachhaltig vorbeugen. Um den Tisch zu schützen, eignet sich als Arbeitsunterlage beispielsweise ein Stück von einem PVC-Bodenbelag. Man kann in Baumärkten oder Möbelhäusern danach fragen. Es sollte am besten so groß wie der Tisch sein, um ihn vollständig zu bedecken. Ein eineinhalb bis zwei Meter breites und ein Meter tiefes PVC-Stück tut allerdings auch seinen Dienst. Darauf finden Sie ausreichend Platz zum Löten und für das Zubehör, das Sie zum Basteln benötigen. PVC-Bodenbeläge lassen sich danach platz sparend zusammenrollen und in eine Ecke



**Abb. 3.1** – Ein Reststück eines PVC-Bodenbelags eignet sich bestens als Arbeitsunterlage.

### 3.1 Arbeitsstelle mit wenig Aufwand sicher einrichten

stellen. Statt eines Bodenbelags kommt auch ein zurechtgeschnittenes Stück eines stabilen Kartons infrage. Da weder Karton noch Bodenbelag feuerfest sind, schützen sie zwar die Tischoberfläche, sind aber kein Freibrief für unachtsames Handeln.

Denken Sie auch an den Boden, auf dem zwar kaum der Lötkolben, aber heißer Lötzinn landen kann. Selbst vorsichtiges Löten schützt davor nicht. Haben Sie einen Stein- oder Fliesen-Boden, können Sie später das Lötzinn leicht vom Boden entfernen. Holz- oder gar Teppichböden und Teppiche reagieren dagegen auf heißes Lötzinn „allergisch“. Legen Sie deshalb einen großen Karton auf den Boden, der auch unter den Tisch ragt. Stellen Sie einen Stuhl darauf und schon sollte nichts mehr passieren.



**Abb. 3.2** – Den Boden kann man am besten mit einem großen ausgebreiteten Stück Karton schützen.

## 3.2 Augen auf bei Lötspitze und Lötzinn

**A**uch wenn das vielleicht etwas unbequem ist: Den heißen LötKolben sollte man nicht achtlos auf die Tischplatte legen und das Stromkabel herunterhängen lassen. Da vor allem Fein- und Universal-LötKolben sehr leicht sind, werden sie häufig vom schweren Stromkabel nach hinten gezogen. Dabei kann die Lötspitze die Tischplatte berühren, und der Schaden ist eingetreten.

*Mit Lötspitze einen Bogen um Anschlusskabel machen*

Achten Sie darauf, dass die heiße Lötspitze auf keinen Fall in die Nähe des Anschlusskabels gelangt, das zum LötKolben führt! Wegen der Hitze schmilzt die Isolation des Kabels. Ist Ihnen doch so ein Missgeschick passiert, berühren Sie keine metallischen Teile und ziehen Sie sofort den Netzstecker des LötKolbens aus der Steckdose. Untersuchen Sie danach das Kabel gründlich. Haben Sie Glück gehabt, ist die Isolierung nur leicht angesengt. Aber Achtung: Der Isolierkunststoff hat an dieser Stelle deutlich an Elastizität verloren und kann deshalb jederzeit aufbrechen! Ist das Kabel eher am Ende angesengt, lässt es sich durch Kürzen reparieren. Einfach den verbrannten Teil mit einer Kneifzange oder einem Seitenschneider abkneifen und den Netzstecker neu anschrauben. Ist ein größerer Teil des Kabels beschädigt, muss man dagegen den LötKolben als Elektroschrott entsorgen. Nutzen Sie Kabel und LötKolben dagegen weiter, kann die Lötspitze die Schadstelle durch eine Unachtsamkeit noch einmal berühren. Im schlimmsten Fall erleiden Sie einen Stromschlag mit



**Abb. 3.3** – Ein mittlerer 30-W-LötKolben hinterlässt bereits nach 90 Sekunden hässliche Flecken auf einem Holzstück.



**Abb. 3.4** – Zu viel Lot an der Lötspitze

## 3.2 Augen auf bei Lötspitze und Lötzinn

tödlichen Folgen. Auch um die Schadstelle gewickelter Gewebeklebeband hilft nicht weiter, weil es sich mit der Zeit lösen kann. Angesengte Kabel sind deshalb ausnahmslos auszutauschen.

### *Zu viel Lot auf Lötspitze vermeiden*

Mitunter sammelt sich auf der Lötspitze viel Lot an, das als bedrohlicher Tropfen herunterhängt. Es kann jederzeit auf die Platine fallen und diese beschädigen. Da sich das Lot auf der Platinenoberfläche in viele große, aber auch sehr kleine Spritzer verteilt, können Kurzschlüsse auftreten. Im schlimmsten Fall ist die Leiterplatte unbrauchbar geworden – vor allem dann, wenn sie kleine elektronische Bauteile trägt. Je kleiner die Lötspitze, umso größer ist die Gefahr, dass so etwas passiert. Damit sich nicht zu viel Lot an der Spitze ansammelt, streifen Sie diese regelmäßig am Lötswamm ab. Mit sauberen Lötspitzen geht das Löten außerdem leichter von der Hand. Sie sollten das überschüssige Lot übrigens nicht abschütteln. Diese unter Elektronikern weit verbreitete Praxis führt dazu, dass einige große und viele kleine und kleinste Tropfen an



**Abb. 3.6** – Von der Lötspitze abgeschütteltes Lot verteilt sich unkontrolliert.



**Abb. 3.5** – Die Lötspitze regelmäßig von Verunreinigungen und überflüssigem Lot reinigen

Stellen landen, wo sie nicht hingehören. Fallen Tropfen auf Baugruppen, können sie diese zerstören. Manchmal werden größere Flächen mit einer dünnen Lotschicht überzogen. Gelangen Lottropfen auf Haut, Möbelstücke oder Bodenbeläge, sind Brandflecken nicht weit.



**Abb. 3.7** – Ein Block aus altem Lötzinn. Auch daran kann man zu viel Lot von der Lötspitze abstreifen. (Foto: Burkhard Kainka)

### 3.3 Hände weg von zu lötenden Teilen

**M**an kann sich durch achtloses Hantieren mit der Lötkolbenspitze leicht die Finger verbrennen. Deshalb die zu lötende Platine nicht in der Hand halten, um von vornherein genügend Abstand zur heißen Lötspitze zu haben. Zittern Sie zu stark oder rutschen von der Arbeitsstelle ab, haben Sie sich sonst schnell verbrannt. Dauerhafte Narben können die Folge sein. Für sicheres Arbeiten ist deshalb ein Feinmechaniker-Schraubstock nach Kapitel 2.7 zu empfehlen, in den Sie die Platine einspannen können. Gleiches gilt für zu lötende Metallteile, die man ebenfalls nicht mit der Hand anfassen sollte. Da Metalle sehr gute Wärme-

leiter sind, breitet sich die zugeführte Hitze sehr schnell auf die gesamte Metallfläche aus. Sie müssen deshalb nicht einmal die unmittelbare Nähe der Lötstelle berühren, um sich zu verbrennen. Haben Sie sich aus Versehen doch einmal verbrannt, kühlen Sie die Stelle so schnell wie möglich mit lauwarmem Wasser. Auch wenn Ihnen kaltes Wasser angenehmer erscheint, sollten Sie einen Bogen darum machen. Es verengt die Blutgefäße und behindert so die Wärmeabfuhr durch das zirkulierende Blut. Wer zufällig schmerzlindernde Zinksalbe zur Hand hat, kann durch Auftragen auf die verbrannte Stelle der Blasenbildung vorbeugen.

## 4 Perfekte Lötunkte auf Platine setzen

**W**enn Sie Ihre Arbeitsstelle nach Kapitel 3 sicher eingerichtet, den passenden Lötkolben sowie erforderliches Werkzeug und Zubehör griffbereit haben, steht dem richtigen Löten nichts mehr im Wege – und das beginnt bei korrekten Lötverbindungen. Ohne sie läuft in elektronischen Schaltungen nichts. Man erkennt einwandfreie Lötstellen aus bleihaltigem Lötzinn an einer möglichst glatten, hoch-



**Abb. 4.1** – Einwandfreie Lötunkte aus bleihaltigem Lötzinn sind am metallischen Glanz zu erkennen. (Foto: imago)

## 4 Perfekte Lötunkte auf Platine setzen

glänzenden Oberfläche ohne poröse Stellen (Abb. 4.1). Damit die Lötung gelingt, geben Sie nur so viel Lötzinn auf die Lötstelle, dass Sie die Kontur des Bauteilanschlusses im erstarrten Lotkegel gut erkennen können. Der Lötzinnkegel sollte beim Handlöten einen Winkel von 30 Grad bis maximal 50 Grad haben (Abb. 4.2). Die Lötverbin-

dung wird nicht stabiler, wenn Sie mehr Lot auftragen. Außerdem können Kurzschlüsse auftreten, weil der große Lötklumpen benachbarte Lötkontakte oder Leiterbahnen berühren kann.

*Wie trägt man das Lot richtig auf?*  
Zuerst erwärmen Sie mit der Lötspitze die zu verbindenden Metall-

teile auf Arbeitstemperatur. Fügen Sie anschließend Lot hinzu, das sich durch die heißen Metalle erhitzt und schmilzt. Die Lötspitze sollte es kaum berühren. So kann sich das Lot gleichmäßig verteilen und die Metallteile gut miteinander verbinden. Außerdem bleibt es kaum oder gar nicht an der Lötspitze haften.

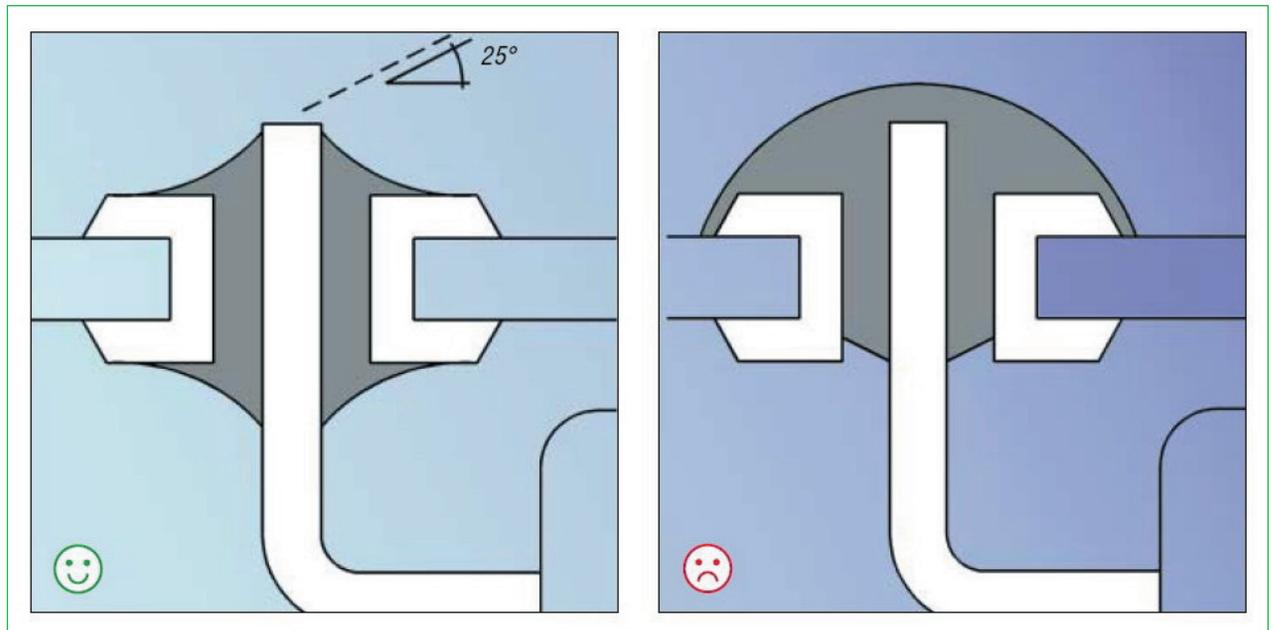
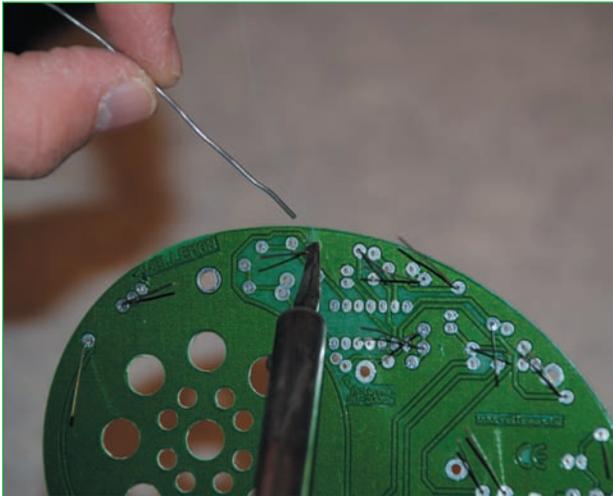


Abb. 4.2 – Links die richtige, rechts die falsche Lötung (Foto: Ersä)

## 4.1 Leitfaden zum Vorgehen

Damit der erste Bausatz nicht an Lötstellen scheitert, die nur so aussehen, als wäre eine leitende Verbindung vorhanden, ist einwandfreies Löten erforderlich. Aber mit etwas Übung wird jede Lötstelle sogar perfekt. Die folgenden Arbeitsschritte erläutern am Beispiel einer einzubauenden Fassung für eine Integrierte Schaltung (IC), wie man perfekte Lötstellen auf die Platine setzt. IC-Fassung nach Kapitel 6.9 in die vorgesehenen Bohrungen stecken und los geht's.



**Abb. 4.3** – Schritt 1: Lötzinn und Lötspitze gleichzeitig auf die Lötstelle führen.

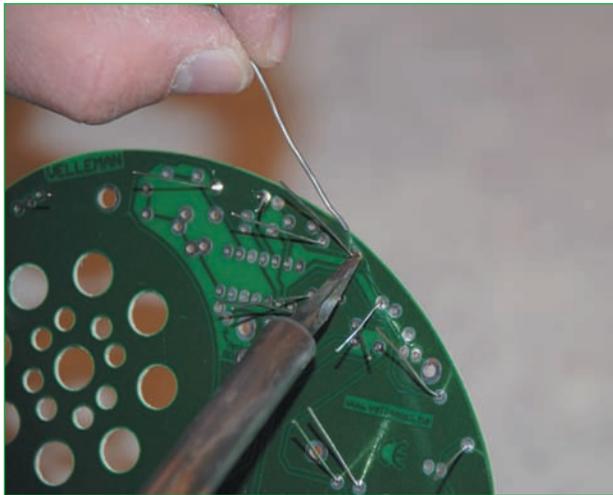


**Abb. 4.4** – Schritt 2: Die Position der Lötspitze nicht verändern, bis das Lötzinn die Lötstelle vollständig bedeckt

Führen Sie zuerst Lötzinn und Lötspitze gleichzeitig auf die Lötstelle. Die Lötspitze muss nach Abb. 4.4 sowohl das IC-Beinchen als auch die Platinenfläche berühren. Verändern Sie die Position der Lötspitze nicht, bis das Lötzinn die Lötstelle vollständig bedeckt. Das dauert je nach Temperatur des LötKolbens rund eine halbe bis zu einer Sekunde. Danach führen Sie die Lötspitze im Halbkreis rechts um das IC-Beinchen herum (Abb. 4.5).

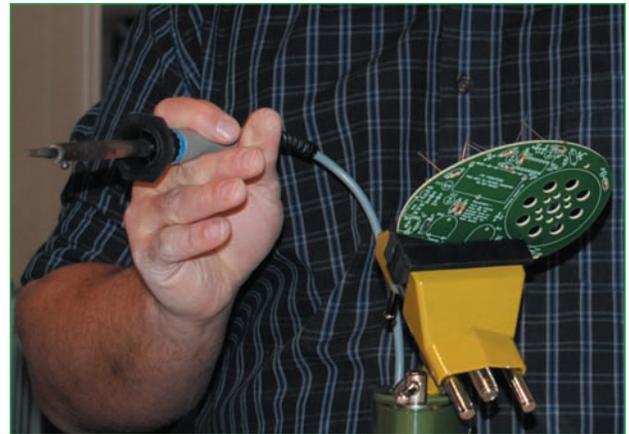
## 4.1 Leitfaden zum Vorgehen

Gleichzeitig das Lötzinn links herum führen und nachschieben, so dass es auf einer Länge von rund einem Millimeter schmilzt. Durch die Hitze verteilt sich das Lot gleichmäßig. Ist die richtige Menge Lötzinn verbraucht, nehmen Sie zuerst den Lötendraht von der Lötstelle weg.



**Abb. 4.5** – Schritt 3: Die Lötspitze im Halbkreis rechts um das IC-Beinchen, das Lötzinn links herum führen

Zuletzt ziehen Sie die Lötspitze abrupt weg. Das noch dünnflüssige und durch das Flussmittel geschützte Lötzinn erreicht seine endgültige Form und erstarrt. Mit etwas Übung gleichen sich so am Ende alle Lötstellen auf der Platine wie ein Ei dem anderen.



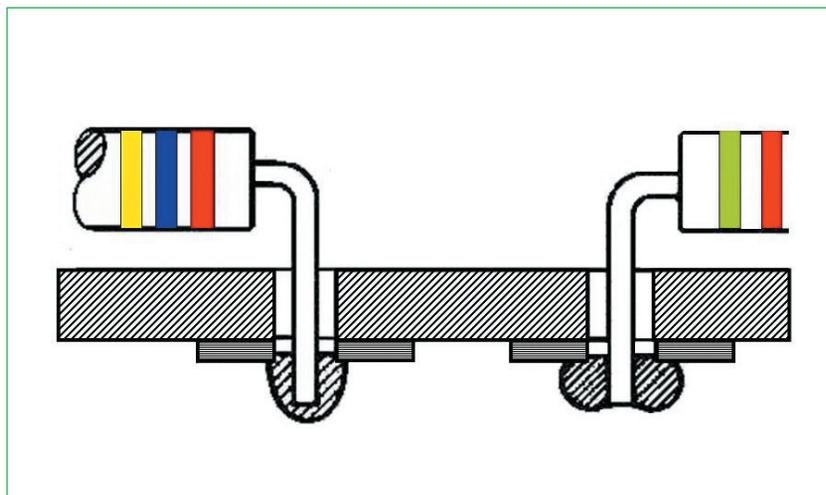
**Abb. 4.6** – Schritt 4: Nachdem Sie den Lötendraht von der Lötstelle entfernt haben, die Lötspitze abrupt wegziehen – fertig

## 5 Rote Karte für Kalte Lötstellen

**D**amit eine elektronische Schaltung funktioniert, müssen alle Lötunkte einwandfrei sein. Wenn Sie laut Kapitel 4 vorgehen, kann eigentlich nichts schief gehen. Trotzdem lohnt sich ein Blick auf schlechte Lötstellen. Vor allem Kalte Lötstellen gehören dazu, die bei bleihaltigem Lot etwas matt aussehen und manchmal auch eine klumpige Oberfläche haben. Sie sind im Elektronikbereich gefürchtet und begegnen nicht nur dem Hobbybastler.

## 5 Rote Karte für Kalte Lötstellen

Selbst bei gekauften Geräten lassen sich immer wieder welche auf der Platine finden. Es können Monate oder Jahre vergehen, bis sich eine Kalte Lötstelle bemerkbar macht und zu Betriebsstörungen führt. Davon betroffen sind auch sehr preiswerte Geräte der Unterhaltungselektronik. Funktionieren sie nach einiger Zeit nicht mehr so, wie sie sollten, ziehen Sie den Gerätestecker aus der Steckdose und werfen Sie einen Blick ins Geräteinnere. Entdecken Sie eine Kalte Lötstelle, löten Sie diese nach und das Gerät sollte wieder funktionieren.



**Abb. 5.1** – Kalte Lötstellen sind an der klumpigen oder breiigen Form des Lots erkennbar.

## 5.1 Schlechte Lötstellen erkennen und vermeiden

**Z**u schlechten Lötunkten gehören neben Kalten Lötstellen auch Lötunkte mit zu viel oder zu wenig Lot. Wenn man weiß, wie schlechte Lötstellen aussehen, und kennt man die unterschiedlichen Ursachen, lassen sie sich vermeiden.

### *Zu leistungsschwacher LötKolben*

Kalte Lötstellen treten meist auf, wenn man die Lötstelle mit einem zu leistungsschwachen LötKolben nicht genügend erhitzt hat. Sie können bereits bei kleinsten Erschütterungen aufbrechen, für die bereits ein Wechselstrom in einer Schaltung verantwortlich zeichnen kann. Nach längerer Zeit kann sich das Bauteil komplett vom Lötunkt lösen und nur noch frei beweglich in der Bohrung stecken. Bei schlechter elektrischer Verbindung können sogar kleine Lichtbögen auftreten, wenn größere Ströme fließen. Sie führen zu Verbrennungen im Bereich der Lötstelle, die an einer leichten Rußschicht zu erkennen sind. Dadurch verschlechtert sich der elektrische Kontakt weiter.

### *Kein Lot auf Lötspitze auftragen*

Man sollte kein Lot an der LötKolbenspitze schmelzen lassen und erst danach auf die Lötstelle auftragen. Das Flussmittel verflüchtigt sich, weil das Lötzinn zu lange erwärmt wird. Dadurch werden die Metalle, die zu löten sind, nicht heiß genug. Ein minderwertiger Lötunkt als potenzielle Fehlerquelle ist die Folge.

### *Zu hohe Löttemperatur*

Kalte Lötstellen können auch bei zu hoher Löttemperatur auftreten, weil die Metalle schneller oxidieren. Ein

typisches Zeichen für eine zu hohe Löttemperatur sind sogenannte Whisker. Diese Lötückstände ragen wie hauchdünne Zacken aus der Lötstelle heraus und können zu Kurzschlüssen führen. Körnige Oberflächen sind deshalb ein Zeichen für eine überhitzte Lötstelle oder zu langes Löten.

### *Alte Platinen*

Vorsicht bei alten Platinen, auf denen sich eine Oxidschicht gebildet hat. Diese verhindert, dass man die Lötstelle mit ausreichend Lot benetzen kann. Deshalb alte Platinen reinigen bevor es ans Löten geht.

### *Zu wenig Lot auf Lötauge*

Fehlt der kleine Lotkegel um den Bauteilanschluss oder ist er kaum ausgebildet, haben Sie einen weiteren Typ einer schlechten Lötstelle vor sich. Das Lötauge oder die Bohrung in der Platine ist nicht vollständig mit Lötzinn bedeckt. Das passiert, wenn Sie zu wenig Lot auftragen. Betriebsstörungen treten zwar nicht sofort,

### **Tipp**

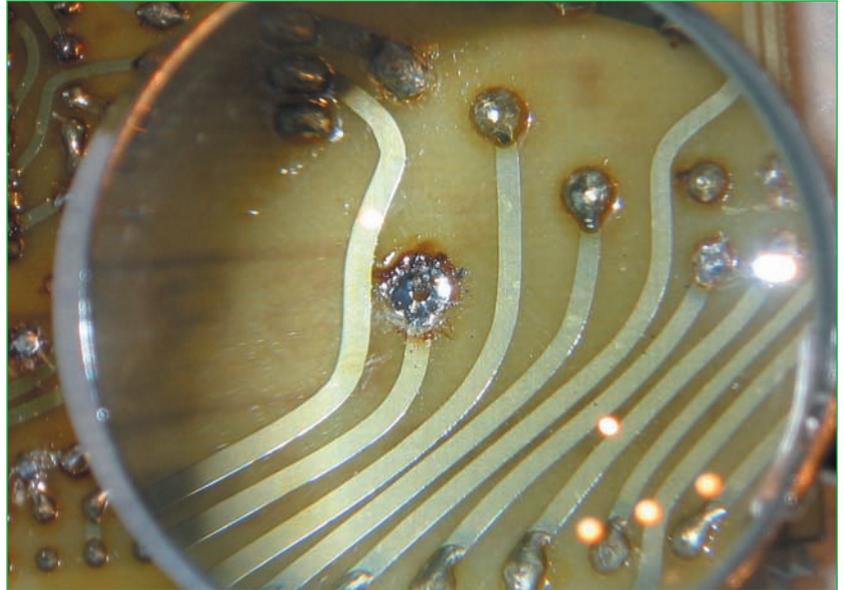
Achten Sie darauf, dass beim Abkühlen einer eben erst fertiggestellten Lötung der gesamte Bereich erschütterungsfrei bleibt. Weder die Platine noch die eben eingelöteten Bauteile berühren. Nur wenn Sie die Platine ruhig liegen oder im Feinmechanikerschraubstock eingespannt lassen, kann das Lot in Ruhe aushärten. So lassen sich Kalte Lötstellen einfach und sicher vermeiden.

## 5.1 Schlechte Lötstellen erkennen und vermeiden

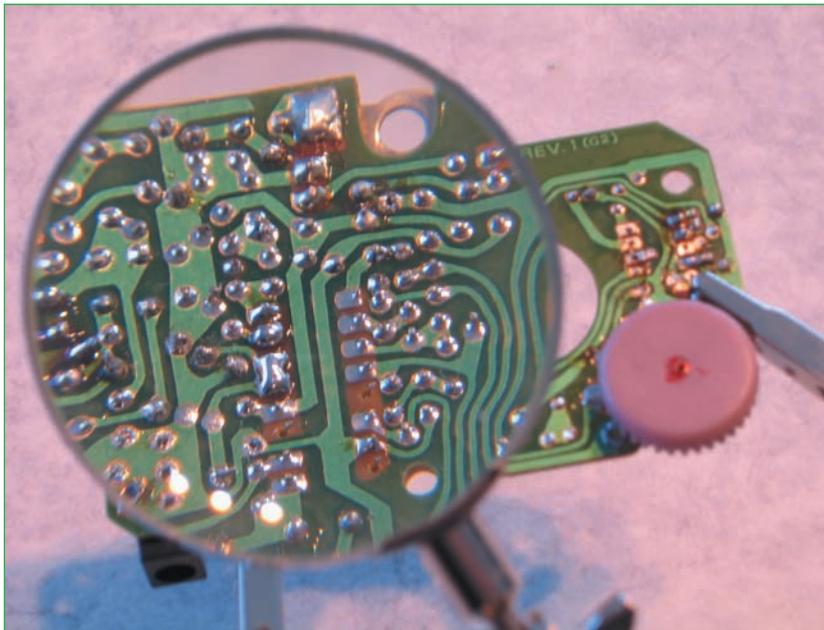
aber wahrscheinlich mit der Zeit auf. Im Zweifel mit einer Lupe kontrollieren, nachlöten – fertig.

### *Zu viel Lötzinn auf Lötstelle*

Trägt die Lötstelle zu viel Lot, sind die Lotkegel zum Teil deutlich größer, als sie sein sollten. Zum Entlöthdraht oder zur Entlötpumpe greifen und das überflüssige Lot entfernen. Kapitel 8 beschreibt, wie dabei vorzugehen ist. Zur Not eignet sich auch die gereinigte LötKolbenspitze nach Kapitel 8.3.



**Abb. 5.2** – Ein Lötunkt mit zu wenig Lot.



**Abb. 5.3** – Lötunkte mit zu viel Lot.

## 6 Platine mit Bauteilen bestücken – so geht's

**B**evor man einen Elektronikbausatz zusammenbastelt oder defekte Bauteile auswechselt, sollte man sich ausführlich mit den elektronischen Bauelementen beschäftigen. Dieses Kapitel erläutert deshalb die wichtigsten Bauteile einer Schaltung, wie man sie in der Basteltüte erkennt und richtig auf die Platine steckt – denn bei vielen ist neben der Einbaustelle auch die Einbaurichtung zu beachten. Wenn Sie sich diese Grundlagen in Ruhe durchlesen, steht dem erfolgreichen Zusammenbau eines Elektronikbausatzes nach Kapitel 7 nichts mehr im Wege. Dieses Kapitel ist außerdem eine Nachschlagemöglichkeit für Bastler, die sich schnell über einzelne Bauteile informieren möchten, um sie richtig einzulöten.

## 6.1 Keine Angst vor Maßeinheiten – mit Vorsatzzeichen sicher umgehen

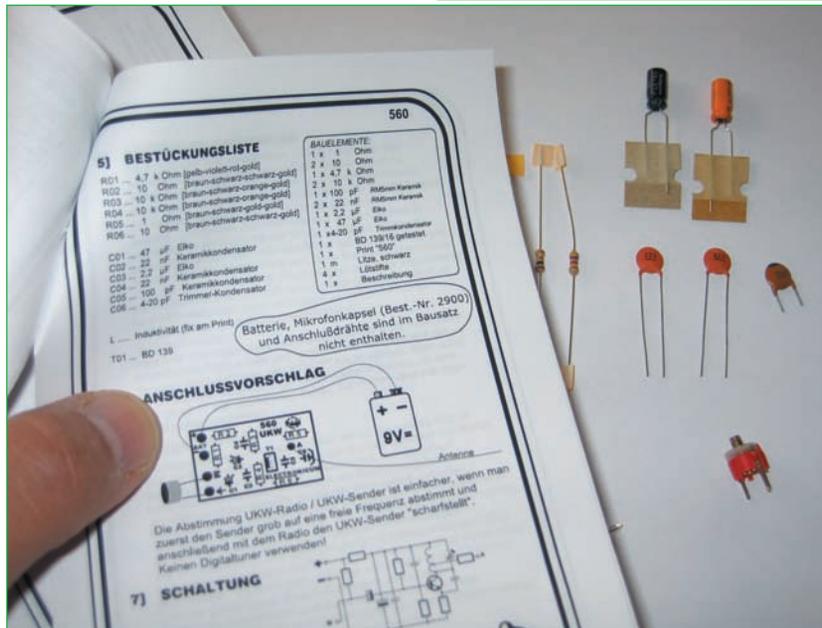
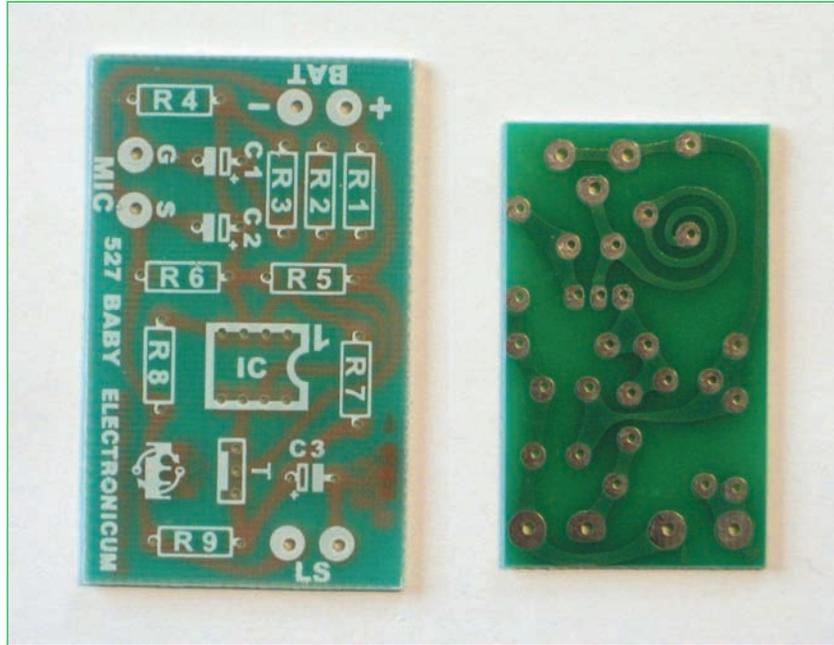
Die Techniker nutzen Vorsatzzeichen, um Messwerte von Widerständen und anderen Bauteilen besser angeben zu können. Sie kommen um diese Angaben nicht umhin, wenn Sie eine elektronische Schaltung zusammenlöten möchten. Beispielsweise werden Kapazitäten für Kondensatoren nach Kapitel 6.7 meist in Nano- oder Pico-Farad angegeben. Ein Nanofarad ist ein Milliardstel Farad, ein Picofarad ist ein Billionstel

Farad. Auch nach oben gibt es kaum eine Grenze. Widerstände nach Kapitel 6.3 mit mehreren Megaohm sind keine Seltenheit. Ein Megaohm entspricht einer Million Ohm. In allen Fällen sind die Werte meist zu groß oder zu klein, um allein mit der Grundmaßeinheit auszukommen. Die Tabelle informiert über alle Vorsatzzeichen, die es in der Elektrotechnik gibt.

Vorsatzzeichen bei Maßeinheiten		
Giga (G)	$10^9$	Faktor 1.000.000.000 (Milliarde)
Mega (M)	$10^6$	Faktor 1.000.000 (Million)
Kilo (k)	$10^3$	Faktor 1.000 (Tausend)
Milli (m)	$10^{-3}$	Faktor 0,001 (Tausendstel)
Mikro ( $\mu$ )	$10^{-6}$	Faktor 0,000.001 (Millionstel)
Nano (n)	$10^{-9}$	Faktor 0,000.000.001 (Milliardstel)
Pico (p)	$10^{-12}$	Faktor 0,000.000.000.001 (Billionstel)

## 6.2 Die Platine – Bestückungsplan als wertvolle Einbauhilfe

Die Platine oder Leiterplatte ist das Trägermaterial einer elektronischen Schaltung und trägt auf ihrer Vorderseite den Bestückungsplan (Abb. 6.1). Dieser zeigt anhand technischer Symbole und Abkürzungen, wo und wie die einzelnen Bauteile einzustecken sind. Die Abkürzungen stehen für einzelne Bauteiltypen und sind international genormt (siehe Tabelle auf der folgenden Seite). So kennzeichnet etwa ein „R“ einen Widerstand. Welches Bauteil wo einzubauen ist, geht aus der anschließenden Zahl hervor. Wollen Sie beispielsweise den Widerstand „R6“ bestücken,



**Abb. 6.1** – Die Platine eines Bausatzes. Auf die Vorderseite ist der Bestückungsplan aufgedruckt (linke Seite). Er verrät, wie die Bauteile einzustecken und anzulöten sind.

müssen Sie ihn ausfindig machen. Welcher Widerstand im Bausatz ist „R6“? Bei dieser Suche hilft die Stückliste, die jeder Bausatz enthalten sollte (Abb. 6.2). Sie listet alle verwendeten Bauteile, deren Bezeichnung auf dem Bestückungs-

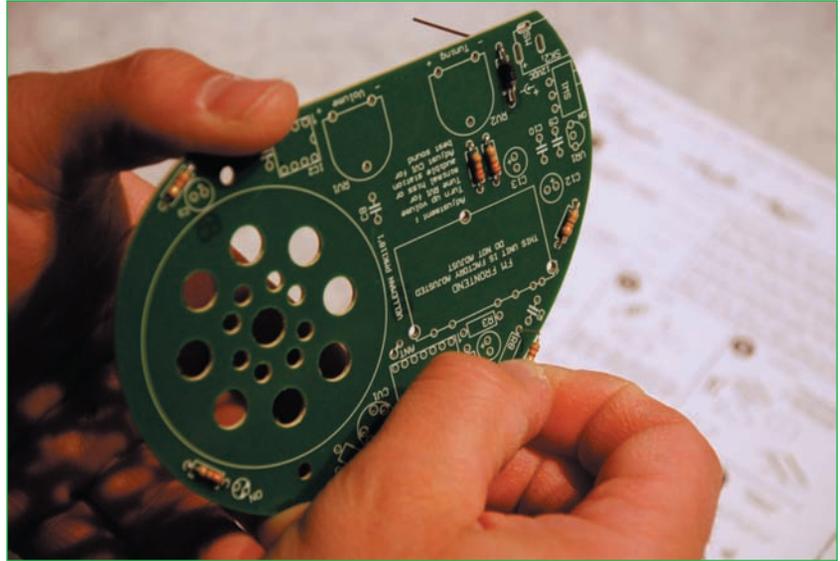
**Abb. 6.2** – Anhand der Stückliste kann man das gesuchte Bauteil ausfindig machen.

## 6.2 Die Platine – Bestückungsplan als wertvolle Einbauhilfe

plan, zum Beispiel „R6“, und informiert bei Widerständen auch über deren Farbbrünge. Nachdem Sie den Widerstand „R6“ anhand der Farbbrünge identifiziert haben, setzen Sie ihn auf den Bestückungsplan am vorgesehenen Platz auf. Bei anderen Bauteilen ist ähnlich vorzugehen. Bei Spulen müssen Sie nach Kapitel 6.4 die Induktivität, bei Kondensatoren nach Kapitel 6.7 die Kapazität ermitteln, um die Bauteile auf der Platine an der richtigen Stelle einbauen zu können. Wie man nach dem Bestücken die einzelnen Bauelemente fachgerecht anlötet, erläutert Kapitel 7.2.

### Die Rückseite

der Platine trägt Leiterbahnen und Lötunkte, die um kleine Bohrungen herum angeordnet sind. Während die Leiterbahnen häufig mit einem Schutzlack überzogen sind, glänzen die Lötunkte silbrig, weil sie verzinnt sind. Man spricht auch von Löt pads oder Lötäugen. An diese Punkte sind die Bauteile anzulöten. Bestücken Sie dazu die Platine auf der bedruckten Vorderseite wie beschrieben mit den Bauelementen.



**Abb. 6.3** – Beim Bestücken einer Platine auf die richtigen Stellen achten. Der Bestückungsplan ist der Wegweiser.

### Was bedeuten die Abkürzungen auf der Platine?

Komponente	Abkürzung
BAT	Batterieanschluss
C	Kondensator
D	Diode
IC	Integrierter Schaltkreis
LS	Lautsprecheranschluss
R	Widerstand
T	Transistor

## 6.3 Mit Widerständen beginnen

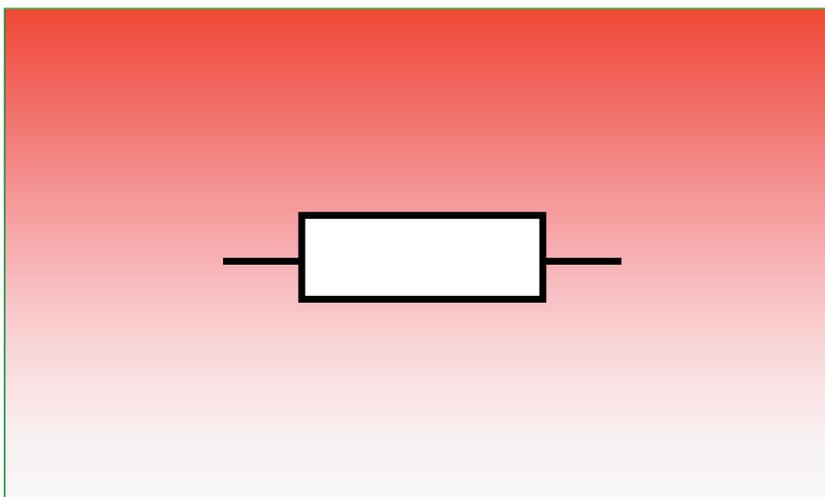
**W**iderstände sind als einfachstes Bauteil leicht zu handhaben. Man sollte sie deshalb zuerst auf die Platine stecken. Was beim späteren Anlöten zu beachten ist, erläutert Kapitel 7.2 unter der Überschrift *Widerstände*. Laut Faustformel sind immer die Bauteile zuerst zu verarbeiten, die unproblematisch sind. In eine elektronische Schaltung sind fast immer mehrere Widerstände einzubauen. Da der Strom durch sie in beide Richtungen fließt, ist es egal, wie man die Anschlussdrähte in die vorgesehenen Bohrungen auf der Platine steckt.

### *Ohmwert ermitteln kann beim Einbau helfen*

Die Bauteile unterscheiden sich in den Widerstandswerten, die in Ohm ( $\Omega$ ) angegeben sind. Diese kann man ermitteln und schauen, ob diese Werte auch in der Stückliste für die betreffenden Bauteile angegeben sind – quasi eine Sicherheit, damit die spätere Schaltung auch tatsächlich funktioniert. Falls die Stückliste nur über die Wider-

standswerte, nicht aber über die Farbringe der Widerstände informiert, müssen Sie die Ohmwerte ermitteln. Nur dann können Sie die Bauteile anhand der beigeordneten Zahl aus dem Bestückungsplan nach Kapitel 6.2 identifizieren und an der richtigen Stelle der Platine einbauen. Die Widerstandswerte lassen sich leicht mit einem Vielfachmessinstrument oder Multimeter messen. Einfach den Wider-

standsmessbereich einstellen, die Messstrippen anlegen und den Ohmwert ablesen (Abb. 6.6). Wer kein Multimeter zur Hand hat, muss den aufgedruckten Farbcode entziffern, der aus vier Ringen besteht. Die ersten drei Ringe sind eng nebeneinander aufgedruckt. Die ersten beiden geben die Zahlenwerte, der dritte Ring einen Multiplikationsfaktor an. Angenommen, der Widerstand hat die



**Abb. 6.4** – Widerstände sind in Schaltplänen und auf der Platine mit diesem Zeichen abgebildet.

## 6.3 Mit Widerständen beginnen

Farben gelb, violett und rot. Die Widerstandstabelle aus dem Anhang in Kapitel 17.2 erläutert, dass der linke gelbe Ring für „4“, der violette für „7“ steht. Daraus ergibt sich der Zahlenwert „47“. Der dritte Ring in Rot steht für den Multiplikationsfaktor „100“. Sie müssen danach 47 mit 100 multiplizieren, ergibt  $4.700 \Omega$ . Da sich das nicht so schön liest, sprechen Techniker auch von 4,7 Kiloohm ( $k\Omega$ ). Kilo ist



**Abb. 6.5** – Ein typischer Widerstand. Der aufgedruckte Farbcode informiert über den Widerstandswert.

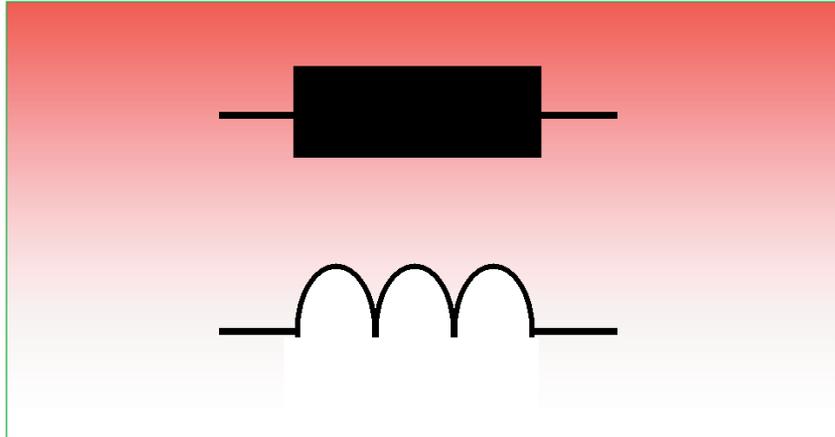


**Abb. 6.6** – Mit einem Multimeter lassen sich die Widerstandswerte schnell und genau messen.

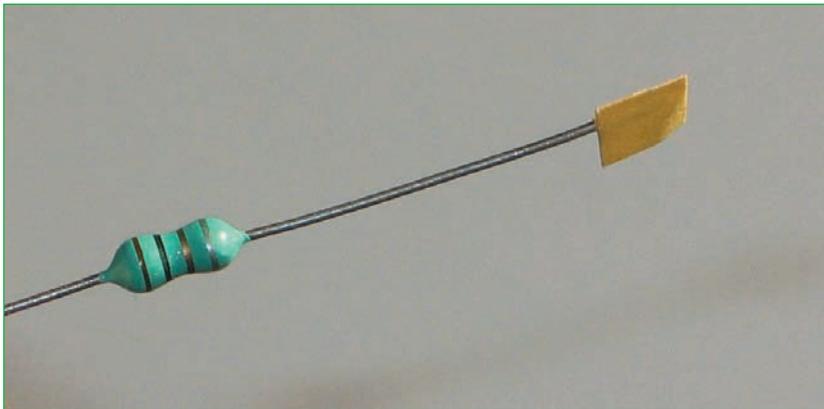
ein Vorsatzzeichen vor der Maßeinheit Ohm und steht für  $10^3$  (vgl. Kapitel 6.1). Die Rechenprobe:  $4,7 \times 10^3 = 4.700 \Omega$ . Der vierte Ring auf dem Widerstand gibt die Fertigungstoleranz an. Ein goldener Ring steht für 5 Prozent, ein Silbering für 10 Prozent Abweichung vom errechneten Widerstandswert. Meist wird Ihnen der goldene Ring begegnen. Der beschriebene Widerstand hat damit einen tatsächlichen Wert, der zwischen  $4,5 k\Omega$  bis  $5 k\Omega$  liegt.

## 6.4 Spulen

Spulen oder sogenannte Induktivitäten werden in der Einheit Henry (H) gemessen. Meist hat man es mit Induktivitäten im Mikrohenrybereich ( $\mu\text{H}$ ) zu tun. Spulen sind nicht immer leicht zu erkennen, weil sie oft so ähnlich wie Widerstände aussehen. Sie sind allerdings mitunter etwas größer und, für Widerstände ungewohnt, in Grün eingefärbt (Abb. 6.8). Um die Induktivität einer Spule zu ermitteln, eignet sich wie bei Widerständen der aufgetragene Farbcode. Die Werte sind im Anhang im Kapi-



**Abb. 6.7** – Schaltzeichen für Spulen. Je nach Schaltplan ist das eine oder das andere Zeichen eingetragen.



**Abb. 6.8** – Sieht zwar wie ein Widerstand aus, ist aber eine Spule, zu erkennen an der grünen Farbe.

tel 17.3 der Tabelle zu entnehmen. Ist die Induktivität bestimmt, wählen Sie anhand der Stückliste die richtige Spule aus, und stecken sie laut Bestückungsplan nach Kapitel 6.2 ein und löten sie fest.

## 6.5 Dioden

**D**ioden haben einen Plus- und einen Minus-Pol, so dass sie den Strom nur in eine Richtung passieren lassen. Beim Minuspol spricht man auch von der Kathode, die auf dem Gehäuse der Diode und im Schaltbild an einem Strich zu erkennen ist (Abb. 6.9 und Abb. 6.10). Auf der Platine verrät sie ein dicker ausgefüllter Strich. Der Pluspol heißt Anode und ist auf der Leiterplatte durch einen dicken, nicht ausgefüllten Strich gekennzeichnet. Zusätzlich kann ein kleines Pluszeichen aufgedruckt sein. Stecken

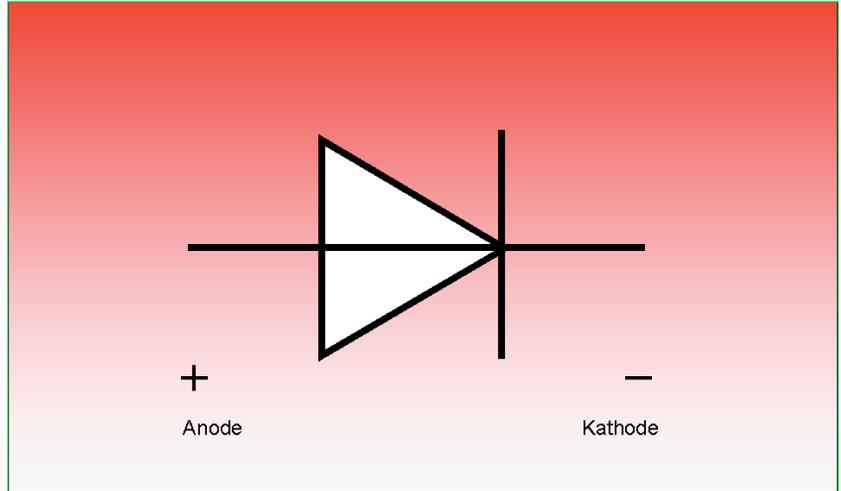


Abb. 6.9 – Schaltzeichen einer Diode.

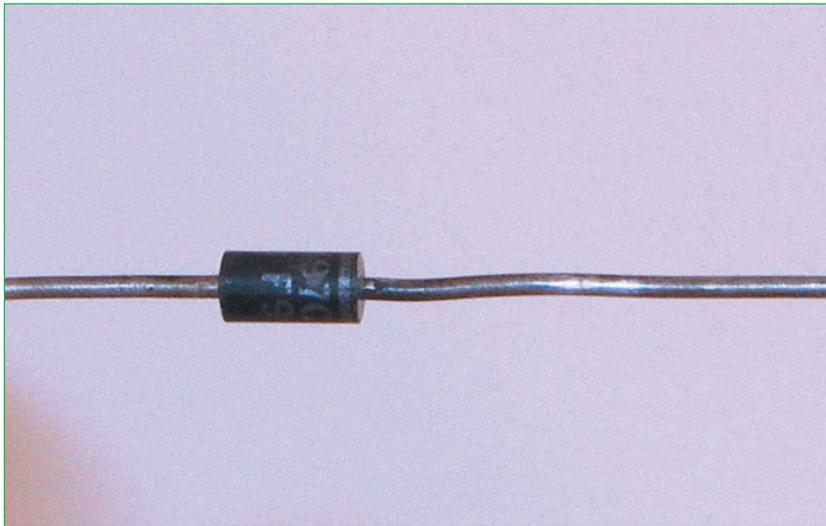


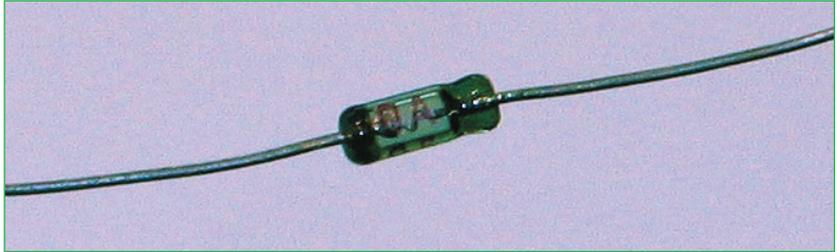
Abb. 6.10 – Man erkennt den Minuspol oder die Kathode auf dem Gehäuse der Diode am aufgedruckten Ring (rechte Seite).

Sie dieses Bauteil mit der richtigen Polarität auf die Platine (Abb. 6.12). Die meisten, in Elektronikbausätzen verwendeten Dioden sind sehr klein. Sie brauchen deshalb eventuell eine Lupe, um die Beschriftung zu entziffern.

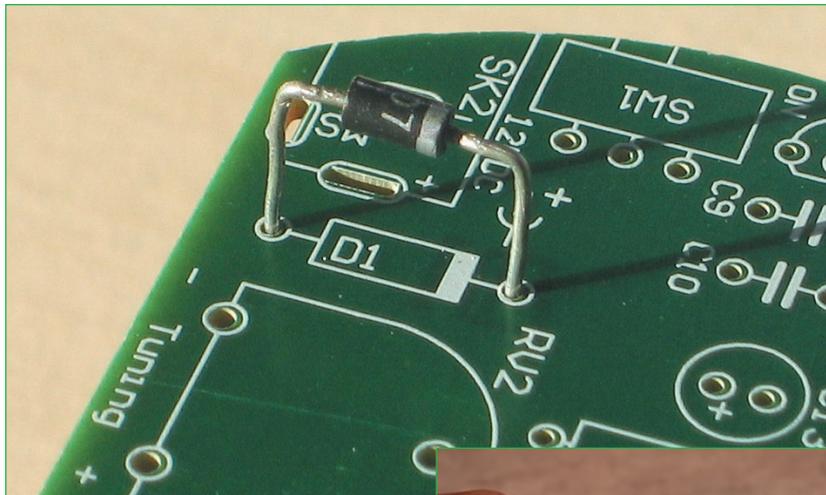
Die Einsteckrichtung der Diode können Sie auch mit einem Multimeter ermitteln. Der sogenannte Durchgangstest ist bei älteren Dioden erforderlich, bei denen der Kathodenring kaum noch sichtbar ist. Stellen Sie dazu den Drehschalter des Vielfachmessgeräts auf das Diodenzeichen oder den kleinsten Widerstandsmessbereich. Durch die

## 6.5 Dioden

Diode wird nur Strom fließen und damit ihr Innenwiderstand messbar sein, wenn die rote Messstrippe an der Anode und die schwarze Messstrippe an der Kathode anliegen.

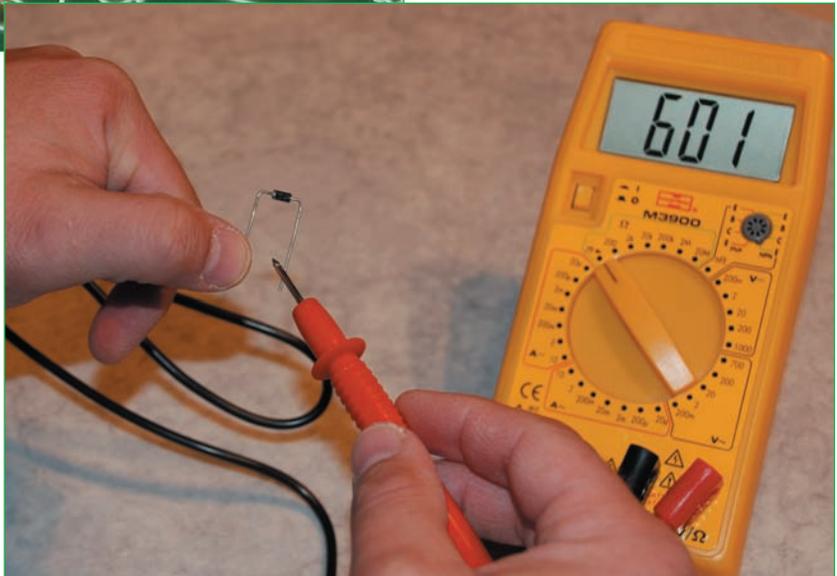


**Abb. 6.11** – Auch das ist eine Diode. Statt des aufgedruckten Rings informiert eine Einkerbung darüber, welche Seite die Kathode ist.



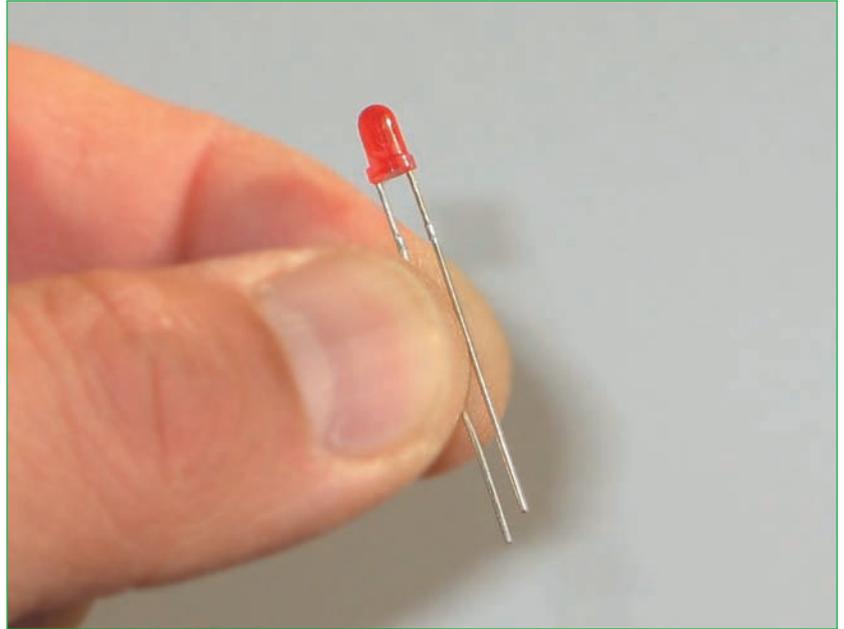
**Abb. 6.12** – Diese Diode ist richtig auf die Platine gesteckt. Der dicke Strich im Schaltzeichen auf der Platine stimmt mit dem Ring der Diode überein. Beides symbolisiert den Minuspol.

**Abb. 6.13** – Das Multimeter zeigt den Innenwiderstand der Diode an. Damit sind Anode und Kathode sicher ermittelt.

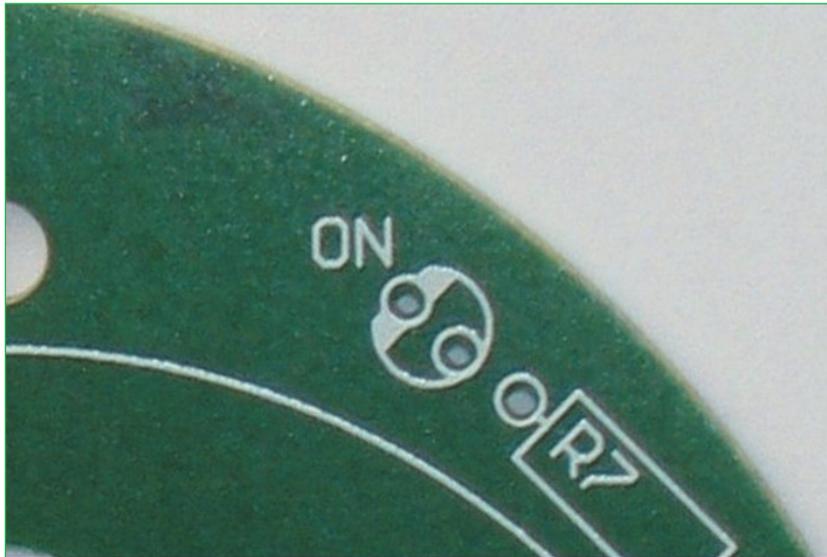


## 6.6 Leuchtdioden

Leuchtdioden werden in Elektronikbausätzen beispielsweise als Signallämpchen verwendet. Wie übliche Dioden lassen sie den Strom nur in eine Richtung passieren. Beim Bestücken dieser Bauteile ist deshalb wieder auf die richtige Polarität zu achten. Kathode und Anode sind bei einer LED an den Anschlussdrähten erkennbar: Der kürzere kennzeichnet die Kathode, also den Minuspol. Auf der Platine ist der Einbauort mit einem Kreis beschriftet, der an einer Seite abgebrochen ist und dort einen dicken



**Abb. 6.14** – Leuchtdioden haben verschieden lange Drahtanschlüsse, der kürzere ist der Minuspol.



**Abb. 6.15** – Damit Sie wissen, wie die Leuchtdiode in die Schaltung einzubauen ist, ist die Kathode auf der Platine durch einen fetten Strich gekennzeichnet.

Strich trägt (Abb. 6.15). Diese Seite ist die Kathode. Um die LED auf die Platine zu löten, stecken Sie den kürzeren Drahtanschluss durch die Bohrung im Bereich dieses Strichs.

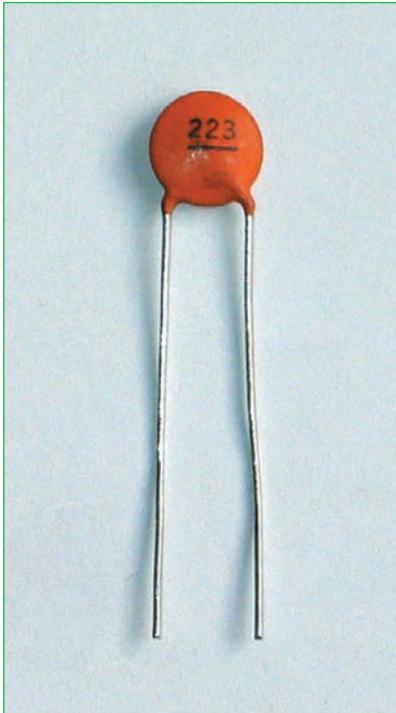
## 6.7 Kondensatoren

**K**ondensatoren speichern elektrische Energie. Dieses Speicherungsvermögen bezeichnen Techniker als Kapazität, die in Farad (F) angegeben ist. Man unterscheidet ungepolte und gepolte Kondensatoren sowie Drehkondensatoren oder Drehkos. Diese Bauteile sind mit Ausnahme der axialen Modelle

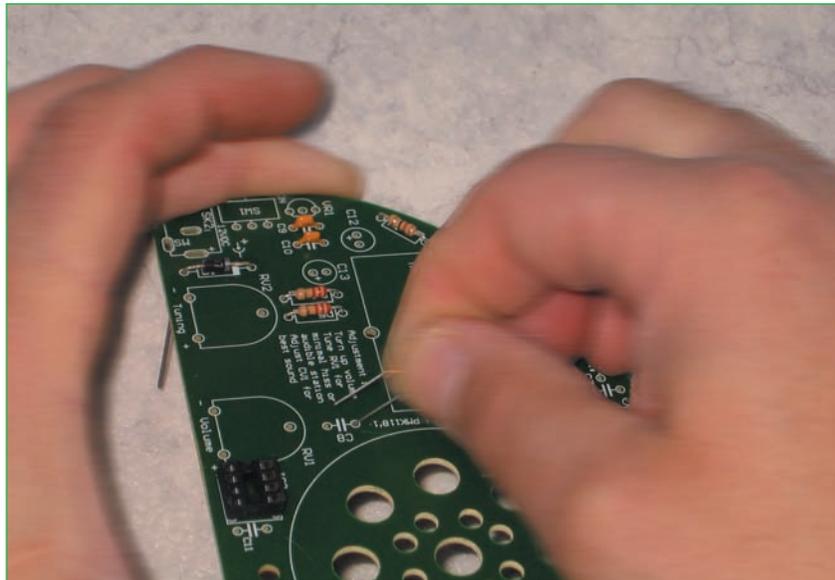
stehend in die Platinenbohrungen zu stecken. Bei axialen Kondensatoren verlassen die Anschlussdrähte das Bauteil auf beiden Seiten in verschiedene Richtungen. Bei der radialen Bauweise führen dagegen die beiden Anschlussdrähte nach unten (Abb. 6.16). Kapitel 7.2 informiert unter der Überschrift *Konden-*

*satoren* übers fachgerechte Anlöten, wenn Sie die Bauteile bestückt haben.

Am einfachsten sind ungepolte Folienkondensatoren zu handhaben. Man erkennt sie an gleich langen Anschlussdrähten. Bei ihnen ist es egal, in welche Richtung man sie auf die Platine steckt (Abb. 6.17).



**Abb. 6.16** – Ungepolte Kondensatoren haben gleich lange Anschlussdrähte.



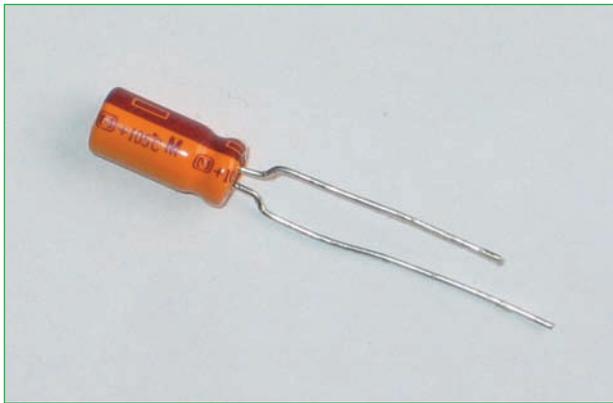
**Abb. 6.17** – Wie herum Sie den ungepolten Folienkondensator auf die Platine stecken, ist egal. Das Schaltzeichen auf der Platine trägt weder einen Plus- noch einen Minus-Pol.

## 6.7 Kondensatoren

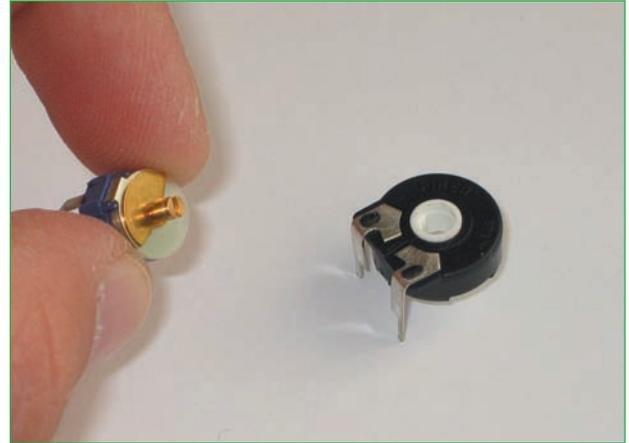
Auch Drehkondensatoren sind ungepolt und in der Kapazität in einem bestimmten Bereich frei einstellbar (Abb. 6.18).

*Bei Elektrolytkondensatoren auf richtige Polung achten*

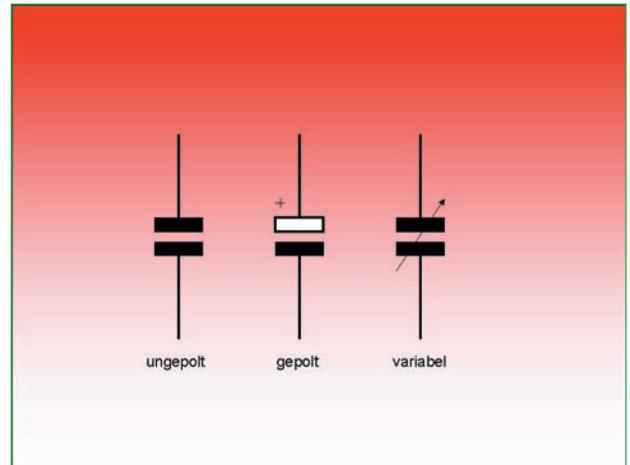
Elektrolytkondensatoren oder Elkos haben wie Dioden einen Plus- und Minus-Pol und besitzen eine runde zylindrische Bauform. Der längere Anschlussdraht ist der Pluspol (+). Er ist auf der Platine im aufgedruckten Schaltzeichen am Pluszeichen erkennbar. Deshalb ist beim Bestücken auf die richtige Polarität zu achten (Abb. 6.21). Waren Elkos dagegen schon einmal eingelötet, sind ihre Anschlüsse gekürzt, so dass man die Polung am Gehäuse ablesen muss. Meist ist sie dort aufgedruckt, allerdings unterschiedlich: je nach Fabrikat der Plus- oder der Minus-Pol. Bei axialen Kondensatoren müssen Sie nach einer kleinen Kerbe suchen, die den Pluspol kennzeichnet.



**Abb. 6.20** – Beim Elko sind der Plus- und der Minus-Pol an verschiedenen langen Anschlussdrähten erkennbar, der kürzere ist der Minuspol. Das Gehäuse dieses Modells informiert mit einem Pluszeichen zusätzlich über den Pluspol.



**Abb. 6.18** – Drehkondensatoren sehen unterschiedlich aus.



**Abb. 6.19** – Schaltzeichen für ungepolten und gepolten Kondensator sowie Drehkondensator mit variabler Kapazität.

*Vorsicht bei Kondensatoren in elektrischen Geräten*  
Bei Kondensatoren sollte man in elektrischen und elektronischen Geräten vorsichtig sein, weil sie die gespeicherte elektrische Energie beim ausgeschalteten Gerät

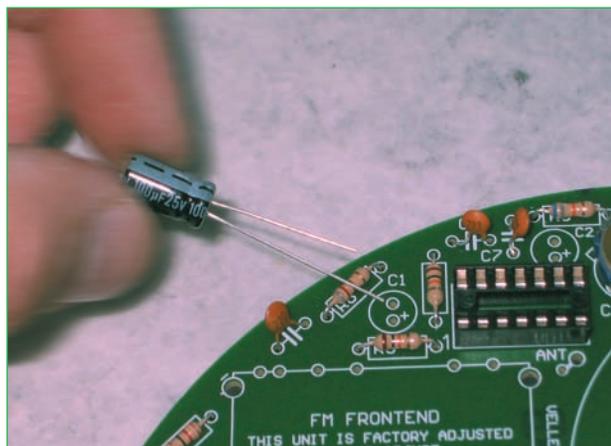
## 6.7 Kondensatoren

nur langsam abbauen – selbst dann, wenn Sie den Netzstecker aus der Steckdose ziehen. Der Kondensator braucht dazu umso länger, je größer seine Kapazität ist. Man spricht auch von der Selbstentladezeit, die bis zu mehrere Stunden dauern kann. Die in größeren Kondensatoren gespeicherte elektrische Spannung kann zu Unfällen und dabei im schlimmsten Fall zum Tod führen! Deshalb vorbeugen und an diesen Bauteilen nicht sofort mit dem Basteln beginnen, nachdem Sie den Gerätestecker aus der Steckdose gezogen haben. Tipp: Wenn Sie beide Drahtanschlüsse des Kondensators mit den Backen einer isolierten Zange berühren, entlädt sich der Kondensator innerhalb weniger Sekunden.

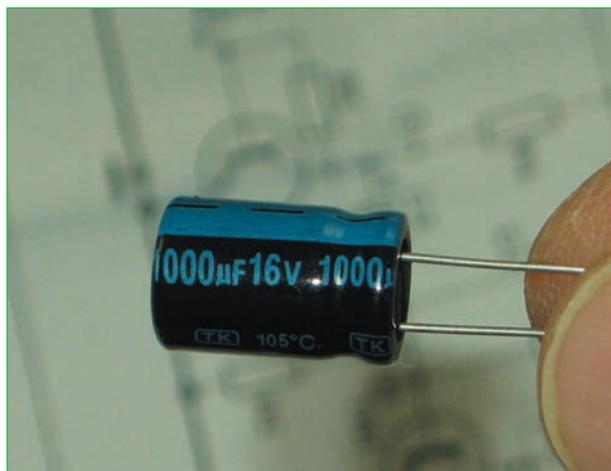
### *Kapazität ermitteln hilft beim Einbau*

Gehören Sie zu den Anfängern unter den Elektronikbastlern, wird es Ihnen wahrscheinlich schwerfallen, die Kapazität eines Kondensators festzustellen. Das ist allerdings erforderlich, um die Bauteile mit Hilfe der Stückliste zu identifizieren und danach laut Bestückungsplan nach Kapitel 6.2 auf die Platine stecken zu können. Hält man einen Kondensator in der Hand, ist seine Kapazität laut Gehäuse manchmal nur schwer zu bestimmen. Deshalb zuerst einen Blick in die Bauanleitung werfen, die über Beschriftung und Messwerte informiert.

Wer sich ans Entschlüsseln der aufgedruckten Gehäuseangaben machen will, sollte etwas Geduld mitbringen, weil das Ganze ein Buch mit sieben Siegeln ist. Am einfachsten gelingt das bei Elektrolytkondensatoren, bei denen man beim Einbau auch auf die richtige Polung achten muss. Auf dem Gehäuse ist nicht nur die Kapazität angegeben, sondern auch die elektrische Spannung, die der Elko vertragen kann. Der Aufdruck „1000 $\mu$ F 16V“ nach Abb. 6.22 verrät beispielsweise, dass dieser Kondensator eine Kapazität von 1000  $\mu$ F



**Abb. 6.21** – Bei Elektrolytkondensatoren ist auf die richtige Polung zu achten. Das Pluszeichen im aufgedruckten Schaltzeichen der Platine bringt Gewissheit.



**Abb. 6.22** – Das Gehäuse des Elkos informiert über die Kapazität und die erlaubte maximale Betriebsspannung.

besitzt. Sie dürfen ihn außerdem nur an Stellen einbauen, an denen eine maximale elektrische Spannung von 16 Volt anliegt. Ist die Betriebsspannung dagegen

## 6.7 Kondensatoren

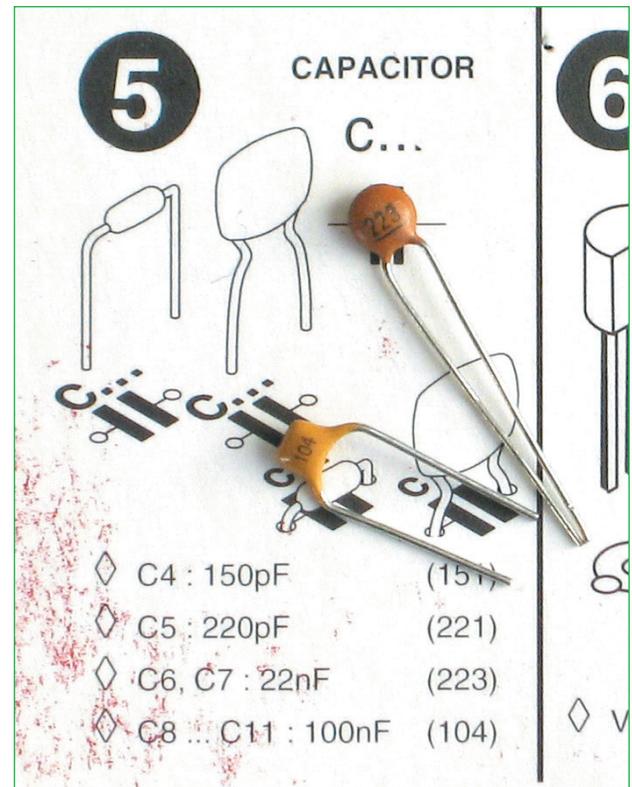
höher, wird der Kondensator zerstört! Deshalb auch darauf achten, für welche Spannung dieses Bauteil ausgelegt ist.

Auf ungepolten Kondensatoren ist die Kapazität nicht selten mit einem Zahlencode ohne Maßeinheit aufgedruckt. Die ersten beiden Zahlen geben den Kapazitätswert in Pikofarad an. Lesen Sie beispielsweise „3.3“, verrät der zweistellige Code eine Kapazität von 3,3 pF. Der Dezimalpunkt kann auch vor der ersten Zahl stehen, wodurch sich auch die Maßeinheit ändern kann. Ist „.22“ zu lesen, haben Sie beispielsweise einen Kondensator mit einer Kapazität von 0,22 Mikrofarad ( $\mu\text{F}$ ) oder 220 Nanofarad (nF) vor sich. Ist dagegen „223“ auf das Gehäuse aufgedruckt, informieren die beiden ersten Zahlen wieder über die Kapazität in Picofarad, in diesem Fall 22 pF. Die dritte Ziffer gibt über mehrere Nullen einen Faktor an, mit dem man die 22 pF multiplizieren muss, um die tatsächliche Kapazität zu erhalten. Die Zahl „3“ auf dem Gehäuse steht für drei Nullen oder  $10^3$  und damit für den Faktor 1.000. Dieser Kondensator hat danach eine Kapazität von  $22 \times 1.000 = 22.000$  pF oder 22 nF (Nanofarad). Bei Keramikkondensatoren können Einheit und Dezimalpunkt fehlen. Auch bei ihnen ist die Kapazität in Picofarad angegeben.

Statt eines Dezimalpunkts kann zum Zahlencode auch ein Buchstabe gehören. Der Buchstabe „n“ erfüllt dabei eine doppelte Funktion, weil er nicht nur die Kommastrichstelle, sondern auch die Maßeinheit Nanofarad angibt. Beispielsweise steht die Angabe 2n2 für 2,2 nF. Ist zwischen den Kapazitätswerten ein weiterer Buchstabe versteckt, hat man es mit einem Code für die Toleranz zu tun. Diese gibt an, wie weit der angegebene Kapazitätswert vom tatsächlichen abweichen kann. Die Tabelle 4

informiert im Anhang in Kapitel 17.4 über Kennbuchstaben und Toleranzwerte.

Auf Kondensatoren kann statt einer Beschriftung auch ein Farbcode über Kapazität und Spannungsfestigkeit Auskunft geben. Die Tabellen 1 bis 3 erläutern im Anhang in Kapitel 17.4 diese vier- oder fünfstelligen Codes.



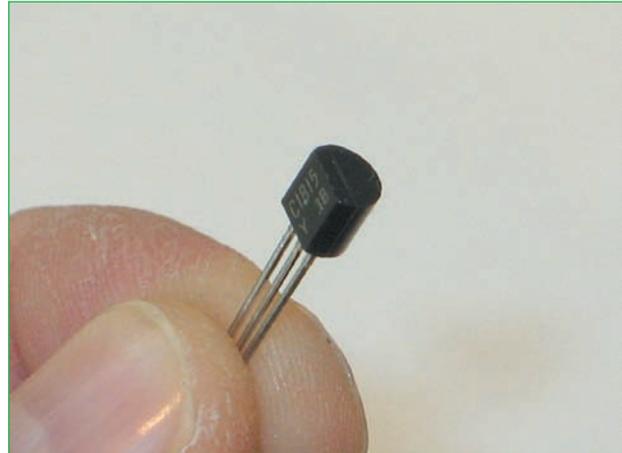
**Abb. 6.23** – Die Bauanleitung informiert über Beschriftung und Messwerte der Kondensatoren.

## 6.8 Transistoren

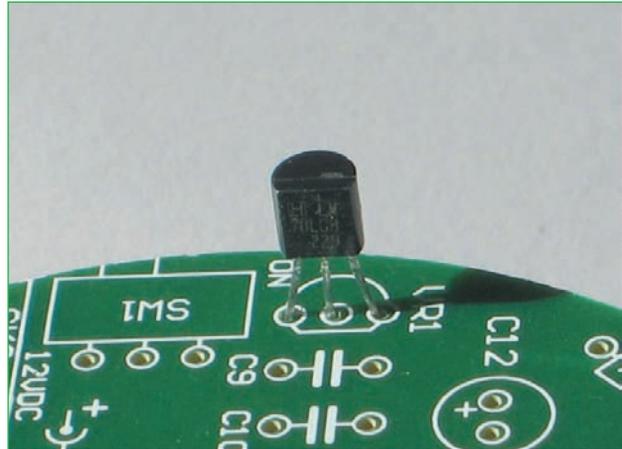
**T**ransistoren verstärken in einer elektronischen Schaltung Ströme und Spannungen. Sie haben mit Basis (B), Kollektor (C) und Emitter (E) drei Anschlüsse. Deshalb ist wie bei Dioden oder Elektrolytkondensatoren auf den richtigen Einbau zu achten. Kleine Transistoren haben meist ein zylindrisches Gehäuse und sind nach rund einem Drittel abgeflacht (Abb. 6.24). Die Anschlüsse sind in der korrekten Position, wenn Sie das Bauteil laut Platinaufdruck aufstecken. Dabei muss die abgeflachte Seite des Transistors zur geraden Seite des Platinaufdrucks zeigen (Abb. 6.25). Wie beim Anlöten fachgerecht vorzugehen ist, erläutert Kapitel 7.2 unter der Überschrift *Transistoren*.

Kleinere Leistungstransistoren sind am flachen, etwas quadratischen Gehäuse mit einem Loch in der Mitte erkennbar (Abb. 6.26). Damit können Sie das Bauteil an einem Kühlblech festschrauben und so vor Überhitzung schützen. Auf der Platine sind solche Transistoren durch ein Rechteck mit einem dicken Balken auf einer Längsseite gekennzeichnet. Sie müssen den Transistor so in die Bohrungen stecken, dass seine Beschriftung zum fetten Balken des Platinaufdrucks zeigt (Abb. 6.26).

Größere Leistungstransistoren besitzen ein rundes Metallgehäuse, das Sie direkt in einen Kühlkörper schieben können. So wird die Wärme besser an die Umgebungsluft abgegeben. Das Metallgehäuse hat an einer Seite eine kleine „Nase“, die den Emitter anzeigt und auch auf der Platine aufgedruckt sein kann (Abb. 6.27). Damit wissen Sie sofort, wie man den Transistor richtig auf die Platine steckt.

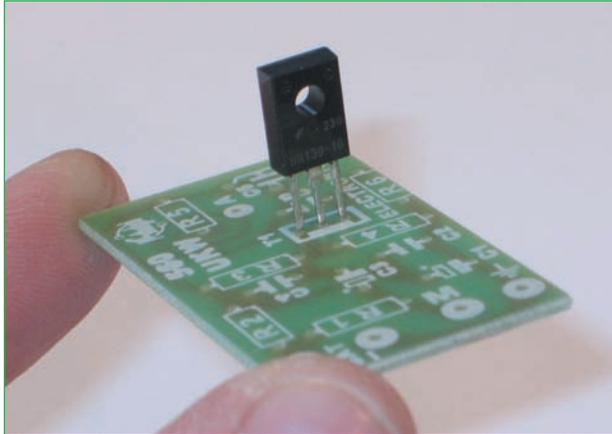


**Abb. 6.24** – Kleine Transistoren haben eine abgeflachte Seite.

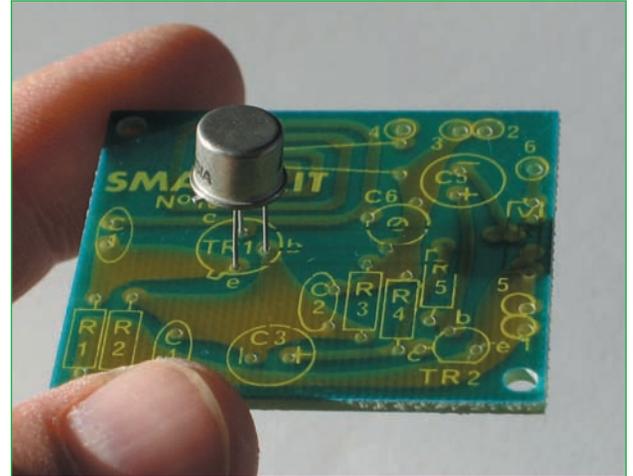


**Abb. 6.25** – Auf der Platine eines Bausatzes ist genau aufgezeichnet, wie die Kleintransistoren einzustecken sind.

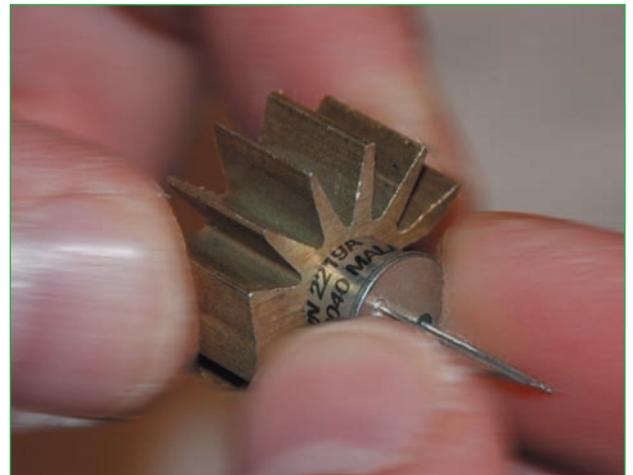
## 6.8 Transistoren



**Abb. 6.26** – Dieser Leistungstransistor ist richtig auf die Platine gesteckt.



**Abb. 6.27** – Dieser größere Leistungstransistor steckt richtig in der Platine: Seine linke vordere „Nase“ stimmt mit der „Nase“ im aufgedruckten Schaltzeichen überein.



**Abb. 6.28 und Abb. 6.29** – Zur besseren Wärmeabfuhr lassen sich größere Leistungstransistoren in einen Kühlkörper schieben.

## 6.9 ICs oder integrierte Schaltungen

ICs oder integrierte Schaltungen sind empfindliche Bauteile, bei denen Sie besonders auf korrekten Einbau und die richtige Polung achten müssen. Da einige ICs bereits durch statische Aufladungen zerstört werden können, sollte man sie nur am Gehäuse anfassen, ohne die Anschlussbeinchen zu berühren – es sei denn, Sie besitzen eine Lötstation mit einer Potenzialausgleichsbuchse. Kapitel 7.3 erläutert, wie damit umzugehen ist.

Am einfachsten sind ICs mit einem sogenannten IC-Sockel auf die Platine zu bauen (Abb. 6.31), da Sie die integrierte Schaltung einfach aufstecken können – und das hat Vorteile: Die Löthitze kann den IC-Fassungen nichts anhaben, und das IC lässt sich jederzeit ohne LötKolben bequem wieder herausziehen. Haben Sie einen IC-Sockel eingelötet, dürfen Sie das Bauteil nur aufstecken oder herausziehen, wenn die Schaltung spannungslos ist! Außerdem sind die Kennzeichnungen am Sockel und am IC zu beachten, um das Bauteil richtig aufzusetzen. Meist ist eine Kerbe erkennbar. Beim Ausbauen ist der IC mit einem kleinen Schrau-

benzieher etwas vom Sockel abzuheben (Abb. 6.32), um das Bauteil am Gehäuse leichter herausziehen zu können. Pinzetten können die Arbeit erleichtern. Wollen Sie dagegen den IC direkt in die Platine einbauen,

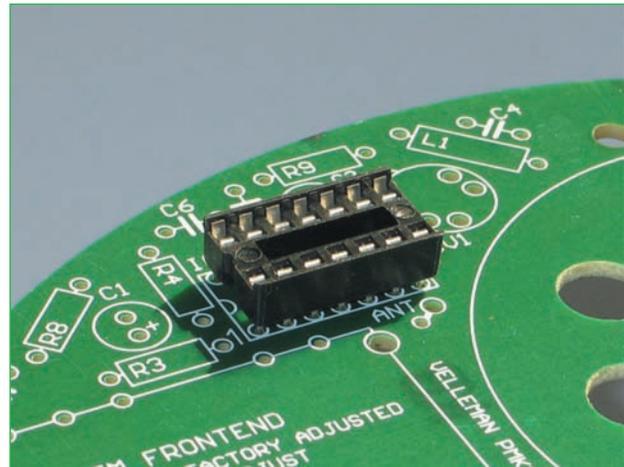


Abb. 6.31 – Ein IC-Sockel.

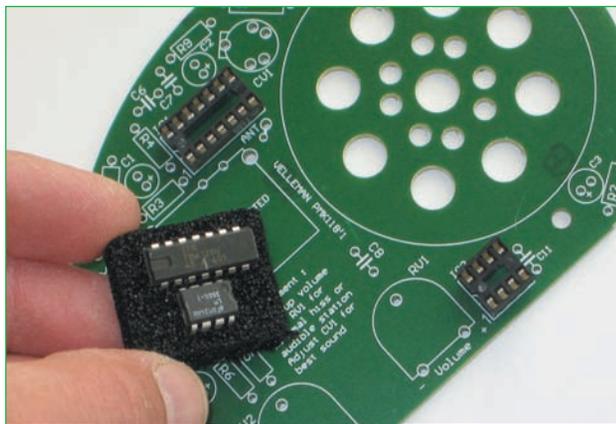


Abb. 6.30 – Mit ICs sollte man behutsam umgehen und die Anschlüsse nicht mit bloßen Fingern anfassen.

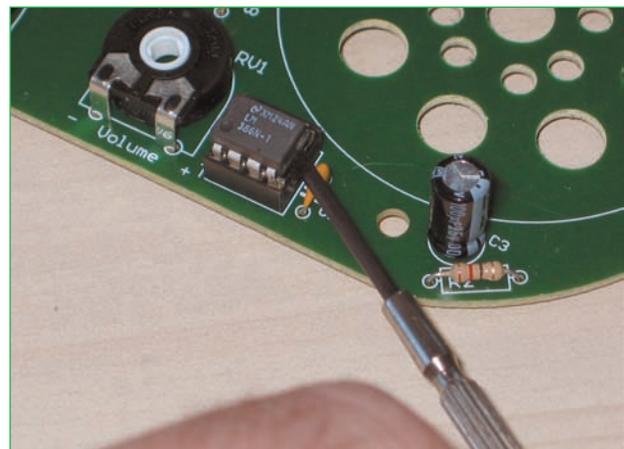


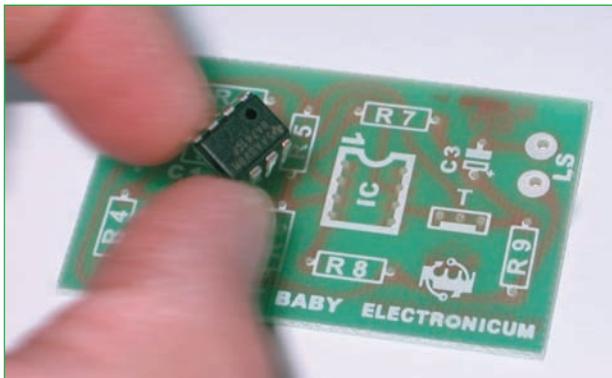
Abb. 6.32 – Am einfachsten können Sie einen IC mit einem kleinen Schraubenzieher vom Sockel abheben.

## 6.9 ICs oder integrierte Schaltungen

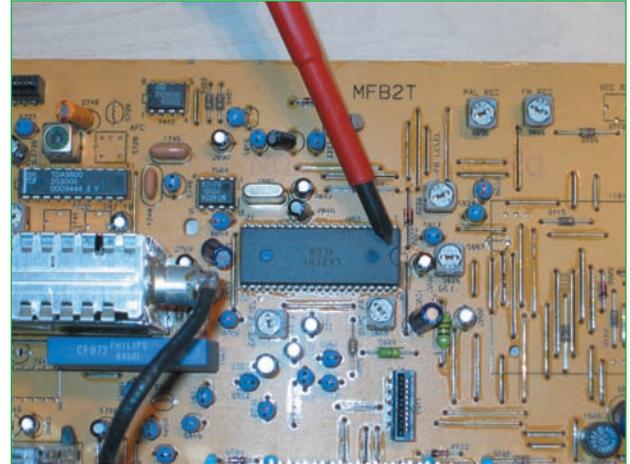
ist vorsichtiges Löten angesagt. Kapitel 7.2 gibt unter der Überschrift *Integrierte Schaltungen* Tipps.

### Einbaurichtung sicher erkennen

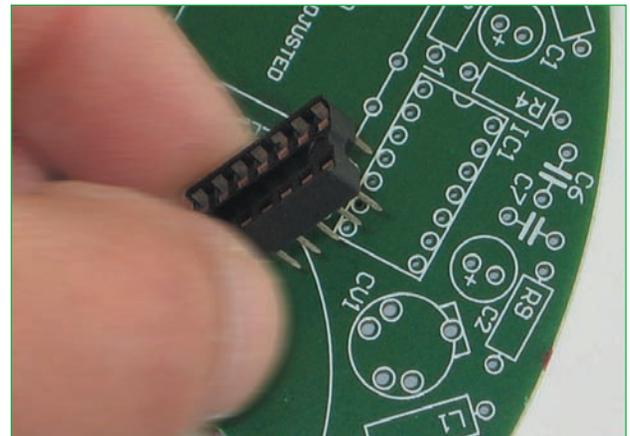
ICs und IC-Fassungen haben eine festgelegte Einbaurichtung, die an einem Punkt oder einer Kerbe am IC und am IC-Sockel zu erkennen ist. Punkt oder Kerbe symbolisieren den ersten IC-Anschluss oder Pin 1. Auf der Bestückungsseite der Platine ist dieser Pin 1 meist mit einer „1“ und einem kleinen Halbkreis am Schaltzeichen gekennzeichnet (Abb. 6.33 und Abb. 6.35). Damit steht einem korrekten Einbau nichts mehr im Wege.



**Abb. 6.33** – An diesem IC ist links oben ein Punkt zu erkennen, der den Pin 1 markiert. Da auf der Platine am IC-Schaltzeichen eine „1“ aufgedruckt ist, ist das richtige Bestücken ein Kinderspiel.



**Abb. 6.34** – Eine Kerbe oder ein Punkt informiert bei allen ICs darüber, in welcher Richtung das Bauteil auf die Platine zu löten ist.



**Abb. 6.35** – Die kleine Kerbe an der rechten Seite dieses IC-Sockels kennzeichnet den Pin 1. Das IC-Schaltzeichen auf der Platine verrät mit einem kleinen Halbkreis und oberhalb des Bauteils mit einer „1“ die korrekte Einsteckrichtung.

## 7 Elektronikbausatz erfolgreich zusammenlöten

Im vergangenen Kapitel haben Sie die wichtigsten elektronischen Bauteile kennengelernt und erfahren, wie sie zu handhaben und korrekt auf die Platine zu stecken sind. Damit ist der Weg frei, um einen kompletten Elektronikbausatz erfolgreich zusammenzubasteln. Nicht wenige Anbieter packen dem Bausatz außerdem ausführliche Informationen zu den verwendeten

## 7 Elektronikbausatz erfolgreich zusammenlöten

Bauelementen bei, damit auch der interessierte Laie sie erfolgreich zusammenschweißen kann. Detaillierte Funktionsbeschreibungen und der Schaltplan runden die Informationen ab. Sie können Hinweise finden, wie Sie Dioden richtig einlöten oder einen Transistor richtig auf die Platine setzen. Wenn Sie eine Schaltung unterschiedlich zusammenbauen können, klärt der Beipackzettel auch darüber auf. Manche Schaltungen muss der Anwender bei der ersten Inbetriebnahme abgleichen, zum Beispiel einen regelbaren Widerstand einstellen. Auch darüber informiert die mitgelieferte Dokumentation.



Abb. 7.1 – Auswahl an Bausätzen.

## 7.1 Stückliste überprüfen

Nachdem Sie die Tüte des Bausatzes geöffnet haben, sortieren Sie am besten zuerst alle gleich aussehenden Bauteile. Jeder Bausatz sollte eine Stückliste enthalten, die alle verwendeten Bauteile listet. Mit ihrer Hilfe überprüfen, ob die Bauelemente tatsächlich vollständig sind.

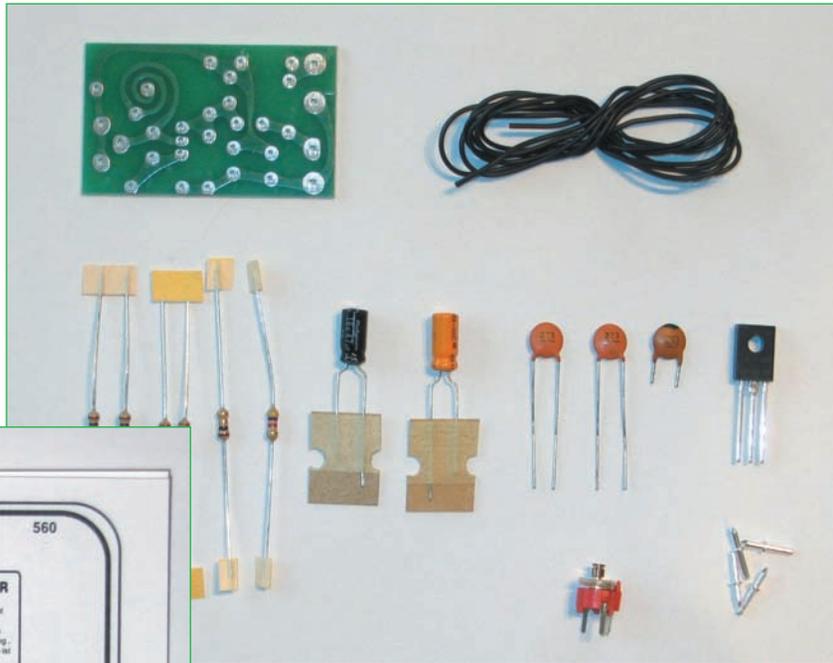


Abb. 7.2 – Komponenten eines Bausatzes.

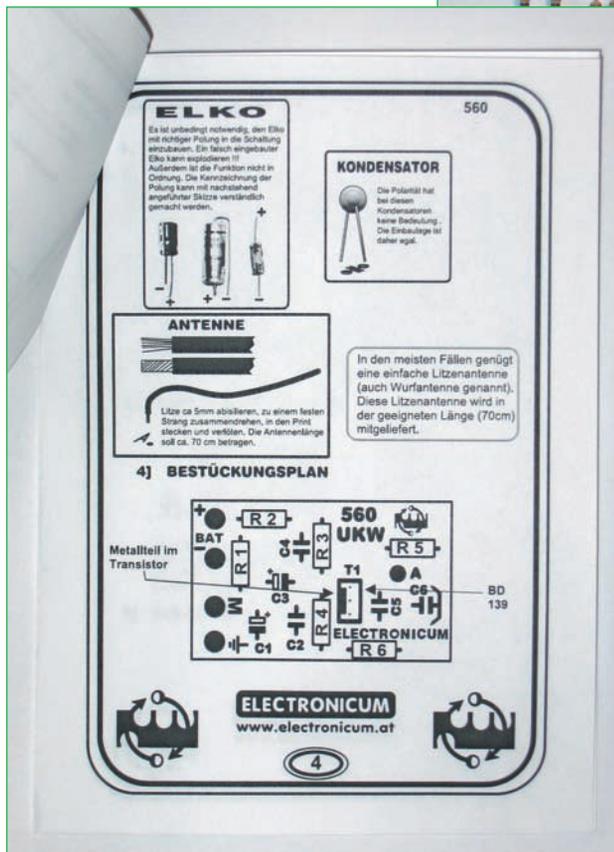


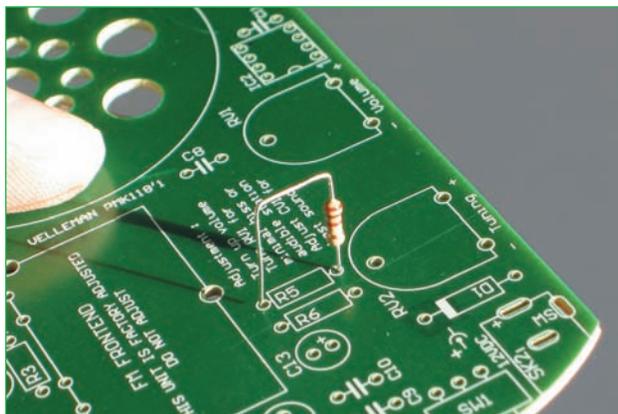
Abb. 7.3 – Die mitgelieferte Dokumentation informiert über verwendete Bauteile und den Bestückungsplan für die Platine.



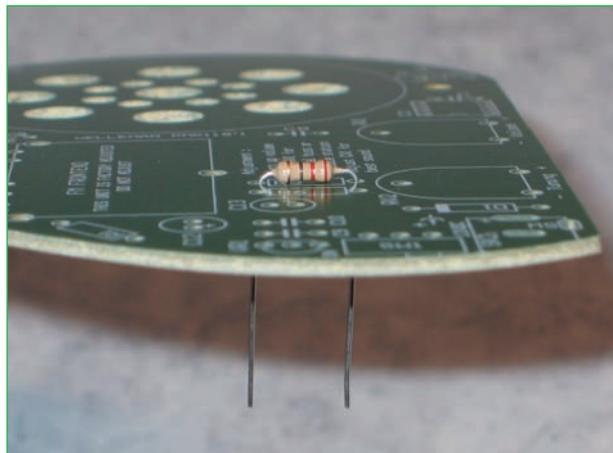
## 7.2 Bauteile vorbereiten und fachgerecht einlöten

Abstand der Bauteile zur Platine, der rund 0,5 mm bis 1 mm betragen sollte (Abb. 7.8). Die Bauteile dürfen die Leiterplatte nicht berühren, damit Wärme durch den späteren Betrieb der Schaltung ungehindert entweichen kann. Eine Ausnahme sind Schaltungen mit sehr geringem Energieverbrauch, in denen die Bauteile nicht warm werden können. Als Abstandshalter zur Platine kommt ein schmaler Streifen Karton oder dickes Papier infrage, das man zwischen die beiden Anschlüsse der Bauteile schiebt. Nach dem Einlöten den Abstandshalter wegziehen und für die nächste Lötung verwenden.

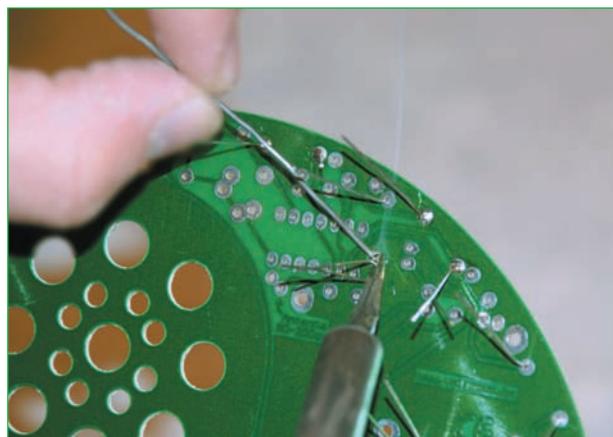
Damit die eingesteckten Bauteile ihre Position behalten, können Sie die Anschlussdrähte etwas nach innen oder außen biegen. Das schützt, vor Herausfallen oder Verrutschen und erleichtert das Löten erheblich. Verschiedene Bauanleitungen empfehlen, die Anschlussdrähte auf der Rückseite der Platine um bis zu 45 Grad zu verbiegen. Davon ist allerdings abzuraten, weil sich zu stark umgebogene Anschlüsse später nur schwer wieder auslöten lassen.



**Abb. 7.7** – So sollte man einen Widerstand oder ein anderes Bauteil nicht auf die Platine löten.



**Abb. 7.8** – Ein fachgerecht eingebauter Widerstand.



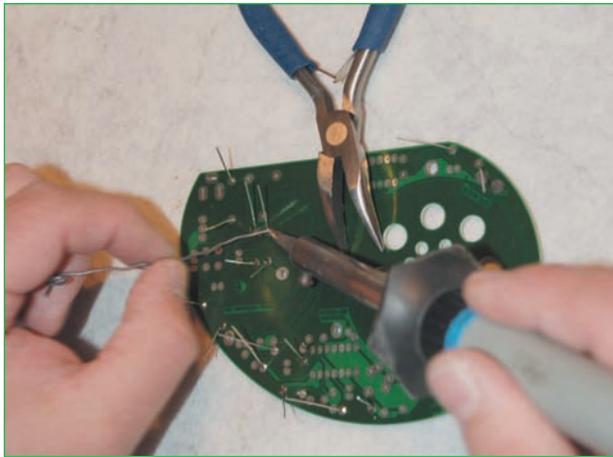
**Abb. 7.9** – Nachdem Sie alle Widerstände laut Bestückungsplan eingesteckt haben, löten Sie die Drahtanschlüsse auf der Rückseite der Platine an.

### Dioden

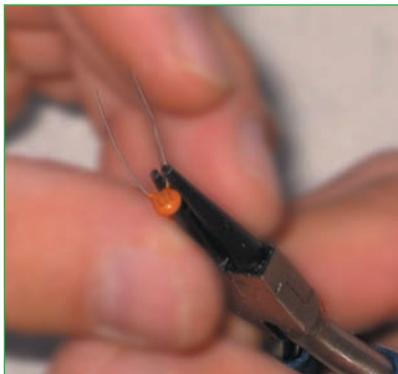
Beim Einlöten von Dioden ist ähnlich vorzugehen wie bei Widerständen. Nachdem Sie die Diode an den Einbauport gelegt und den Abstand der Bohrungen auf der Platine ermittelt haben, biegen Sie beide Anschluss-

## 7.2 Bauteile vorbereiten und fachgerecht einlöten

drähte rechtwinkelig mit einer Elektronikerflachzange zurecht. Anschließend das Bauteil auf die Platine setzen. Achten Sie dabei auf den Aufdruck des Bestückungsplans und besonders auf die richtige Polung nach Kapitel 6.5. Die Kathodenseite oder der Minuspol der Diode ist mit einem Ring markiert. Das Diodenschaltzeichen auf der Platine kennzeichnet den Minuspol mit einem Strich.



**Abb. 7.10** – Damit auch flache Bauteile beim Einlöten ihre Position auf der Platine beibehalten, kann man die umgedrehte Leiterplatte mit einer Zange beschweren.



**Abb. 7.11** – Auch die Anschlüsse der Kondensatoren eventuell etwas zurechtbiegen, um sie gut einlöten zu können.

### *Kondensatoren*

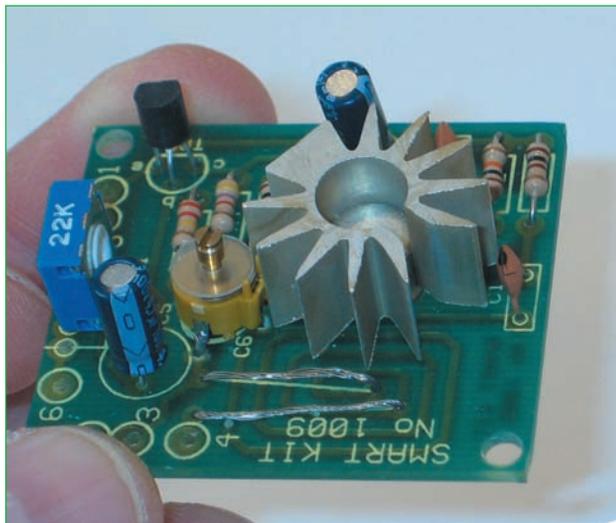
Wenn Sie Widerstände und Dioden eingelötet haben, sind die Kondensatoren an der Reihe. Analog zu Widerständen sind auch Kondensatoren in einem gewissen Abstand zur Platine aufzulöten. Die Bauteile dürfen die Leiterplatte nicht berühren. Die Drahtanschlüsse vor allem von Folienkondensatoren sehr vorsichtig zurechtbiegen, um das Bauteil nicht zu zerstören. Die Elektrolytkondensatoren müssen Sie außerdem richtig gepolt einlöten. Kapitel 6.7 erläutert unter der Überschrift *Bei Elektrolytkondensatoren auf richtige Polung achten*, wie beim Bestücken der Platine vorzugehen ist.

### *Transistoren*

sind nach Kapitel 6.8 abhängig von ihrer Bauform unterschiedlich in eine Schaltung einzubauen. Die Drahtanschlüsse aller Transistoren sind so angeordnet, dass man sie nicht falsch einlöten kann. Achten Sie nur darauf, dass sich die Drähte nicht berühren. Setzen Sie die Bauteile außerdem nicht direkt auf die Platine auf, damit sie besser gekühlt sind. Ideal ist ein Abstand von rund 3 mm bis 5 mm. Da Transistoren durch Überhitzung zerstört werden können, sollten Sie beim Einlöten auf eine kurze Lötzeit achten.

Die Betriebswärme eines Transistors muss sicher in die Umgebung entweichen können. Größere Modelle lassen sich deshalb in einen Kühlkörper schieben oder an einem festschrauben, der im Bausatz enthalten ist. Profis streichen die Seite des Transistors, die ans Kühlblech angeschraubt werden soll, außerdem mit etwas Kontaktpaste ein, um die Wärmeabfuhr zu verbessern. Je größer die Oberfläche eines Kühlkörpers ist, umso besser nimmt er die Betriebswärme des Bauteils auf und gibt diese an die Umgebung ab. Mit einem großen Kühlkörper können Sie deshalb die Lebensdauer von Transistoren verlängern oder sie im Rahmen ihrer Leistungsfähigkeit höher belasten. Aufgeschobene Kühl-

## 7.2 Bauteile vorbereiten und fachgerecht einlöten



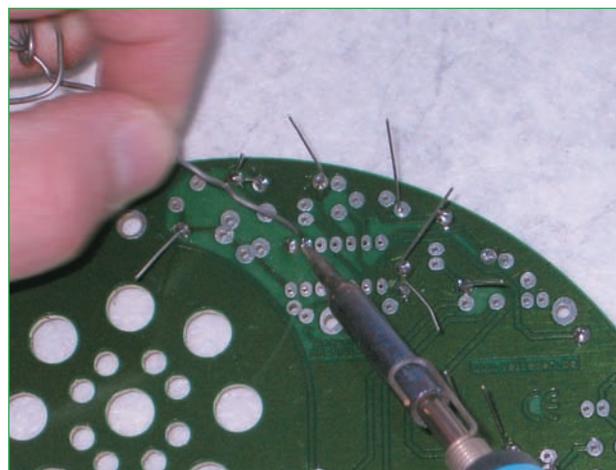
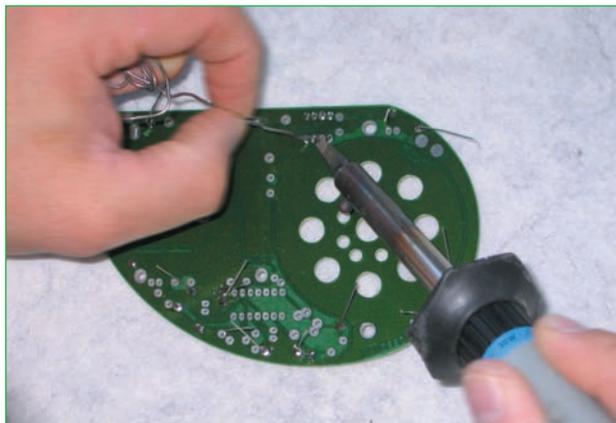
**Abb. 7.12** – Der größere Leistungstransistor sitzt im Kühlkörper und darf auf keinen Fall andere Bauteile in der Schaltung berühren!

körper müssen sehr eng am Transistorgehäuse anliegen. Sie lassen sich deshalb nicht ohne weiteres aufsetzen. Mit den Fingern etwas aufbiegen, was etwas Kraft

kostet und vor dem Einlöten des Transistors aufschieben. Achten Sie beim Einbau eines Transistors mit aufgestecktem Kühlkörper besonders darauf, dass dieser an keiner Stelle Kontakt zu anderen Bauteilen hat! Das verursacht einen Kurzschluss in der Schaltung.

### *Integrierte Schaltungen*

Prüfen Sie vor Lötbeginn, ob IC-Sockel oder Bauteil nach Kapitel 6.9 korrekt auf die Platine gesteckt sind. Immer wieder wird empfohlen, einen Anschluss etwas abzuknicken, damit der IC schon beim Einlöten sicheren Halt hat und nicht aus den Lötlöchern der Platine rutschen kann. Davon ist jedoch abzuraten, weil so das spätere Auslöten schwieriger wird. Allerdings sollten Sie die Lötzeit an den Beinchen so kurz wie möglich halten, weil zu viel Hitze das Bauteil zerstören kann! Deshalb ist auch das Auslöten von Integrierten Schaltungen nicht leicht. Je mehr Anschlüsse das Bauteil hat, umso schwieriger wird die Aufgabe. Am besten auf einen FeinlötKolben nach Kapitel 1.1 oder eine so-



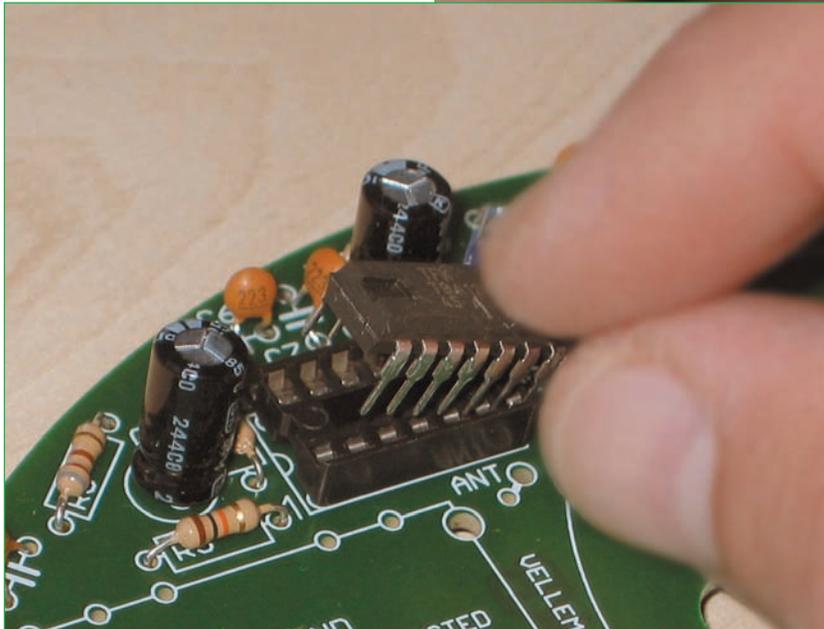
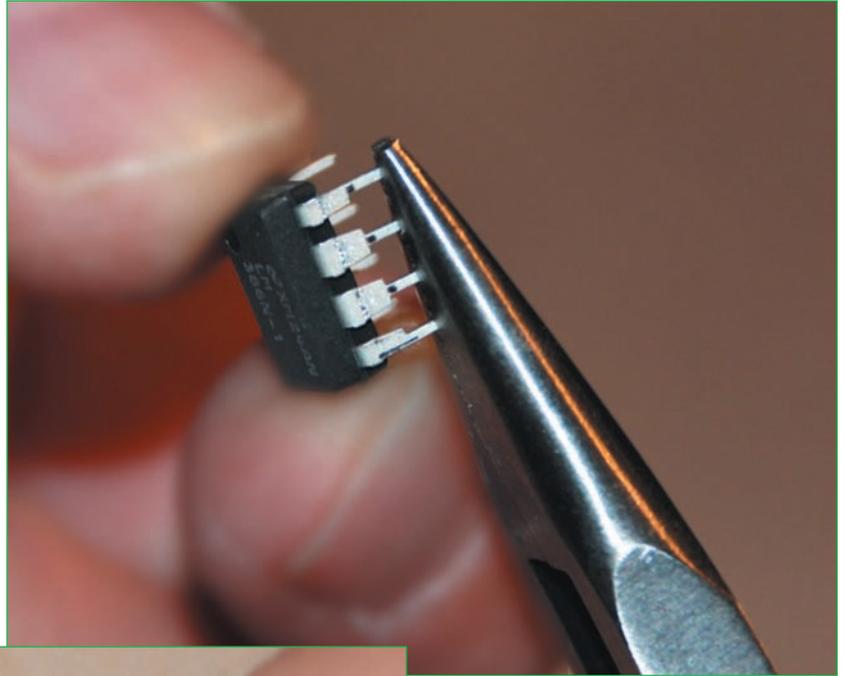
**Abb. 7.13** – Ein IC lässt sich noch mit einem UniversallötKolben löten (linkes Bild). Besser geeignet ist ein FeinlötKolben (rechtes Bild).

## 7.2 Bauteile vorbereiten und fachgerecht einlöten

lide Lötstation nach Kapitel 15 zurückgreifen. Manchmal müssen Sie auch die Anschlüsse eines IC mit der Elektronikerflachzange zurechtbiegen, um das Bauteil in die Bohrungen der Platine einsetzen zu können.

Haben Sie einen IC-Sockel vor sich, diesen nach Kapitel 6.9 in der korrekten Richtung auf die Platine stecken, anlöten und den IC einste-

**Abb. 7.14** – Eventuell die IC-Anschlüsse etwas zurechtbiegen, damit sie in die Bohrungen der Platine passen.



cken. Achten Sie dabei auf die Kennzeichnungen am Sockel und am IC, um das Bauteil in der erforderlichen Richtung aufzusetzen. Meist ist nach Abb. 7.15 eine Kerbe erkennbar.

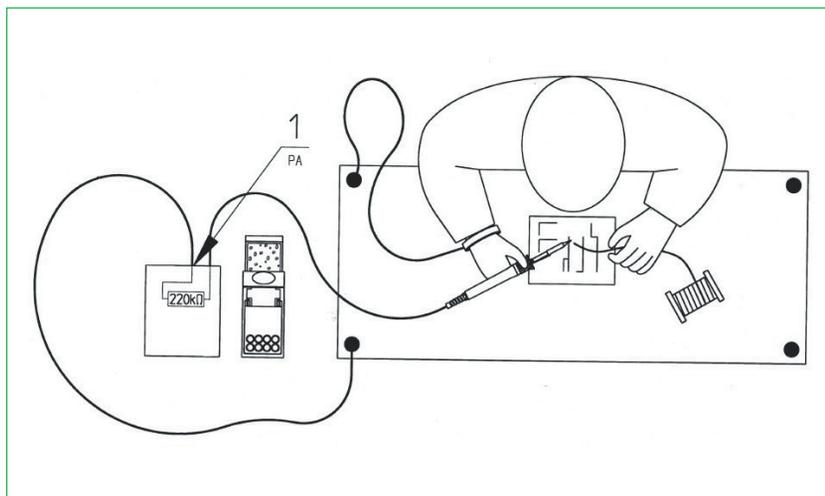
**Abb. 7.15** – Die Schaltung ist fast komplett aufgebaut. Zum Schluss die ICs in die Sockel stecken. Die Kerbe verrät die Einsteckrichtung.

## 7.3 Empfindliche Bauteile sicher handhaben

**N**ormalerweise darf man ICs nur am Gehäuse, nicht aber an den Anschlussbeinchen mit den Fingern anfassen. Elektrostatische Aufladungen könnten empfindliche ICs zerstören. Diese Aufladungen kennen Sie aus dem Alltag. Wenn Sie jemandem die Hand geben und dabei ein kurzes Kribbeln spüren, fliegen einige kleine Funken. Dadurch wird der Potenzialunterschied zwischen beiden Händen ausgeglichen. Dieser Funkenflug kann auch zwischen Ihren Händen und einem elektronischen Bauteil auftreten – eine Spannung, die für empfindliche Bauteile zu hoch ist. Schutz verspricht eine solide Lötstation nach Kapitel 15, in die eine Potenzialausgleichsbuchse eingebaut ist. Zusammen mit einem Spe-



**Abb. 7.16** – Das Armgelenk ist über eine Manschette mit der Potenzialausgleichsbuchse verbunden und liegt so am für das Bauteil ungefährlichen Potenzial.

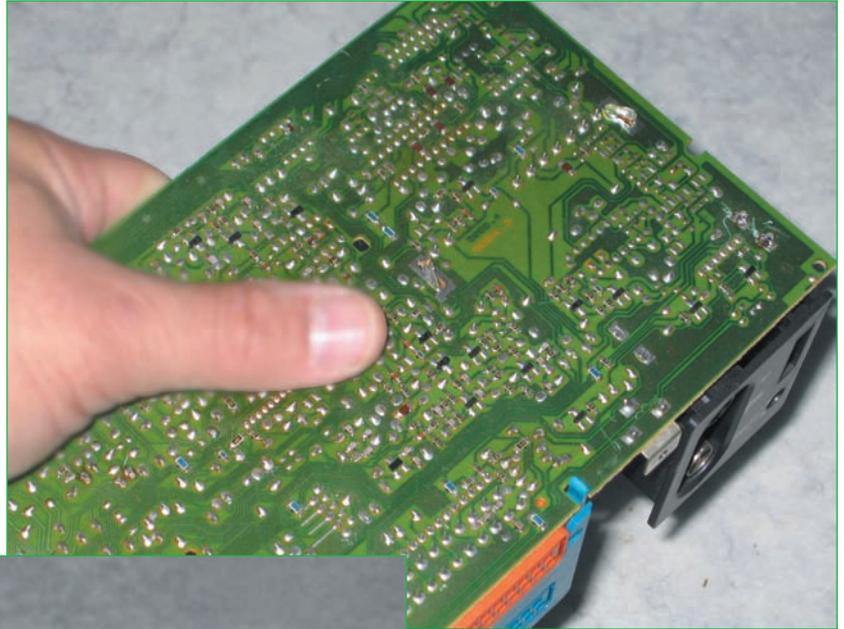


zialhandgelenk und einer leitfähigen Unterlage kann man den gesamten Arbeitsbereich auf ein gleiches, für das Bauteil ungefährliches Potenzial bringen. Spezielle Manschetten können Sie um das Armgelenk legen und an die Potentialausgleichsbuchse anschließen

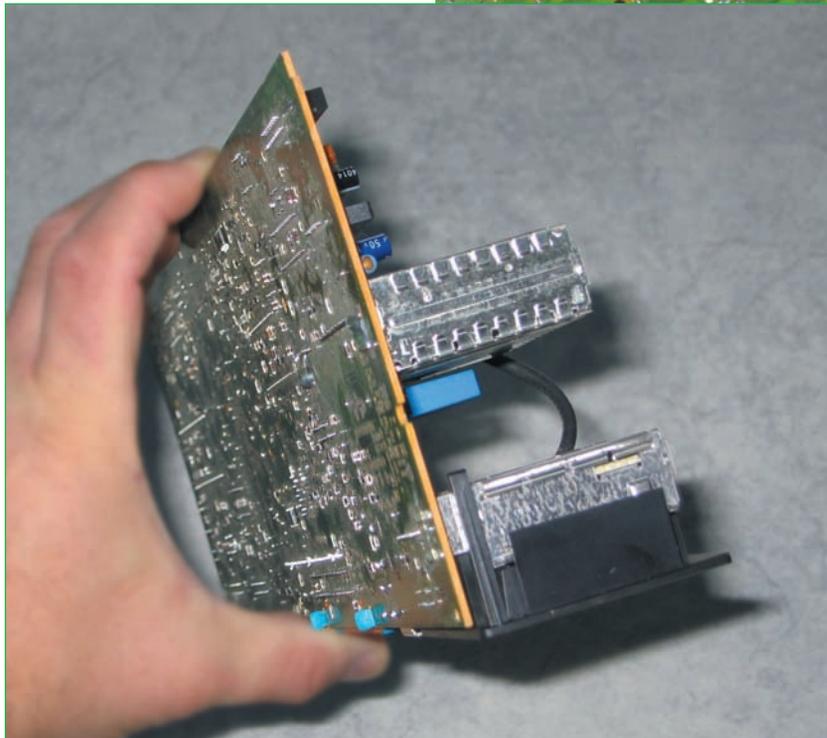
**Abb. 7.17** – Arbeiten Sie mit empfindlichen elektrischen Bauteilen, sollten Ihre Hände, der LötKolben, die Arbeitsfläche und der Arbeitsbereich am selben Potenzial liegen. (Foto: Ersa)

## 7.3 Empfindliche Bauteile sicher handhaben

(Abb. 7.16). Selbst die Lötkolbenspitze ist in den Potenzialausgleich einbezogen, die mit der Ausgleichsbuchse über die leitfähige Arbeitsunterlage verbunden ist. Nur dann, wenn Ihre Hände und alle erforderlichen Komponenten am selben Potenzial liegen, ist die Zerstörung eines empfindlichen IC ausgeschlossen (Abb. 7.17).



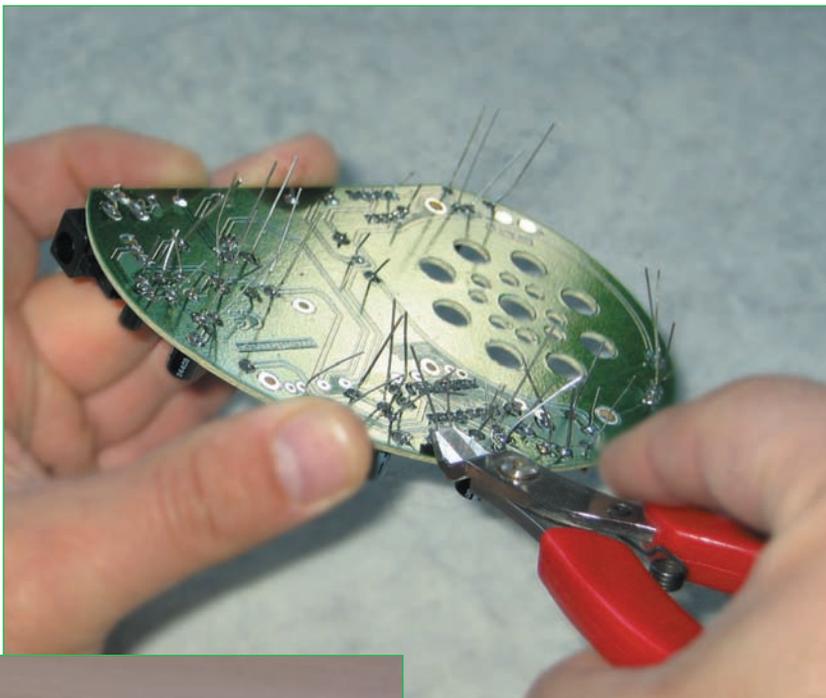
**Abb. 7.18** – Mit Fingern auf die Bauteile zu greifen, kann empfindlichen Bauelementen den Garaus machen.



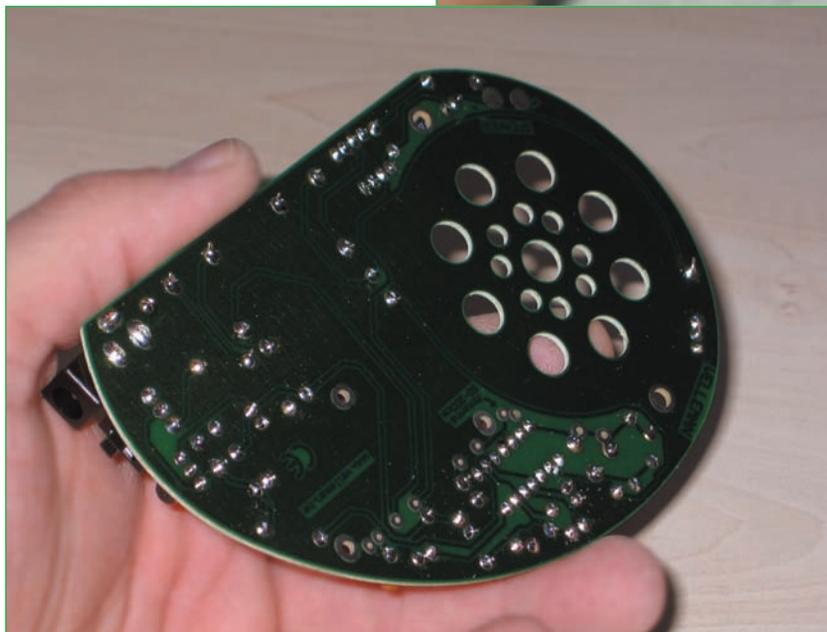
**Abb. 7.19** – Baugruppen sind stets so anfassen, dass Sie weder Bauteile noch Leiterbahnen direkt berühren.

## 7.4 Gelötete Schaltung überprüfen – Anschlussdrähte nicht sofort abzwicken

Die Anschlussdrähte vieler Elektronikbauteile sind sehr lang. Nachdem Sie die Platine bestückt haben, ragen sie rund 4 cm bis 5 cm aus der Platine. Zwicken Sie diese Überlängen aber nicht sofort nach dem Einlöten ab, sondern warten Sie, bis die Lötarbeiten abgeschlossen sind – und das heißt: Nachdem alle Bauteile auf der Rückseite der Platine eingelötet sind und der „Stachelwald“ vollständig ist, den LötKolben zur Seite legen und die Schaltung genau überprüfen. Sind alle Bauteile dort eingelötet, wo sie hingehören? Selbst Lötprofis verwechseln immer



**Abb. 7.20** – Erst wenn alle Bauteile korrekt eingebaut sind, die überstehenden Drahtenden mit einem Elektronikerseitschneider stutzen.



wieder Widerstände und bauen diese an falschen Stellen ein. Deshalb kontrollieren Sie, ob Sie tatsächlich alle Bauteile in die richtigen Bohrungen auf der Platine eingebaut haben. Auch bei Dioden oder Kondensatoren besteht Verwechslungsgefahr. Stimmen Einbaurichtung und Polarität? Sollten

**Abb. 7.21** – Fertige Platine.

## 7.4 Gelötete Schaltung überprüfen – Anschlussdrähte nicht sofort abzwicken

Bauteile falsch eingelötet sein, erleichtern die langen Drahtenden die Arbeit. Auch alle anderen elektronischen Komponenten auf der Platine sind zu überprüfen. Verzichten Sie darauf, besteht die Gefahr eines Kurzschlusses, der im schlimmsten Fall die Schaltung zerstören kann! Erst nachdem Sie sich vergewissert haben, dass alle Bauteile an der richtigen Stelle eingelötet sind, kürzen Sie die zu langen Anschlussdrähte mit einem Elektronikerseitenschneider. Die Anschlussdrähte sind rund 0,5 mm bis maximal 1 mm über den Lötkegeln abzuwickeln. So haben Sie eine kleine Längenreserve, wenn Sie doch einmal gezwungen sein sollten, ein Bauteil wegen eines Defekts auszulöten. Erst nachdem Sie die Arbeiten an der Schaltung vollständig abgeschlossen haben, darf sie in Betrieb gehen.

### Tipp

Mit zunehmender Größe einer Platine steigt die Zahl der Bauteile. Die langen Drahtanschlüsse wachsen schnell zu einem „Stachelwald“ zusammen, der das Löten nicht gerade erleichtert. Die Lötunkte zu erreichen, kann deutlich schwerer werden. Damit die Drähte beim Löten nicht zu sehr stören, kann man die Platine von innen nach außen bestücken und die bereits verlöteten Anschlüsse minimal kürzen. Mit einer Überlänge von rund 2 cm haben Sie genügend Reserven, falls Sie einzelne Bauteile tauschen müssen. Welche Längen genau erforderlich sind, hängt von der Schaltung und den Lochabständen auf der Platine ab.

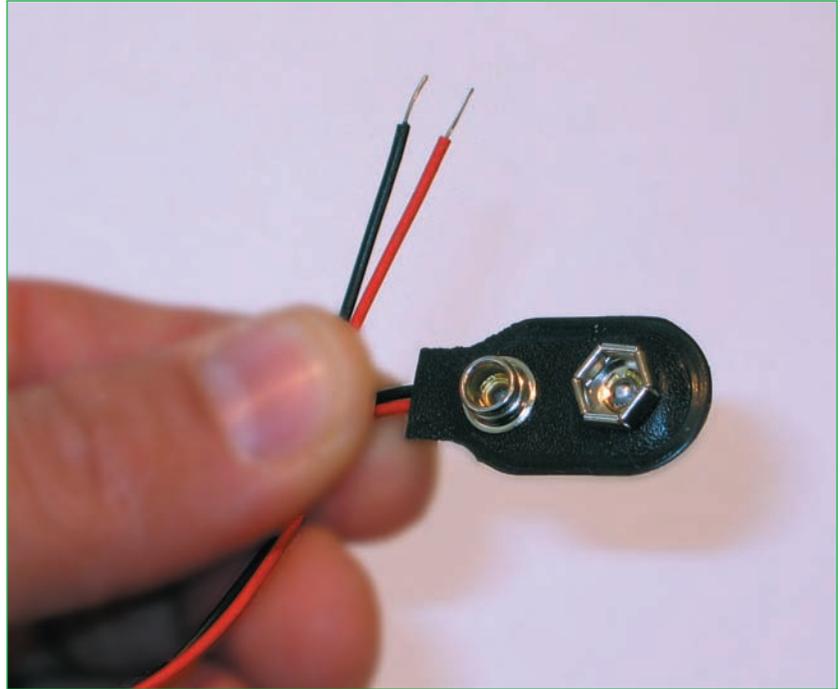
## 7.5 Bauteile vertauscht? Fehler systematisch beheben

**H**aben Sie bei einer voll bestückten Platine einen falsch platzierten Widerstand entdeckt, muss mindestens noch ein zweiter mit von der Partie sein. Zuerst sind diese „falschen“ Bauteile auszulöten und die Löt-Augen so weit wie möglich vom Lot zu befreien. Kapitel 8 beschreibt, wie dabei vorzugehen ist. Nur wenn die Bohrungen wieder frei sind, können Sie die Anschlüsse des richtigen Bauteils ohne Schwierigkeiten

durchstecken. Dabei sind die langen, noch nicht abgezwickten Anschlussdrähte nach Kapitel 7.4 von Vorteil, da der Abstand zwischen den Bohrungen auf der Platine unterschiedlich groß ist. Vor allem die Bohrungen für einen Widerstand und eine Diode unterscheiden sich, weil Dioden meist etwas kleiner sind als Widerstände. Abgekniffene Anschlussdrähte können deshalb für vertauschte Bauteile an neuen Einbaustellen zu kurz sein.

## 7.6 Stromversorgungskabel richtig anlöten

Zahlreiche Löt-Bausätze sind mit rund 9 Volt (V) bis 12 V Gleichspannung zu betreiben. Meist liegt in den Bausatztüten eine Anschlussfahne für eine 9-V-Batterie. Sie besteht aus einem glatten und einem als Sechskant gebogenen Clip und zwei Drähten (Abb. 7.22). Doch welcher Draht ist wo an der Schaltung anzulöten? Der rote Draht kennzeichnet den Pluspol, den Minuspol erkennen Sie an der schwarzen Ader. Wo die Stromversorgungskabel exakt auf der Platine anzulöten sind, sollte zumindest im Begleittext des Bausatzes nachzulesen sein. Aus dem Aufdruck der Platine geht das nicht immer verständlich hervor. In der Bauanleitung



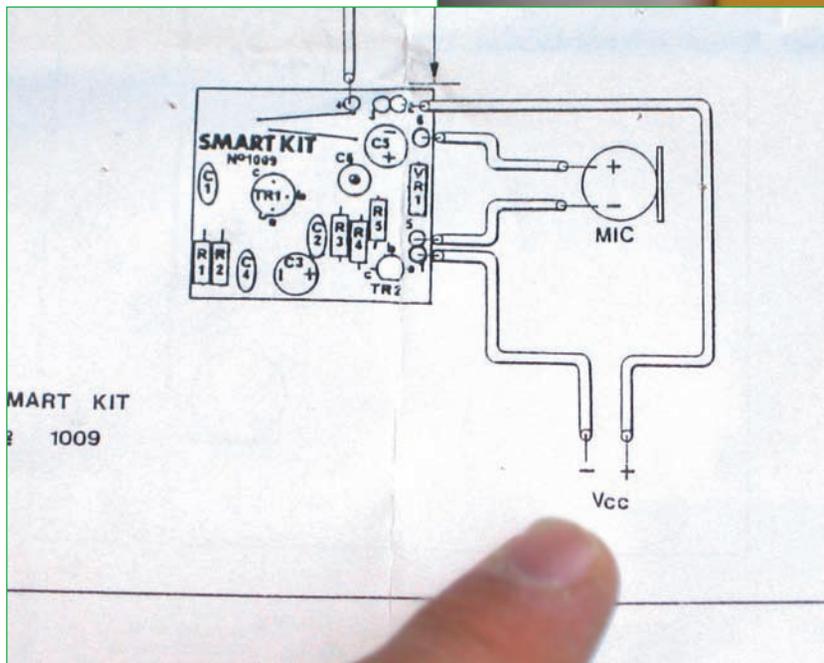
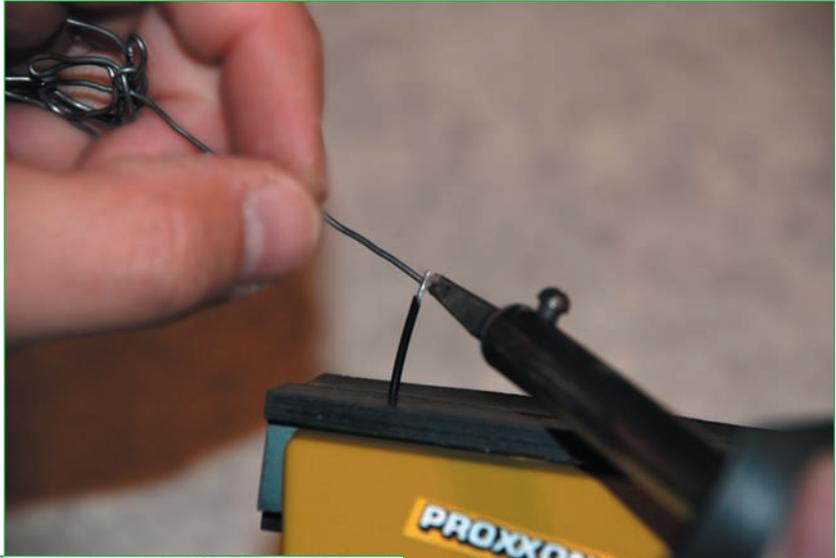
**Abb. 7.22** – Anschlussfahne für eine 9-V-Batterie. Der rote Draht ist der Plus-, der schwarze der Minus-Pol.



**Abb. 7.23** – Um die Stromversorgungskabel anzulöten, die Drahtenden abisolieren und ...

## 7.6 Stromversorgungskabel richtig anlöten

heißt der Minuspol oft auch „Masse“. Um die Drähte von der Batterie an die Anschlusspunkte der Platine zu löten, ziehen Sie die Kunststoffisolierung an den beiden Drahtenden mit einer Abisolierzange einige Millimeter weit ab. Im Anschluss sind die blanken Drahtenden mit Lot zu verzinnen, um sie danach besser anlöten zu können.



**Abb. 7.25** – Die Bauanleitung informiert über die exakten Anschlusspunkte für die Stromversorgungskabel.

**Abb. 7.24** – ... vor dem Anlöten verzinnen.

## 7.7 Löten auf sehr glatten Oberflächen

**B**enötigen Schaltungen nur wenig Strom, können Sie die Batterie oder den Akku direkt an die Anschlusspunkte der Schaltung über Drähte anlöten. Wenn da nicht ein Problem wäre: Plus- und Minus-Pol der Batterie haben eine sehr glatte metallische Oberfläche. Dadurch perlt das Lot ab, oder man kann es nur irgendwie auf die Lötstelle „schmierern“. Damit das Lot hält, rauhen Sie die Oberfläche der Batteriepole mit feinem Schmirgelpapier oder einer feinen Feile etwas an.

Zur Not tut es auch ein Schraubenzieher. Schon einige leichte Kratzer lassen das Lot deutlich besser haften. Damit es tatsächlich haften bleibt, sind die angerauten Stellen gründlich zu reinigen und Fettrückstände zu beseitigen. Danach nicht mehr mit den Fingern berühren und die Drähte anlöten. Diese Lötunkte sind trotzdem nicht die besten. Man sollte deshalb mit Batterie oder Akku behutsam umgehen.

## 7.8 Lautsprecher- oder Mikrofon-Kabel anlöten

Damit können Sie konfrontiert sein, wenn Sie beispielsweise einen Babysitter- oder Gegensprechanlagen-Bausatz zusammenbasteln möchten. Lautsprecher oder Mikrofone sind über Buchsen und kurze isolierte Drähte mit der Platine zu verbinden. Die Leitungen sollten zwischen 0,5 mm<sup>2</sup> und 1 mm<sup>2</sup> dick sein. Die Buchsen erlauben, unterschiedliche Mikros oder Lautsprecher an die Schaltung bequem anzustöpseln, ohne dass Sie jedes Mal zum Lötkolben greifen müssen.

Wie bei Dioden oder Elektrolytkondensatoren ist auch beim Anschließen eines Mikrofans auf die Polarität zu achten, über die die Platine informiert. Bei Kondensatormikrofonen ist der Minuspol oder der Masseanschluss mit dem Gehäuse verbunden (Abb. 7.26). Etwa in der Mitte liegt der Pluspol. Da Kondensatorkapseln im Gegensatz zu dynamischen Mikrofonen ziemlich klein sind, kann eine Lupe helfen, die Anschlussdrähte richtig anzulöten. Zuerst ziehen Sie den Kunststoffmantel der Drahtenden auf einer Länge von rund 5 mm mit einer Abisolierzange ab. Die blan-



**Abb. 7.26** – Bei diesem Kondensatormikrofon ist der rechte Anschlusspunkt als Minuspol mit dem Gehäuse verbunden.

ken Drahtenden sind mit dem Lötkolben zu verzinnen, damit sie sich leichter an die Anschlusspunkte des Mikrofans löten lassen. Verzinnen und Anlöten sollte allerdings nicht zu lange dauern, damit die Kunststoffisolierung der Leitungen nicht zu schmelzen beginnt. Möchten Sie dagegen Drähte an einen Lautsprecher anlöten, sind vorher nicht nur die blanken Drahtenden, sondern auch die Anschlusspunkte des Lautsprechers nach Abb. 7.27 zu verzinnen.



**Abb. 7.27** – Damit sich die Drähte besser anlöten lassen, sind beide Anschlusspunkte des Lautsprechers zu verzinnen.



**Abb. 7.28** – Anlöten der Kabel an den Lautsprecher.

## 7.9 Letzte Sichtkontrolle und Schaltung in Betrieb nehmen

Nachdem Sie die Lötarbeiten abgeschlossen haben, überprüfen Sie noch einmal den Bausatz. Dabei sollten Sie auf die Bauteile achten, die an der richtigen Stelle und, falls erforderlich, mit der richtigen Polung angelötet sein müssen. Auf die korrekte Einbaurichtung ist bei Dioden, Elektrolytkondensatoren, Transistoren und Integrierten Schaltungen zu achten. Auch die Rückseite der Platine ist zu kontrollieren. Sind vielleicht Leiterbahnen mit Lot überbrückt worden? Das löst einen Kurzschluss aus, wenn Sie die Schaltung in Betrieb nehmen! Auch eng beieinander liegende Lötunkte an ICs sind zu prüfen, ob kein Lot dazwischen gelangt ist. Ist beim Löten doch zu viel Lötzinn haften geblieben, das überflüssige Lot nochmals erhitzen und mit Entlötdraht oder einer Entlötpumpe nach Kapitel 8 entfernen. Auch auf der Platine liegende gebliebene abgeschnittene Drahtenden können einen Kurzschluss verursachen. Deshalb sollten Sie auch darauf achten.

Wenn Elektronikbausätze nicht funktionieren, können außerdem Kalte Lötstellen der Grund sein. Man erkennt sie bei bleihaltigem Lot an einer matten und etwas stumpfen Oberfläche, einwandfreie Lötstellen glänzen dagegen. Kapitel 5 erläutert, wie man auch andere schlechte Lötunkte zuverlässig erkennt.

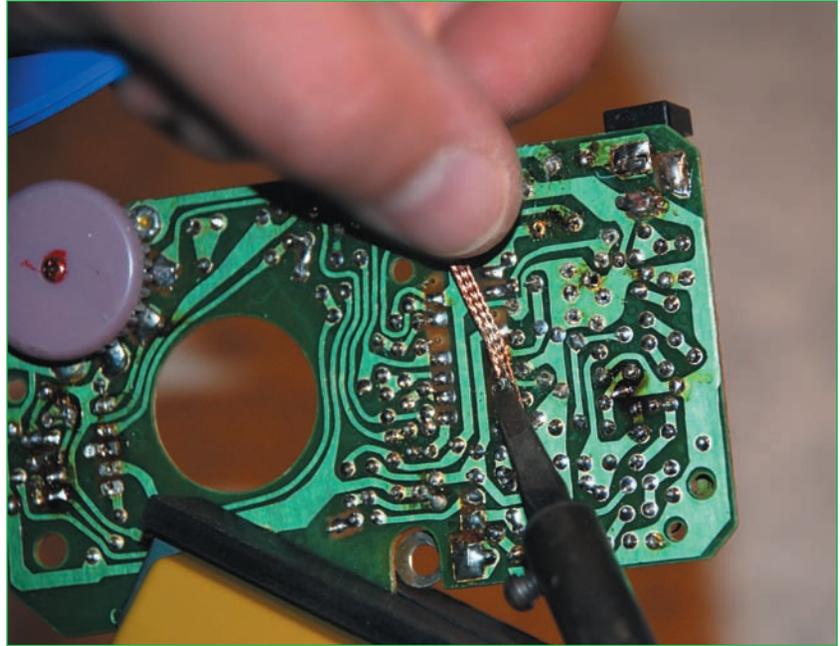
Die Bauanleitung klärt Sie nicht nur über die Funktionen der Schaltung auf, sondern enthält auch Hinweise über eventuelle Abgleicharbeiten, die vor Inbetriebnahme erforderlich sind. Der Anwender muss vielleicht einen regelbaren Widerstand einstellen. Funktioniert die Schaltung trotz penibler Überprüfung nicht, prüfen Sie, ob Batterie oder Akku richtig angeschlossen sind. Außerdem sollten Sie noch einmal einen Blick auf alle eingelöteten Bauteile werfen. Trotzdem Entwarnung: Die meisten Fehler lassen sich vermeiden, wenn Sie sich genügend Zeit beim Zusammenbauen und Kontrollieren lassen.

## 8 Unerwünschtes Lot zuverlässig entfernen

**W**enn Sie als Einsteiger zum LötKolben greifen, gelangt nicht selten etwas zu viel Lot auf die Lötstellen. Wie bei allen Dingen des Lebens, ist auch beim Löten noch kein Meister vom Himmel gefallen. Das Lötzinn kann zu einem benachbarten Lötauge fließen und so unbeabsichtigt einen leitenden Kontakt herstellen. Das kann auch zwischen Kontakten von Bauteilen oder zwischen Leiterbahnen passieren. Auch beim Auslöten von Bauteilen muss man Lötzinn entfernen. Dieses Kapitel beschreibt, wie mit passenden Werkzeugen vorzugehen ist, damit das Lotentfernen komfortabel klappt.

## 8.1 Entlötdraht fachgerecht einsetzen

Überflüssiges Lot bindet ein Entlötdraht nach Kapitel 2.9, der aus sehr dünnen Metalllitzen besteht. Für Bastelanwendungen sind Sie mit Standardbreiten von rund 2 mm bis 3 mm bestens bedient. Feinere Entlötdrähte benötigen Sie nur, wenn Sie sehr kleine Bauelemente wie SMD-Bauteile auslöten möchten. Legen Sie den Entlötdraht zuerst auf den zu bearbeitenden Lötspunkt. Halten Sie ihn nicht zu nahe der Arbeitsstelle fest, weil er beim Lotentfernen sehr heiß wird. Ein Abstand von mindestens 10 cm ist ratsam. Jetzt ist die heiße Lötspitzen auf den Lötspunkt zu drücken, und die Metalllitzen können das über-



**Abb. 8.1** – Entlötlitze bindet überschüssiges Lot.



schüssige Lot aufnehmen (Abb. 8.1). Rund 2 cm Entlötdraht werden in Lot getränkt, wenn man ein Bauteil auslötet. Ist alles überschüssige Lot gebunden, sind Lötspitzen und Entlötdraht gleichzeitig vorsichtig von der Arbeitsstelle zu entfernen.

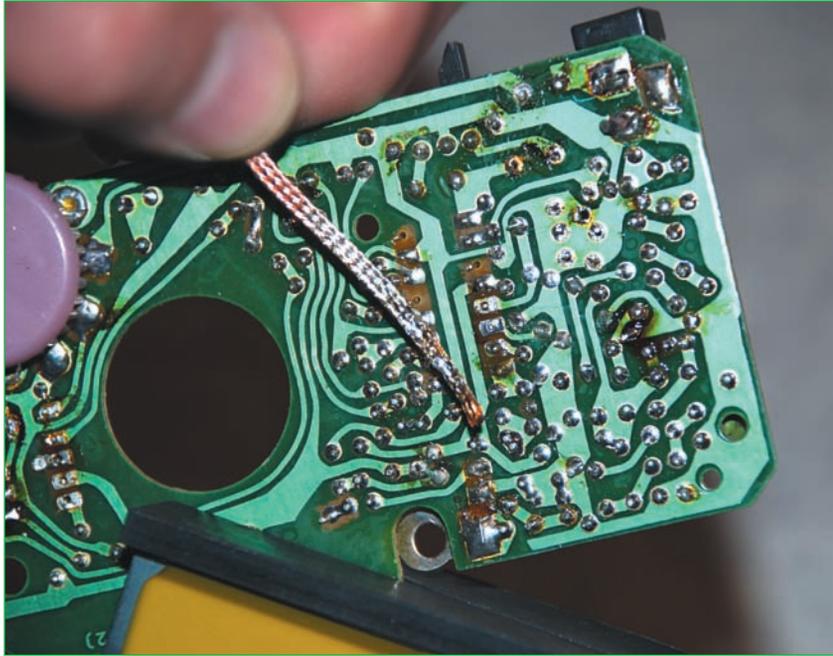
Achten Sie beim Entlöten darauf, dass die Metalllitze keine benachbarten Lötspunkte berührt. Diese erwärmen sich sonst und ge-

**Abb. 8.2** – Der Blick durch die Lupe bringt Gewissheit: Das alte Lot ist weg.

## 8.1 Entlötdraht fachgerecht einsetzen

ben Lot ab, oder der Entlötdraht bleibt daran haften. Trotzdem können Sie mit Entlötdraht Bauteile sehr komfortabel ausbauen und überschüssiges Lot sicher entfernen. Selbst ICs lassen sich einfach auslöten. Die Litze über alle Anschlüsse auf einer Seite des Bauteils legen und die Lötspitze langsam von einem Ende zum anderen bewegen. Dabei wird das Lot nach und nach von den einzelnen Anschlusspunkten abgesaugt.

Wie viel Lot die Litze aufnimmt, hängt von der Lötzeit und der Lötspitze ab. Wenn Sie die Entlötarbeiten erledigt haben (Abb. 8.2), schneiden Sie die mit Lot bedeckte Entlötlitze ab und entsorgen Sie sie. Sie ist nur einmal verwendbar.



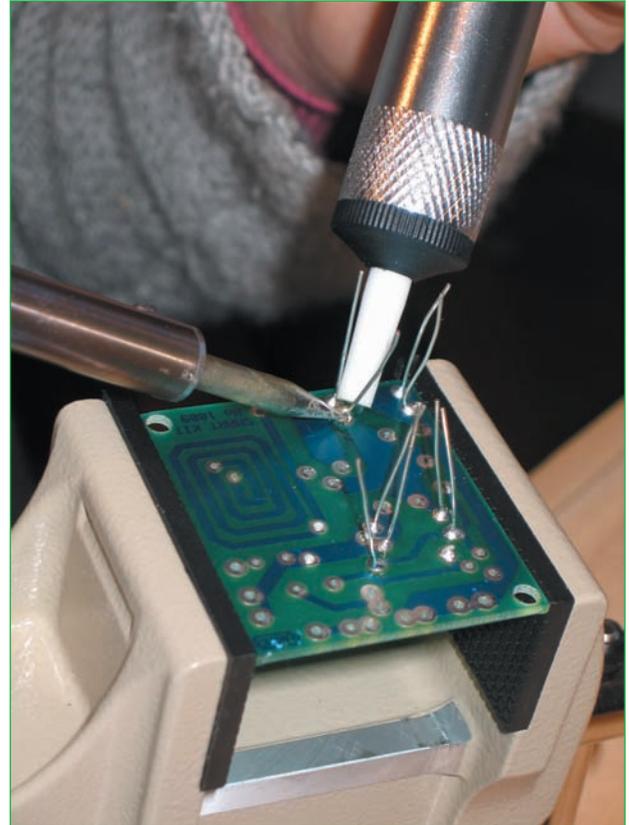
**Abb. 8.3** – Ein mit Lot bedeckter Entlötdraht ist nicht mehr verwendbar.

## 8.2 Mit Entlötpumpe Lötzinn absaugen

Auch mit der Entlötpumpe nach Kapitel 2.9 können Sie überflüssiges Lot von der Arbeitsstelle entfernen. Das erfordert allerdings etwas Übung. Wenn Sie Lötzinn absaugen wollen, müssen Sie den Kolben spannen. Dazu den Griff auf der Rückseite so weit in den Zylinder drücken, bis dieser einrastet. Das Werkzeug ist jetzt einsatzbereit. Danach das Lot an der Arbeitsstelle mit dem Lötkolben erhitzen. Sobald es flüssig geworden ist, die Entlötpumpe aufsetzen. Auf den Arretierknopf drücken, der Kolben schnell nach hinten und saugt das Lötzinn ab. Problem bei einfachen Entlötpumpen: Durch den Rückstoß schlägt die Entlötspitze auf die Lötstelle auf. Außerdem ist bei allen Modellen darauf zu achten, dass beim Absaugen die Pumpenspitze nicht die heiße LötKolbenspitze berührt. Die Teflonspitze kann sich dadurch verformen und im Bereich der Öffnung sogar schmelzen!



**Abb. 8.5** – Schon nach wenigen Entlötvorgängen haben sich im Zylinder einige kleine Lotklümpchen angesammelt.



**Abb. 8.4** – Beim Arbeiten mit der Entlötpumpe brauchen Sie beide Hände.

### *Entlötpumpe reinigen*

Das abgesaugte Lötzinn sammelt sich im Zylinder. Je nach Modell sollten Sie die Entlötspitze oder den hinteren Teil der Entlötpumpe vom Zylinder abschrauben und das Lötzinn anschließend auf ein Blatt Papier oder Pappe fallen lassen und entsorgen. Auch das Innere der Absaugspitze ist von erkaltetem Lötzinn zu säubern.

## 8.3 Gereinigte LötKolbenspitze? Nur eine Notlösung

**H**aben Sie weder Entlötdraht noch eine Entlöt-pumpe zur Hand, können Sie Löt-zinn auch mit der Löt-spitze aufnehmen, wenn diese gründlich gereinigt ist. Den Löt-punkt so lange erhitzen, bis das Löt-zinn wieder flüssig ist. Danach den Löt-kolben von der Löt-stelle entfernen und die Löt-spitze vom angesammelten Lot säubern. Das gelingt mit einem feuchten Küchenschwamm, an dem Sie die Spitze abstreifen können.

Diesen Arbeitsvorgang ist mitunter mehrmals zu wiederholen, weil die Löt-kolbenspitze immer nur wenig Zinn aufnehmen kann. Der Nachteil: Empfindliche Bauteile werden durch die immer wiederkehrende Hitze belastet. Außerdem können sich zuvor eingelöte Bauteile lockern und herausrutschen. Die gereinigte Löt-kolbenspitze ist deshalb nur eine Notlösung, um Lot zu entfernen.



## 9 Defekte Platine reparieren

**A**ls Anfänger braucht man zum Löten manchmal etwas länger. Wenn man Pech hat, lösen sich durch die größere Hitze das Löttauge oder die nahe Leiterbahn von der Platine. Eine schöne „Bescherung“ – trotzdem nicht den Mut verlieren, denn solche Platinen lassen sich reparieren.



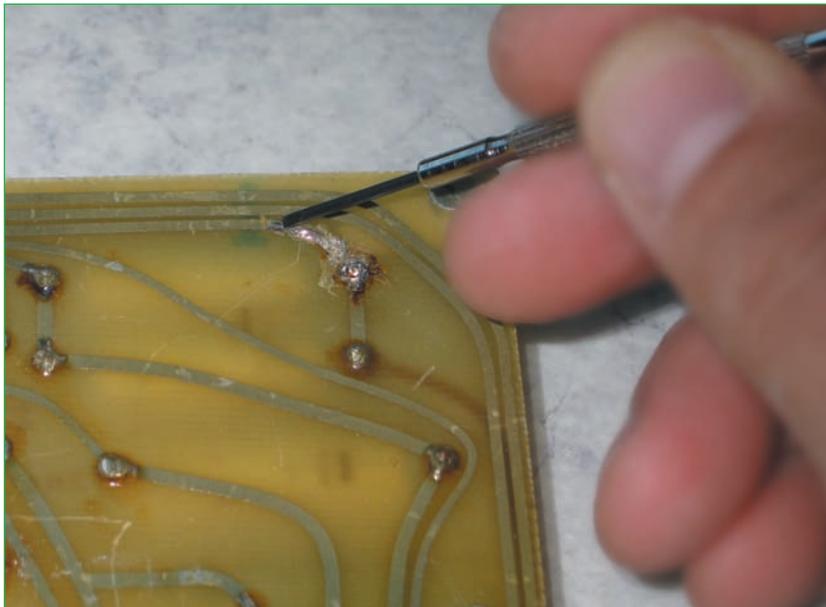
**Abb. 9.1** – Die Leiterbahn hat sich am Löttauge gelöst.

## 9.1 Kaputte Leiterbahn mit Drahtbrücke auf Vordermann bringen

Zuerst müssen Sie feststellen, wie weit sich die Leiterbahn gelöst hat. An zwei Stellen, wo sie noch gut haftet, schneiden Sie vorsichtig mit einem scharfen Tapetenmesser den losen Teil heraus. Jetzt überbrücken Sie das fehlende Stück Leiterbahn mit einem dünnen Draht. Da Leiterbahnen häufig mit einer isolierenden Lackschicht überzogen sind, müssen Sie diese auf einer Länge von rund 3 mm bis 5 mm vorsichtig mit dem Messer oder einem kleinen Schraubenzieher abschaben (Abb. 9.2 und Abb. 9.3). Achten Sie darauf die Leiterbahn dabei nicht zu beschädigen. Das freigelegte Leiterbahnstück mit feinem Schmirgelpa-



**Abb. 9.2** – Schritt 1: Nachdem Sie den losen Teil der Leiterbahn herausgeschnitten haben, schaben Sie den Isolierlack auf einem Stück der noch intakten Leiterbahn vorsichtig ab.

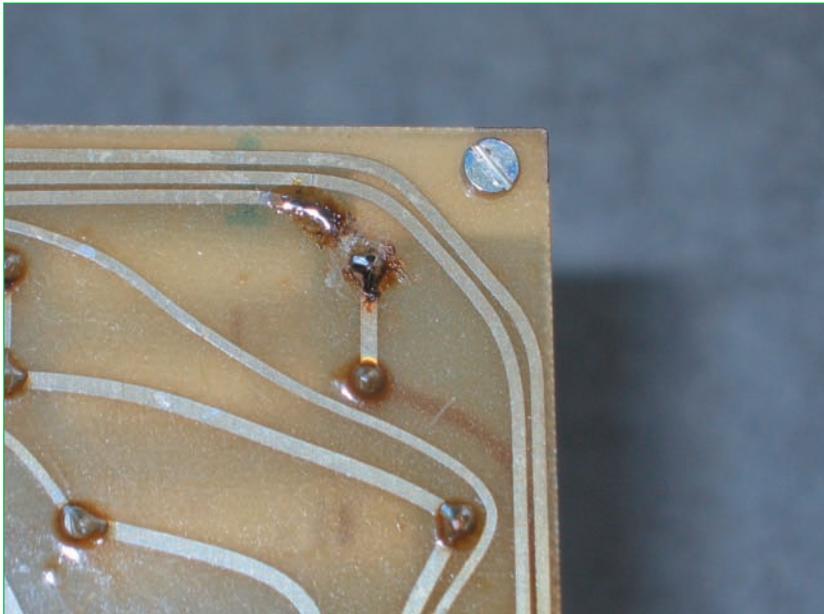


pier etwas anrauen und mit Lot verzinnen (Abb. 9.4 und Abb. 9.5). Für die Drahtbrücke kann man einen abgewickelten Anschlussdraht von einem eingebauten Bauteil verwenden – vorausgesetzt, der blanke Draht kann keinen Kurzschluss verursachen. Im Zweifel greifen Sie

**Abb. 9.3** – Den Lack kann man auch mit einem kleinen Schraubenzieher entfernen.

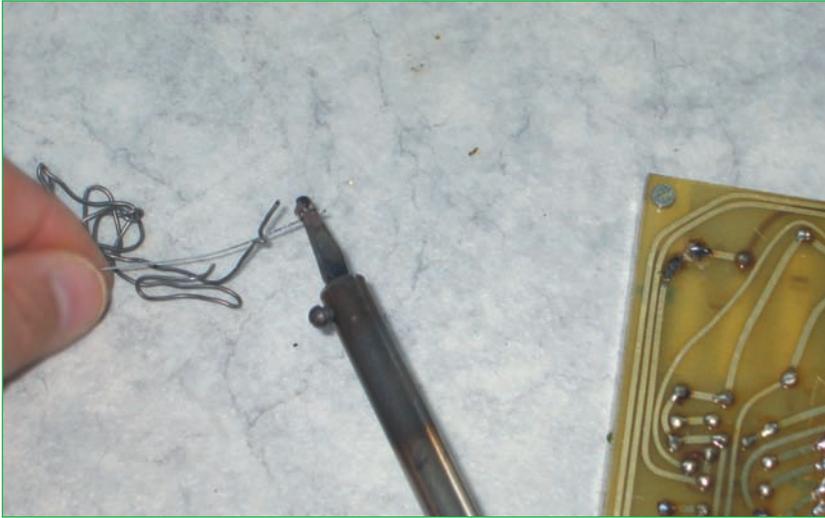
## 9.1 Kaputte Leiterbahn mit Drahtbrücke auf Vordermann bringen

auf einen isolierten, rund 0,5 mm<sup>2</sup> dicken Leiter zurück. Auch die Drahtbrücke vor dem Einlöten an den Enden sollten Sie verzinnen, damit das Lot besser haftet. Den verzinnten Draht sicher auf die Leiterbahn legen, gegen Verrutschen sichern und auf einer Seite anlöten (Abb. 9.7). Nach dem Abkühlen der Lötstelle biegen Sie die Drahtbrücke bei Bedarf mit einer Elektronikflachzange vorsichtig zurecht (Abb. 9.8). Schließlich löten Sie das andere Drahtende an die gegenüberliegende Seite der defekten Leiterbahn an und zwischen den überstehenden Leiter ab – fertig.

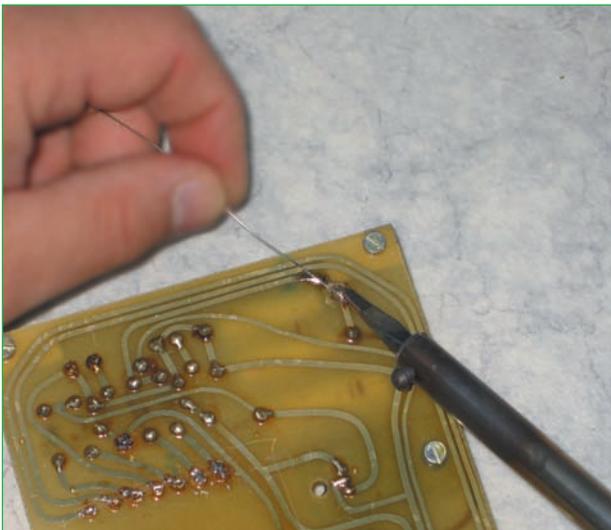


**Abb. 9.4 und Abb. 9.5** – Schritt 2: Auf die blanken Stellen der Leiterbahn muss etwas Lot aufgetragen werden.

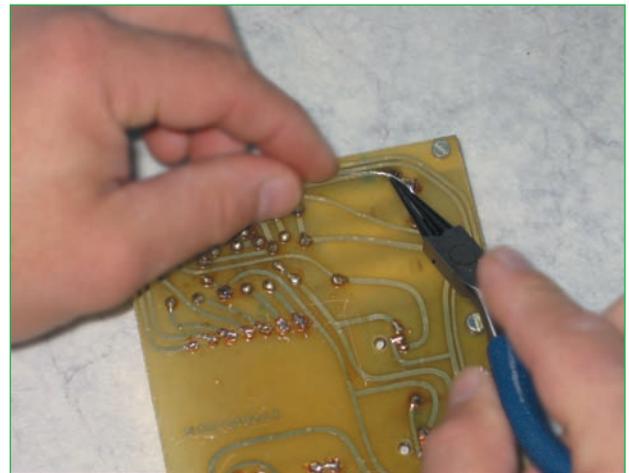
## 9.1 Kaputte Leiterbahn mit Drahtbrücke auf Vordermann bringen



**Abb. 9.6** – Schritt 3: Um sich die Flickarbeit zu erleichtern, sollten Sie auch die Drahtbrücke an den Enden ein wenig verzinnen.

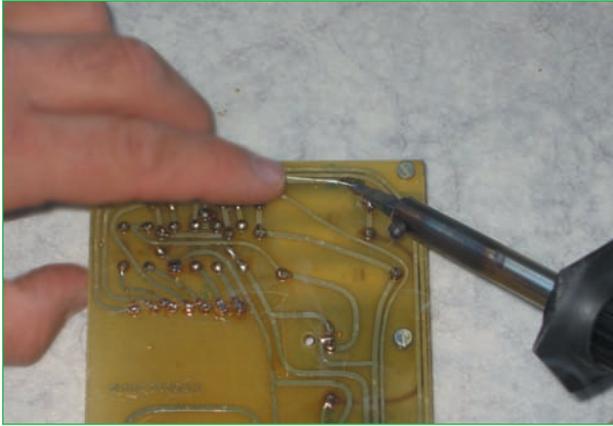


**Abb. 9.7** – Schritt 4: Löten Sie das Drahtstück zuerst an einem Ende an ...

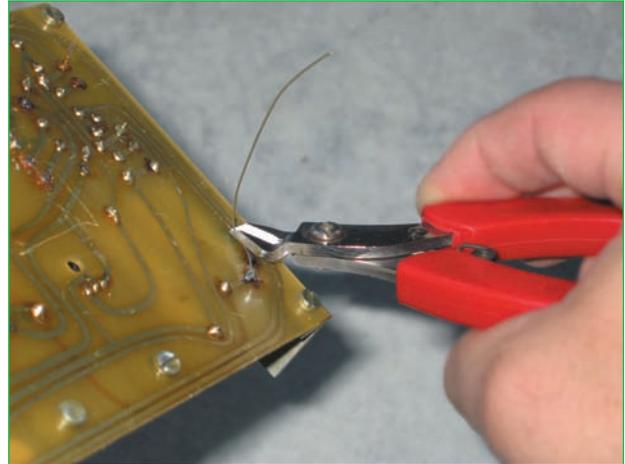


**Abb. 9.8** – Schritt 5: ... und biegen es vorsichtig zurecht.

## 9.1 Kaputte Leiterbahn mit Drahtbrücke auf Vordermann bringen



**Abb. 9.9** – Schritt 6: Danach das zweite Ende der Drahtbrücke anlöten.



**Abb. 9.10** – Schritt 7: Zuletzt den überstehenden Draht abkneifen.



**Abb. 9.11** – Fertig eingelötete Drahtbrücke. Die defekte Leiterbahn ist repariert.

## 9.2 Kaputtes Lötauge mit Anschlussdraht überbrücken

**H**at sich ein Lötauge gelöst, ist bei der Reparatur ähnlich vorzugehen wie bei der kaputten Leiterbahn nach Kapitel 9.1. Die Lösung liefern die langen Anschlussdrähte des Bauteils, das man an dieser Stelle einlöten möchte, und die Leiterbahn am defekten Lötauge. Zuerst den Schutzlack der Leiterbahn auf einer Länge von 3 mm bis 5 mm mit dem Messer abschaben, wo sie noch gut haftet. Diese Stelle danach mit feinem Schmirgelpapier anrauen und danach verzinnen. Jetzt den Anschlussdraht des Bauteils durch die Bohrung des defekten Lötauges stecken um 90 Grad in Richtung der verzinnten Leiterbahn umbiegen und ausrichten. Achten Sie darauf, dass das blanke Anschlussstück keinen

Kurzschluss mit benachbarten Lötunkten oder Leiterbahnen verursacht. Zur Absicherung können Sie über den Drahtanschluss ein Stück Isolierung stülpen. Dazu eignet sich der Kunststoffmantel eines zuvor abisolierten Drahtstücks mit vergleichbarem Querschnitt. Den Kunststoffmantel auf die benötigte Länge zurechtschneiden und über den Drahtanschluss stülpen. Danach den Drahtanschluss an den verzinnten Punkt der Leiterbahn löten – fertig. So eingelötete Bauteile halten zwar nicht so fest wie üblich eingelötete, aber bringen die Schaltung wieder zum Laufen. Seien Sie etwas vorsichtig sein, wenn Sie die reparierte Platine ins Gehäuse einbauen.

# 10 SMD-Bauteile löten

## 10 SMD-Bauteile löten

Die SMD-Technologie gewinnt durch immer kleinere und intelligentere Bauteile an Bedeutung. SMD steht für surface-mounted device, zu Deutsch oberflächenmontierbares Bauteil. Diese winzig kleinen Bauelemente haben keine Drahtanschlüsse, sondern sind mittels lotfähiger Anschlussflächen direkt auf eine Leiterplatte zu löten. Dafür brauchen Sie eine Pinzette mit feiner Spitze, um sie sicher zu positionieren. Außerdem benötigen Sie einen FeinlötKolben nach Kapitel

1.1 mit einer möglichst dünnen Bleistiftspitze. Hinzu kommt dünnes Lot von etwa 0,5 mm Durchmesser mit säurefreiem Flussmittel. Damit das Löten tatsächlich gelingt, betrachten Sie die Arbeitsstelle durch eine Lupe. Nur wenn Sie den Arbeitsbereich gut erkennen, können Sie die Lötspitze genau platzieren – vorausgesetzt, Sie haben eine ruhige Hand. Das Löten von SMD-Bauteilen erfordert viel Übung und ist deshalb für den ungeübten Einsteiger nicht zu empfehlen.

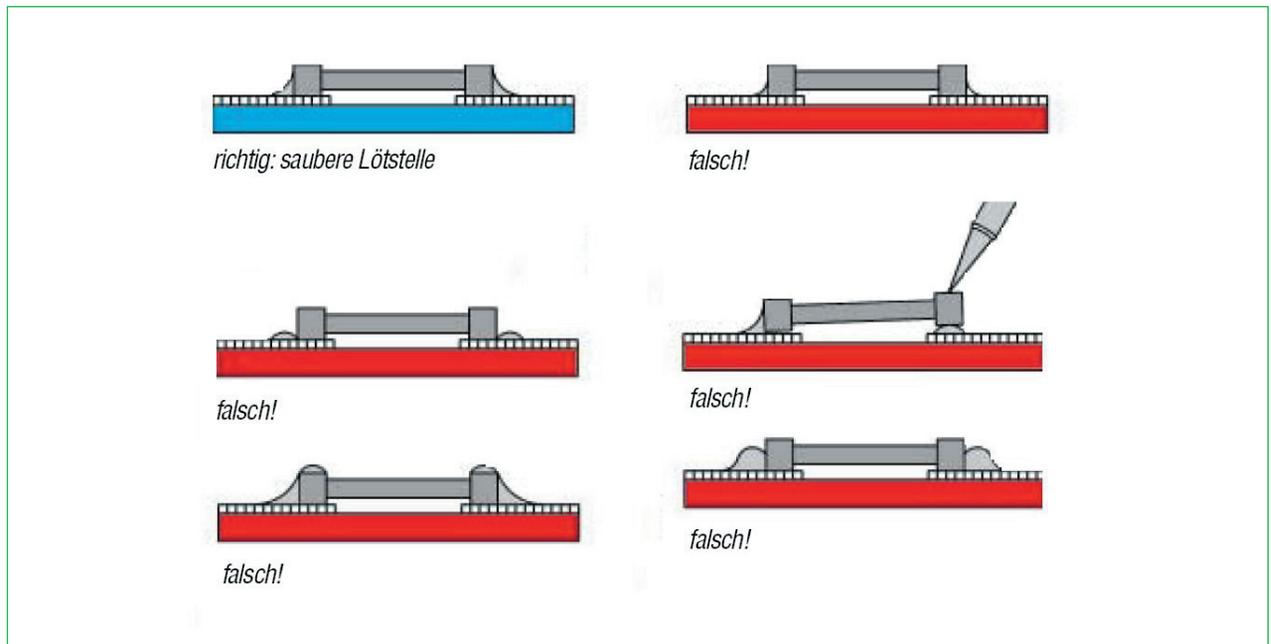


Abb. 10.1 – Einen SMD-Baustein richtig zu löten will gelernt sein (links oben). (Bild: Ersä)

## 10.1 SMD-Adapter bauen

Immer mehr interessante ICs sind nur noch in SMD-Gehäusen zu erhalten. Was liegt näher, als einen Adapter zu bauen, um das Bauteil auf einer herkömmlichen Platine unterzubringen. Dafür eignet sich die TSSOP-Adapterplatine von AK Modul-Bus Computer (Abb. 10.2). Ein Digital-Analog-Umsetzer, der digitale in analoge Signale umwandelt, soll im 16-poligen TSSOP-Gehäuse mit der Platine für einen Probeaufbau verwendet werden. Zuerst den IC richtig auf die Adapterplatine stecken. Kapitel 6.9 informiert unter der Überschrift *Einbaurichtung sicher erkennen*, wie dabei vorzugehen ist. Danach das Bauteil an den Ecken vorsichtig anlöten, ausrichten (Abb. 10.3) und alle Beinchen zusammen mit viel Lötzinn festlöten (Abb. 10.4). Schließlich das meiste Lötzinn mit Entlötdraht nach Kapitel 8.1 entfernen (Abb. 10.5).

Um die Adapterplatine auf die Hauptplatine zu löten, kann man Präzisions-Steckadapter mit runden Kontakten verwenden, die sich auch in IC-Fassungen stecken lassen (Abb. 10.7). Statt der runden Kontakte kommen auch Drahtstücke nach Abb. 10.8 infrage. Die Lötaugen der Adapterplatine haben einen Lochdurchmesser von 0,8 mm, so dass Standard-Pfostenstecker nicht hineinpassen. Der IC besitzt zwar noch mehr Anschlüsse, aber einige liegen an Masse, oder sie lassen

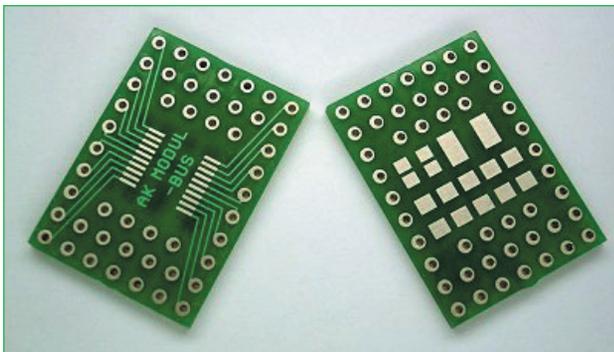


Abb. 10.2 – TSSOP-Adapterplatine.

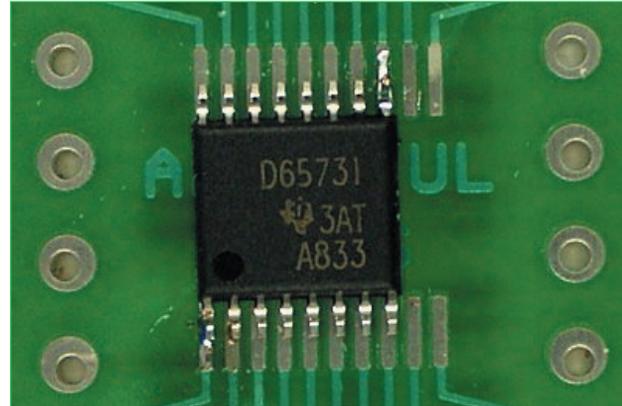


Abb. 10.3 – Schritt 1: Das IC an den Ecken vorsichtig anlöten und ausrichten.

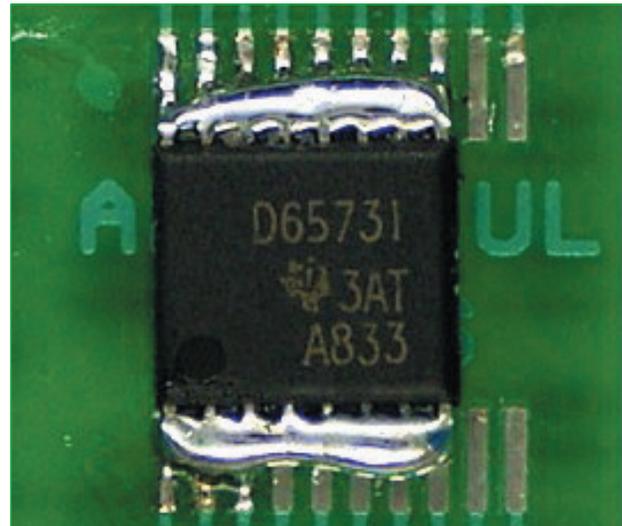
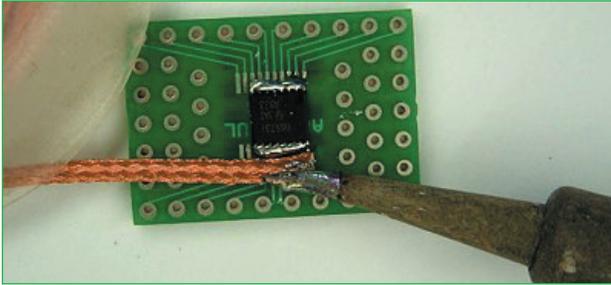


Abb. 10.4 – Schritt 2: Alle Beinchen zusammen anlöten.

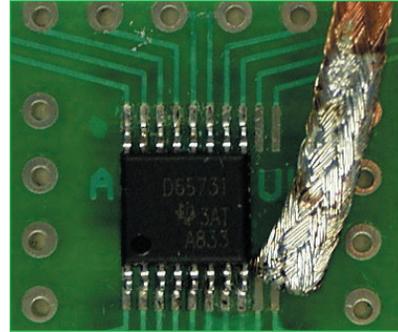
sich auf der Platine verdrahten (Abb. 10.9). Den „groß gewordenen“ IC können Sie jetzt komfortabel auf eine größere Platine löten.

Informationen und Bilder von Burkhard Kainka: [www.elexs.de](http://www.elexs.de)

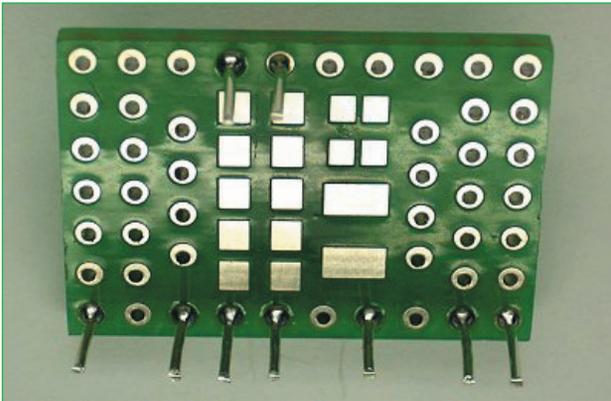
## 10.1 SMD-Adapter bauen



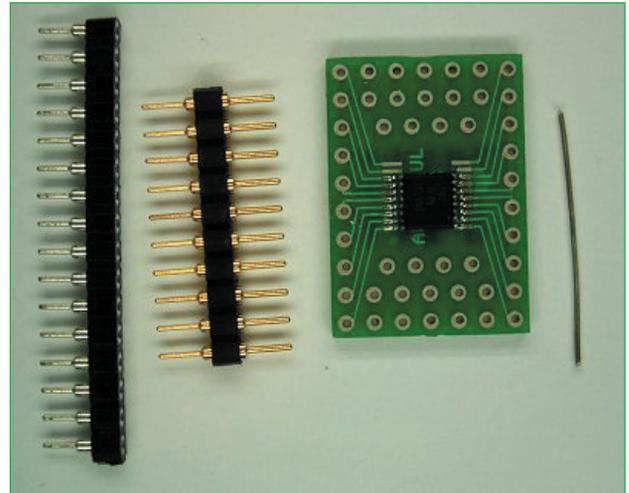
**Abb. 10.5** – Schritt 3: Überschüssiges Lötzinn mit Entlötdraht entfernen.



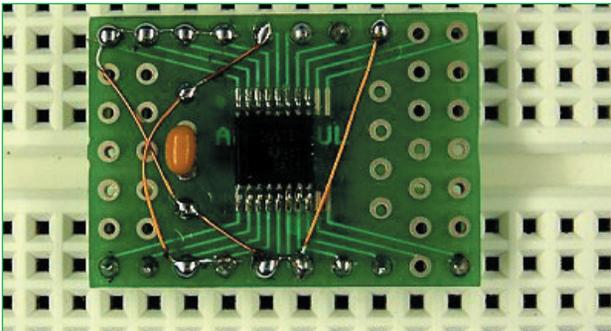
**Abb. 10.6** – Auf der Platine haftet gerade noch die richtige Menge Lötzinn für eine saubere Verbindung. So einfach ist das!



**Abb. 10.7** – Schritt 4: Adapterplatine mit Präzisions-Steckadaptern. Die runden Kontakte in die passenden Lötäugen der Hauptplatine stecken und festlöten.



**Abb. 10.8** – Präzisions-Steckadapter mit durchgestecktem 0,6 mm dickem Silberdraht.



**Abb. 10.9** – Schritt 5: Die fertige Adapterplatine trägt einige zusätzliche Drahtbrücken.

# 11 Drähte und Kabel fachgerecht zusammenlöten

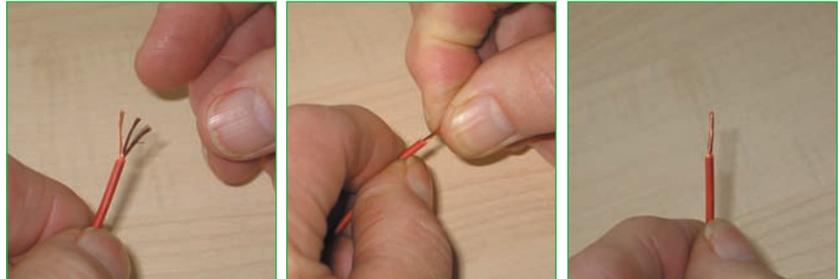
**B**isher ging es in diesem Buch darum, Bauelemente fachgerecht in Platinen einzubauen. Dieses Kapitel erläutert, wie man ihre Anschlussdrähte untereinander und mit einem Verbindungskabel richtig zusammenlötet. Auch hier hängt das Ergebnis von Geschick und Erfahrung ab. Wenn man weiß, wie man vorzugehen hat, ist bereits viel erreicht. Mit folgendem Beispiel geht es gleich in die Praxis: Eine Leuchtdiode soll mit einem Vorwiderstand und einem doppeladrigen Kabel verbunden werden – und zwar ohne Hilfsmittel wie Platine

## 11 Drähte und Kabel fachgerecht zusammenlöten

oder Lötöse. Zuerst das zweiadrige Kabel am Ende abisolieren. Die feinen Kupferadern sollten absolut blank sein. Um zu verhindern, dass sie seitlich abstehen, nach Abb. 11.1 eng verdrehen. Im Anschluss die Drahtenden verzinnen. Dabei die heiße Lötspitze und das Lot etwa gleichzeitig an das blanke Kabelende führen. Die Kupferlitze muss einmal richtig heiß werden, damit das Zinn gut verläuft. Eine leichte Hin- und Herbewegung hilft, das Lot über die ganze blanke Drahtlänge zu verteilen.

Nun sind die Anschlussdrähte von Diode und Widerstand an der Reihe. Passend mit einem Elektronikseitenschneider nach Kapitel 2.2 kürzen und die Enden mit der Lötspitze verzinnen. Das hat zwar schon der Hersteller gemacht, aber es kann sich eine leichte Oxidschicht gebildet haben, die als Isolator wirkt. Nach dem Verzinnen ist alles wieder schön blank. Haben Sie uralte Bauteile aus der Bastelkiste vor sich, die Drahtanschlüsse an den Enden vor dem Verzinnen vorsichtig mit einem Messer blank schaben.

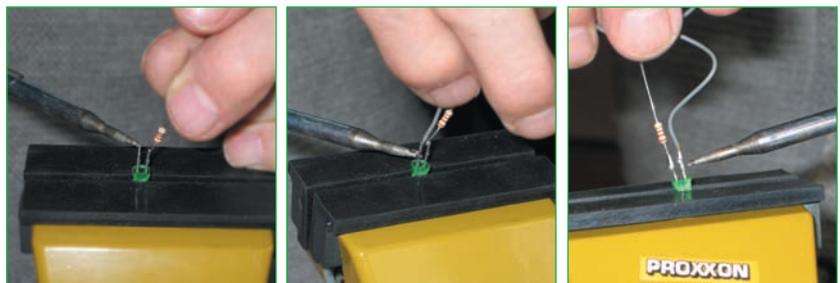
Sind die Kabelenden und die Enden der Anschlussdrähte verzinkt,



**Abb. 11.1** – Die blanke Litze eng zu verdrehen sorgt später für einen gut leitenden Kontakt.



**Abb. 11.2** – Die blanken Kabelenden vor dem Zusammenlöten verzinnen.



**Abb. 11.3** – Die verzinten Kabelenden und die verzinten Anschlussdrähte der Bauteile lassen sich bequem zusammenlöten.

# 11 Drähte und Kabel fachgerecht zusammenlöten

kann es ans Zusammenlöten gehen. Die zu verbindenden Drähte parallel halten und mit etwas Lötzinn heiß verlöten (Abb. 11.3). Die Lötstelle schnell erhitzen und rund 2 mm bis 3 mm Lötzinn mit einem Querschnitt von 1,5 mm verbrauchen. Sobald sich das Lötzinn richtig zwischen den Drähten verteilt hat, den LötKolben schnell zurückziehen. Die Lötstelle still halten, bis das Lötzinn erstarrt ist. Wackelt man zu früh, hat man eine schlechte Lötstelle produziert.

## Typische Anfängerfehler vermeiden

- Der Anfänger berührt die Lötstelle nur mit einer Ecke der Lötspitze. Dabei wird nicht genügend Wärme übertragen. Der geübte Lötter legt dagegen die Lötspitze so an, dass eine möglichst große Berührungsfläche entsteht. Er schiebt sehr schnell etwas Lötzinn zwischen Lötspitze und Anschlussdraht, weil das Lot die Lötspitze zusätzlich auf die Drahtenden überträgt.
- Der Anfänger lässt erst etwas Lötzinn auf der Lötspitze schmelzen, bevor er lötet. Dabei verdampft das Flussmittel, das Lötzinn liegt frei und oxidiert etwas. Der Lötprofi dagegen berührt die Lötstelle immer gleichzeitig mit LötKolbenspitze und Lötzinn.
- Der Anfänger ist unsicher, ob er zu viel Hitze zuführt. Er zieht den LötKolben zu schnell weg, legt ihn wieder an und das vielleicht noch ein- oder zweimal. Das Ergebnis ist eine graue, unregelmäßig geformte Lötstelle mit schlecht leitenden Übergängen. Der Lötmeister dagegen heizt die Lötstelle schnell und kräftig auf und beendet die Lötung abrupt und endgültig.



## 12 Lötten im Auto – Brandflecken keine Chance lassen

**W**er im Auto lötten möchte, sollte auf einige Besonderheiten achten, damit alles problemlos klappt. Das beginnt beim LötKolben. Nach Kapitel 1.4 eignet sich ein 12-V-Modell, das man einfach am Zigarettenanzünder ansteckt. Von einem 230-V-LötKolben ist dagegen im Auto abzuraten. Da man das Stromkabel durch die Tür ins Wageninnere verlegen muss, kann die Kabelisolierung durch unbeabsichtigtes Schließen der Tür beschädigt werden. Im schlimmsten Fall wird die Karosserie unter Strom gesetzt, so dass Lebensgefahr besteht!

## 12 Löten im Auto – Brandflecken keine Chance lassen

Im Auto lauern weitere Gefahren. Wegen der beengten Platzverhältnisse ist es kaum möglich, eine geeignete Arbeitsunterlage unterzubringen. Das kann ärgerlich sein, wenn Sie beispielsweise den Antennenstecker hinter dem Radio anlöten wollen. Für eine solide Ablagefläche eignet sich in diesem Fall nur ein waagrecht liegendes Brett auf dem Beifahrersitz. Dazu auf die hintere Sitzfläche im Bereich der Rückenlehne einen Gegenstand legen, um die Ablagefläche etwas zu erhöhen. Das Brett muss waagrecht liegen, damit der heiße LötKolben nicht nach hinten rollen und ein Loch in den Sitzbezug brennen kann. Beim Löten sollten Sie außerdem auf die vielen Kunststoffteile wie Armaturenbrett, Mittelkonsole und Schaltknüppel achten. Beim Berühren mit der heißen LötKolbenspitze schmelzen sie und sorgen für ärgerliche Brandflecken, die kaum oder gar nicht mehr zu entfernen sind.



**Abb. 12.1** – Ohne Schutzmaßnahmen hinterlässt der LötKolben im Auto schnell einen Brandfleck.

## 13 Bleihaltiges Lot für Anfänger zu empfehlen

Lote oder Lötzinn enthalten Flussmittel, Zinn und andere Metalle. Bleihaltige Lote dürfen seit dem 1. Juli 2006 aus Umwelt- und Gesundheits-Gründen nicht mehr im Elektronikbereich verwendet werden. Für den Privatgebrauch sind sie dagegen weiter zulässig. Man kann sie deshalb nach wie vor in Fachmärkten kaufen. Sie schmelzen gegenüber bleifreien Loten bei einer um 10 Grad bis 30 Grad niedrigeren Temperatur, was die Bauteile schont. Vor allem empfindliche Bauteile müssen den höheren Löttemperaturen bei bleifreiem Lot standhalten. Brauchen Sie für eine Lötung zu

lange, können Sie einen oder mehrere empfindliche Bauteile zerstören. Um sie zu löten, sollte man deshalb ausreichend Erfahrung mit bleifreiem Löten haben. Fühlen Sie sich noch nicht fit genug, greifen Sie besser zu bleihaltigem Lot. Es ist auch für Anfänger zu empfehlen, da im Gegensatz zu bleifreiem Lot einwandfreie Lötstellen leicht am metallischen Glanz erkennbar sind. Man merkt sofort, ob man richtig gelötet hat oder nicht. Kalte Lötstellen aus bleihaltigem Lot haben dagegen eine etwas matte und manchmal auch klumpige Oberfläche.

## 13.1 An Abkürzung „Pb“ erkennbar

Auskunft geben die Aufkleber auf den Lötzinnrollen. Lesen Sie beispielsweise Sn60Pb38Cu2, haben Sie ein bleihaltiges Lot vor sich, da Pb für Plumbum steht, zu Deutsch Blei (Abb. 13.1). Sobald Sie auf einem Aufkleber „Pb“ lesen, handelt es sich um ein bleihaltiges Lot. Sn steht für Zinn und Cu für Kupfer, die Zahlen dahinter geben die Prozentzahlen in der Zusammensetzung an. Dieses Standardlot besteht danach zu 60 Prozent aus Zinn, zu 38 Prozent aus Blei und zu zwei Prozent aus Kupfer. Fehlt dagegen die Abkürzung „Pb“, halten Sie ein bleifreies Lot in den Händen



Abb. 13.1 – Ein bleihaltiges Standardlot.



Abb. 13.2 – Dieses bleifreie Lot setzt sich aus Zinn (Zn), Silber (Ag) und Kupfer (Cu) zusammen.

(Abb. 13.2 und Abb. 13.3). Genaue Details zu den einzelnen Lötloten kann man im Internet beim Hersteller oder bei großen Elektronikhändlern recherchieren.

## 13.1 An Abkürzung „Pb“ erkennbar



**Abb. 13.3** – Bleifreies Lot, das zu 99 Prozent aus Zinn und einem Prozent aus Kupfer besteht.

## 13.2 Wie dick muss das Lot sein?

Lothe gibt es in verschiedenen Durchmessern, über die die Etiketten der Lotrollen informieren. Übliche Elektronikbauteile lassen sich mit Lotdurchmessern von 0,8 mm oder 1,0 mm gut löten. Diese Standardlote passen so gut wie überall. Haben Sie dagegen SMD-Bauteile vor sich, benötigen

Sie dünnere Lote, die nur rund 0,3 mm bis 0,5 mm dick sind. Im Modellbau, wenn Sie beispielsweise an einer Lokomotive der Modelleisenbahn basteln, brauchen Sie extradünne Lote von 0,2 mm bis 0,3 mm Durchmesser. Für größere Lötungen sind Durchmesser von rund 1,5 mm optimal, die Sie als

Bastler oder Heimwerker allerdings kaum brauchen werden.

Geht Ihnen beim Zusammenbauen einer Schaltung das Standardlötzin aus, können Sie zur Not auch mit dünnerem Lot weiterlöten. Einfach das dünnere Lot schneller zuführen, weil es schneller schmilzt.



Abb. 13.4 – Feinlote in Briefchen-Form.

## 14 Mit bleifreiem Lot erfolgreich löten

**M**it „bleifreien“ Platinen müssen Sie in elektronischen Geräten rechnen, die seit Sommer 2006 hergestellt wurden. Der Umgang mit bleifreiem Lot erfordert wegen der höheren Löttemperatur etwas Übung und einen geeigneten LötKolben. Außerdem sind einwandfreie Lötstellen mit dem Auge kaum von kalten Lötstellen zu unterscheiden, da beide etwas matt aussehen. Deshalb sollte man sich erst an bleifreies Lot wagen, wenn man einige Lötaufgaben mit bleihaltigem Lötzinn gelöst und kaum mehr kalte Lötstellen produziert hat.

## 14.1 Was muss der Lötkolben können?

**W**egen der um 10 bis 30 Prozent höheren Schmelztemperatur von bleifreiem Lot brauchen Sie einen Lötkolben, der entsprechend mehr aufheizt. Der Lötkolben muss für qualitativ hochwertige Lötarbeiten außerdem gut nachheizen können, damit die Lötspitze stets gleich bleibend heiß ist. Markenlötkolben ab der Mittelklasse schaffen das. Vorsicht ist allerdings bei billigen No-Name-Produkten angesagt, die mitunter „nur“ heiß werden. Da die Löttemperatur schwanken kann, erleichtert das nicht gerade die Arbeit.

Während sich Handlötkolben meist nur auf eine voreingestellte Temperatur aufheizen, ist in Lötstationen nach Kapitel 15 eine Temperaturregelung eingebaut. Damit können Sie die optimale Löttemperatur einstellen, je nachdem, was Sie gerade löten möchten. Für

übliche Bauteile mit bleifreiem Lot rund 360 Grad einstellen.

### *Auch alte Lötkolben geeignet?*

Mit bleifreiem Lot kommen vielfach auch ältere Lötkolben zurecht, da sie mit der Zeit meist etwas mehr Wärme abgeben – am besten ausprobieren und einen Lötversuch starten. Es dauert nur etwas länger, bis das Lot geschmolzen ist und Sie löten können. So bleibt allerdings die Lötstelle länger heiß. Das kann für temperaturempfindliche Bauteile gefährlich werden – vor allem dann, wenn der ungeübte Hobbybastler die Lötstelle mehr aufheizt als fürs bleifreie Löten erforderlich. Deshalb nicht zu lange löten, wenn das bleifreie Lot geschmolzen ist.

## 14.2 Schlechte Lötkontakte vermeiden

Um schlechte Lötkontakte mit bleifreiem Lot zu vermeiden, ist nicht nur ein Lötkolben mit stabiler Lötspitzentemperatur zu empfehlen. Man sollte auch die Lötzeit so kurz wie möglich halten, damit sich keine sogenannten Whisker bilden (vgl. Kapitel 5.1).

Gemeint sind nadelförmige Kristalle von wenigen Mikrometern Durchmesser, die beim Löten mit bleifreiem Lot leicht durch zu große Hitze entstehen können. Die Folge sind schlechter haltende Lötkontakte und damit mögliche Fehlerquellen in der Schaltung.

## 14.3 Alte Geräte mit bleihaltigen Lötstellen reparieren

**M**öchten Sie ein altes elektronisches Gerät mit bleihaltigen Lötstellen reparieren, kommt bleihaltiges Lot infrage, das nach wie vor für Privatpersonen erlaubt ist. Möchten Sie dagegen bleifreies Lot verwenden, ist das bei Standardbauteilen wie Widerständen oder Kondensatoren meist kein Problem: Einfach das alte Lot nach Kapitel 8 an den schadhafte Bauteilen entfernen und diese auslöten. Die neuen Bauelemente mit bleifreiem Lot einlöten. Da Sie beim Auslöten auch das alte Lot zum Großteil mit entfernen, kann es sich kaum mit dem bleifreien Lot vermischen. Damit sind Fehlfunktionen durch schadhafte Lötkontakte nahezu ausgeschlossen. Sollte nach der Reparatur trotzdem wieder

eine Betriebsstörung auftreten, kontrollieren Sie zuerst die neuen, bleifreien Lötstellen. Ob diese in Ordnung sind, ist allerdings nicht mit dem Auge erkennbar. Im Zweifel sollte man deshalb bleihaltiges Lot für die Reparatur verwenden – zumal dann einwandfreie Lötstellen leicht am metallischen Glanz zu erkennen sind.

### *Vorsicht bei kleinen Bauteilen*

Möchten Sie in einem alten defekten Gerät sehr kleine Bauteile mit bleifreiem Lot austauschen, kann es eventuell Probleme mit den Resten des bleihaltigen Lots geben. Im Zweifel sollten Sie deshalb wieder auf bleihaltiges Lot zurückgreifen.

## 14.4 Auch bei bleifreien Loten auf Gesundheit achten

**B**leifreie Lote sind gesundheitlich nicht unbedenklich, da sie statt Blei Silber oder Wismut enthalten. Vor allem Silber macht bleifreie Lote chemisch aggressiver. Silberanteile gehen beim Löten verstärkt in die Atemluft über. Deshalb sollten Sie beim Löten auf gut durchlüftete Räume achten, außerdem keine Lötdämpfe einatmen.

Sie tun der Umwelt nichts Gutes, wenn Sie vorrätige bleihaltige Lote wegwerfen und sich neue bleifreie besorgen. Laut Studien belasten Sie die Umwelt weniger, wenn Sie die alten Lote zunächst aufbrauchen.

## 15 Worin unterscheiden sich teure von preiswerten Lötstationen?

Anders als Lötkolben sind Lötstationen für den stationären Betrieb in einer Werkstatt gedacht – kein Wunder, denn sie sind nicht leicht zu transportieren. Sie sind allerdings auch für Elektronikbastler und Hobbyelektroniker interessant, weil die Löttemperatur zwischen 150 Grad und 450 Grad bedarfsgerecht regelbar ist – vorausgesetzt, die Lötstation informiert über die

## 15 Worin unterscheiden sich teure von preiswerten Lötstationen?

eingestellten Temperaturen. Mit diesen Geräten können Sie temperaturempfindliche Bauteile problemlos löten. Auch für Arbeiten mit bleifreiem Lot nach Kapitel 14 ist eine regelbare Temperatur von Vorteil, weil etwas mehr Hitze erforderlich ist als mit herkömmlichem Lötzinn.

Lötstationen bestehen im Wesentlichen aus Basisstation, LötKolben und LötKolbenhalter. Kernstück ist die Basis- oder Steuer-Einheit, an die Sie den mitgelieferten LötKolben anschließen. Wie bei üblichen HandlötKolben lässt sich die Lötspitze auswechseln. Bei verschiedenen Modellen brauchen Sie



**Abb. 15.1** – Unterschiedliche Buchsen in den Basisstationen verhindern, dass der Anwender einen nicht zur Steuereinheit passenden LötKolben anschließt.



**Abb. 15.2** – Eine Lötstation der soliden Mittelklasse.

dazu nicht einmal Werkzeug: Entweder ist die Lötspitze nur aufgesteckt, oder Sie lösen eine Überwurfmutter. Einfache Geräte erhält man bereits für unter 20 Euro, Modelle der soliden Mittelklasse kosten zwischen 50 Euro und 100 Euro. Die gehobene Mittelklasse bewegt sich bei rund 150 Euro. Da sich Lötstationen im Kaufpreis zum Teil deutlich unterscheiden, lohnt sich ein Blick auf die Features. Gleich vorweg: Selbst für Einsteiger ist ein Mittelklassegerät zu empfehlen.

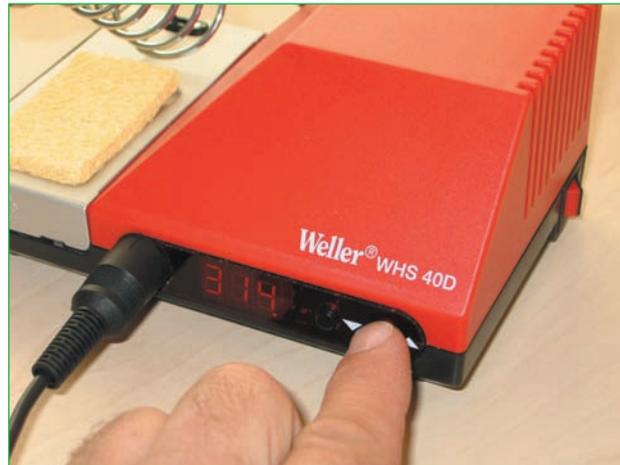
## 15.1 Einstellbare Löttemperatur

Die Arbeitstemperatur lässt sich bei einfachen Geräten mit einem Drehknopf nur grob zwischen wenig, mittel und sehr heiß regeln (Abb. 15.3). Dieser Drehknopf sollte Temperaturangaben besitzen, um die Löttemperatur bedarfsgerecht einzustellen. Wenn Sie die Temperatur auf rund 10 Grad genau regeln können, ist das fürs Löten mehr als ausreichend.

In komfortablere Lötstationen der soliden und gehobenen Mittelklasse sind Taster und eine Digitalanzeige eingebaut, mit der die Temperatur auf ein Grad genau einstellbar ist. Programmierbare Funktionstasten erlauben außerdem, häufig benötigte Temperaturen auf Tastendruck abzurufen. Dadurch eignen sich diese Lötstationen bestens für Arbeiten an temperaturemp-



**Abb. 15.3** – Bei dieser preiswerten Lötstation ist die Arbeitstemperatur nicht exakt einstellbar, weil die Temperaturangaben fehlen.



**Abb. 15.4** – Mit Tasten können Sie bei Geräten der soliden und gehobenen Mittelklasse die Löttemperatur gradgenau auswählen, programmieren und auf Tastendruck wieder abrufen.

findlichen Bauteilen. Die Lötspitze erwärmt sich sehr schnell und erreicht meist innerhalb einer Minute die eingestellte Löttemperatur von beispielsweise 400 Grad. Ein Temperaturfühler hält die Arbeitstemperatur konstant, der in die Lötspitze eingebaut ist. Dieser erfasst die Ist-Temperatur in unmittelbarer Nähe der Lötstelle, so dass das Heizsystem schnell auf Wärmeverlust reagieren und nachheizen kann. Da der LötKolben nur bei Bedarf aufgeheizt wird, werden Heizelement und Lötspitze geschont. Lötstationen der gehobenen Mittelklasse erlauben außerdem, bei längeren Lötpausen die Temperatur des LötKolbens abzusenken, um Strom zu sparen und die Lötspitze zu schonen.

## 15.2 LötKolbenhalter

LötKolbenhalter sind je nach Modell freistehend oder direkt an die Basiseinheit angebaut und bereits bei Mittelklassegeräten meist sehr komfortabel ausgeführt. Sie besitzen nicht nur eine Ablagefläche für den LötSchwamm, sondern häufig auch Fächer für Zubehör, in denen man zum Beispiel weitere Lötspitzen griffbereit aufbewahren kann.



**Abb. 15.5** – Eine Lötstation der gehobenen Mittelklasse. Basiseinheit (links im Bild) und LötKolbenhalter sind im selben Design ausgeführt. (Foto: ELV)

## 15.3 Bei einfachen Geräten auf Betriebsspannung achten

Normalerweise ist in die Basisstation ein Trafo eingebaut, der die erforderliche Betriebsspannung zwischen 12 V und 24 V für den LötKolben bereitstellt. Da so das 230-V-Anschlusskabel der Basisstation nicht in den Löt-Arbeitsbereich gelangt, ist das Unfallrisiko gering. Sollten Sie dennoch einmal das Kabel des LötKolbens aus Versehen angeheizt haben, kann aufgrund der unge-



Abb. 15.6 – Der LötKolben einer Lötstation arbeitet meist mit einer niedrigen, ungefährlichen Spannung, in diesem Fall mit 24 V.

### SOLDERING STATION AP 2

**Kompakt, schnell und einfach!**

Die AP 2 ist eine robuste und unkomplizierte Lötstation, mit der man sofort loslegen kann. Die Temperatur für den jeweiligen Lötvorgang kann variabel eingestellt werden. Auf diese Weise sorgt die AP2 für sicheres Arbeiten an unkomplizierten Lötstellen sowie an besonders empfindlichen elektronischen Bauteilen. Die Ausstattung und Technik der AP 2 empfiehlt sich daher für den Werkstattbereich sowie für den anspruchsvollen Hobby-Elektroniker.

- ♦ komplett mit LötKolbenanlage und Viskose-Reinigungsschwamm
- ♦ kurze Aufheizzeiten
- ♦ Temperatureinstellbereich 150 C – 450 C
- ♦ AN/AUS-Schalter mit integrierter Kontroll-Leuchte
- ♦ griffiger LötKolben mit leistungsstarken 48 Watt
- ♦ LötKolbenbetrieb mit Sicherheits-Kleinspannung
- ♦ leichter und schneller Wechsel der Lötspitze
- ♦ weitere Präzisionslötspitzen in unterschiedlichen Ausführungen erhältlich

Abb. 15.7 – Das macht stutzig: Die Verpackung informiert zwar darüber, dass der mitgelieferte LötKolben mit einer Sicherheits-Kleinspannung arbeitet, ...

fährlichen Kleinspannung kaum etwas passieren – es sei denn, der LötKolben braucht 230 V Netzspannung. Das kann bei einfachen, sehr preiswerten Geräten der Fall sein (Abb. 15.7 – Abb. 15.9). Damit gehen die typischen Vorteile einer Lötstation verloren. Man hat es quasi mit einem regelbaren HandlötKolben zu tun. Sie müssen stets darauf achten, das Stromkabel nicht unbeabsichtigt mit der heißen Lötspitze zu berühren. Selbst bei minimal eingestellter Temperatur transportiert das Stromkabel nicht selten eine Betriebsspannung von 80 V zum LötKolben. Die Schutzkleinspannung endet dagegen bei 50 V. Bei voll aufgedrehter Temperatur erhält der LötKolben die vollen 230 V aus der Steckdose.

## 15.3 Bei einfachen Geräten auf Betriebsspannung achten



**Abb. 15.8** – ...aber am Lötkolben selbst ist eine Betriebsspannung von 230 V angegeben.

**Abb. 15.9** – Das Innenleben der einfachen Lötstation bringt Gewissheit: Der Trafo für die ungefährliche Sicherheits-Kleinspannung fehlt. Der Lötkolben braucht also 230 V Netzspannung, um zu funktionieren.

## 15.4 Sonderfunktionen

Vor allem Lötstationen der gehobenen Mittelklasse besitzen einige Sonderfunktionen. Dazu zählt beispielsweise eine Power-Off-Funktion, die das Gerät nach einer voreingestellten Zeit Strom sparend automatisch ausschaltet.

### *Löttemperatur überprüfbar*

Wegen der Alterung der Lötspitzen oder nach dem Wechsel des LötKolbens kann es ratsam sein, die Temperatur zu überprüfen, die an der Lötspitze anliegt. In etwas teureren Lötstationen ist dafür ein Temperaturmessgerät eingebaut, mit dem Sie über einen integrierten Kalibriermodus die Temperatur überprüfen und nachstellen können.



**Abb. 15.10** – Der beste Schutz vor abrutschen: Im Griff dieses LötKolbens sind drei Fingerablageflächen aus Gummi eingearbeitet.

## 15.4 Sonderfunktionen

nen. Das Kalibrieren kann je nach gemessener Temperaturdifferenz rund 20 Minuten dauern. Die Löttemperaturen können Sie sich außerdem alternativ in Fahrenheit anzeigen lassen.

*Fingerablageflächen am LötKolben* geben den Fingern zusammen mit dem Abrutschschutz sicheren Halt. So ist beim Lötten die Verbrennungsgefahr durch Abrutschen nahezu ausgeschlossen.

*Potenzialausgleichsbuchsen* ermöglichen, sehr empfindliche Bauteile wie ICs komfortabel zu bearbeiten. Sie sind in die meisten Mittelklassegeräte eingebaut. Man braucht dazu nach Kapitel 7.3 außerdem eine passende Arbeitsunterlage und eine spezielle Manschette.



**Abb. 15.11** – Das Innere einer soliden Lötstation: Trafo und Elektronik sind großzügig ausgeführt.

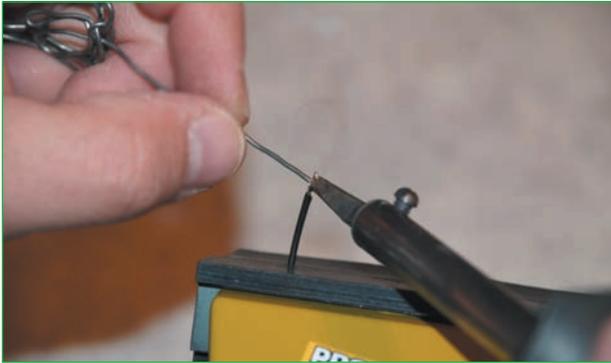
## 16 Fädeldrahttechnik für Lochrasterplatinen

Um eine Schaltung mit einer Platine aufzubauen, eignen sich auch Lochrasterplatinen mit Fädeldraht. Statt den üblichen Leiterbahnen sind dünne lackierte Kupferdrähte zwischen den Lötstellen gespannt. Der Lack schmilzt an den Stellen, wo man den Draht verzinnt. Etwas Übung kann allerdings für die Fädeldrahttechnik nicht schaden. Wer sie lernen möchte, hat in diesem Kapitel die Möglichkeit dazu. Als Übungsgegenstand eignet sich eine alte ausgediente Platine, bei der Fädeldraht zwei Lötstellen verbinden soll.

Zuerst verzinnen Sie den Fädeldraht nach Abb. 16.1 an einem Ende. Je nach Temperatur des Lötkolbens dau-

## 16 Fädertechnik für Lochrasterplatten

ert es eine bis drei Sekunden, bis der Lack geschmolzen ist. Der verschmolzene Lack bildet Rückstände an der Lötspitze. Man muss sie deshalb regelmäßig säubern und frisches Lot auftragen. Ist der Fädeldraht erfolgreich verzinkt, löten Sie das Drahtende an den ersten Lötunkt.



**Abb. 16.1** – Schritt 1: Drahtende verzinnen.



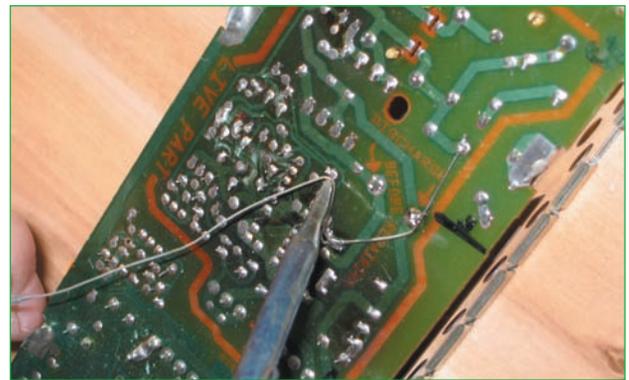
**Abb. 16.2** – Schritt 2: Das Drahtende am ersten Lötunkt anlöten.

Danach spannen Sie den Draht mit einem scharfen Knick um den zweiten Lötunkt (Abb. 16.3). Das Verzinnen der Knickstelle dauert etwas länger. Mit etwas Geduld und Lötzinn schmilzt der Lack und der Draht wird über einige Millimeter verzinkt. Zum Schluss das überschüssige Drahtende mehrmals hin und her biegen, bis der Draht genau an der Lötstelle abbricht.

Informationen und Bilder von Burkhard Kainka:  
[www.elexs.de](http://www.elexs.de)



**Abb. 16.3** – Schritt 3: Den Fädeldraht mit einem scharfen Knick um den zweiten Lötunkt spannen.



**Abb. 16.4** – Schritt 4: Überschüssiges Drahtende durch Hin- und Herbiegen abbrechen.

# 17 Anhang

## 17.1 Weitere LötKolbentypen

Neben den in Kapitel 1 vorgestellten LötKolben, die vor allem für Hobbyelektroniker, Bastler und Heimwerker interessant sind, führt der Handel weitere Modelle.

### Kaltlötgeräte

gleichem äußerlich batteriebetriebenen LötKolben und kommen ohne Heizelement aus, was den Stromverbrauch deutlich verringert. Sie sind für versierte Hobbybastler und professionelle Anwender gedacht und eignen sich zum Löten von Drahtstärken von 0,5 mm bis etwa 2 mm. Für optimale Lötergebnisse ist ein Drahtdurchmesser von rund 1 mm zu empfehlen. In Geräte der Oberklasse sind zwei Heizstufen eingebaut. Sie versprechen 700 bis 1.000 Lötungen mit einem Batteriesatz, der aus vier oder fünf Mignonbatterien besteht. Die Lötspitze lässt sich leicht per Hand abziehen und auswechseln (Abb. 17.2). Sie besteht im Wesentlichen aus Kohlefaser und zwei eng beieinander liegenden Elektroden.

Der große Unterschied zu gewöhnlichen LötKolben: Nachdem Sie das Kaltlötgerät eingeschaltet haben,



Abb. 17.1 – Zwei Kaltlötgeräte. Man spricht auch von Coldheat-Lötern, die äußerlich üblichen BatterielötKolben gleichen.



Abb. 17.2 – Die Lötspitze aus Kohlefaser ist aufgesteckt und lässt sich leicht auswechseln.

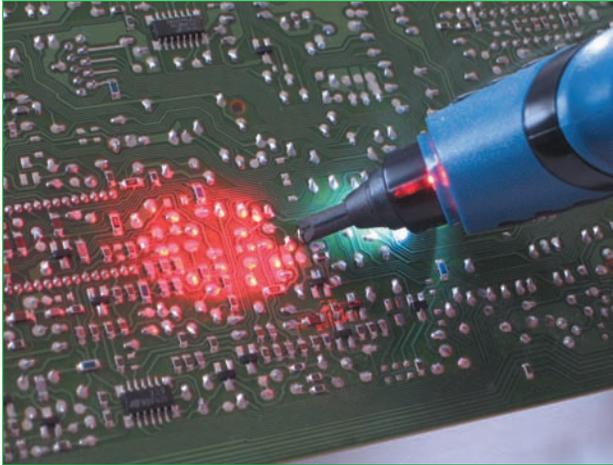
bleibt es zunächst kalt, weil beide Elektroden der Lötspitze nicht vor dem Löten erwärmt werden müssen. Berührt man dagegen mit der Lötspitze Metall, erwärmt sie sich in Sekundenschnelle auf 400 Grad – vorausgesetzt, beide Elektroden der Lötspitze haben leitenden Kontakt zum Werkstück.

Wenn Sie zum ersten Mal mit dem Coldheat-Löter arbeiten, werden Sie feststellen, dass es gar nicht so leicht ist, die Lötspitze richtig aufzusetzen. Damit das klappt, drücken Sie sie sanft aufs Metall, so dass beide Elektroden festen Kontakt mit dem Werkstück erhalten. Allerdings die Lötspitze nicht zu fest aufdrücken, weil sie dadurch abbrechen kann! Haben beide Elek-



Abb. 17.3 – Kaltlötgeräte kommen ohne Heizelement aus.

## 17.1 Weitere LötKolbentypen



**Abb. 17.4** – Sobald beide Elektroden des eingeschalteten Coldheat-Lötlers Metall berühren, leuchtet die rote LED, und Sie können löten.

troden eine leitende Verbindung, leuchtet die rote LED, und die Spitze erhitzt sich sofort (Abb. 17.4). Eventuell entsteht beim Löten in der Spitze ein kleiner Funke. Das ist normal und braucht Sie nicht zu beunruhigen. Wenn der LötKolben nicht die erforderliche Hitze erreicht, überprüfen Sie den Druckkontakt und beobachten die LED, die nicht ausgehen darf. Eventuell die Lötspitze neu aufsetzen. Verlieren Sie immer wieder den leitenden Kontakt, neigen Sie den Coldheat-Löter so, dass die Spitze das Werkstück schräg berührt. Bereits nach wenigen Minuten Üben sollten Sie den Dreh herausbekommen haben. Nach dem Löten kühlt die Spitze je nach Modell in wenigen Sekunden oder Minuten ab.

Das Kaltlötgerät ist für kurze Hitzeimpulse gedacht. Arbeiten Sie deshalb nicht zu lange an einer Lötstelle. Die Löttemperatur von rund 400 Grad kann vor allem empfindliche Elektronikbauteile belasten und sie im schlimmsten Fall zerstören. Beim Löten elektronischer Komponenten mit kleinen Anschlusspins nicht gleich-

zeitig zwei oder mehrere Pins mit der Lötspitze berühren. Sie würden einen Stromfluss erzeugen, der das Bauteil beschädigen kann!

Im Gegensatz zu üblichen Lötspitzen nach Kapitel 2.1 müssen Sie Lötspitzen von Kaltlötgeräten nicht besonders pflegen, nur von metallischen Resten säubern, damit sie sich nicht dauerhaft erwärmen können.

### *WerkstattlötKolben*

sind bis etwa 2,5 kg schwer und nehmen 200 W bis 550 W auf. Profis nutzen sie, um Bleche zusammenzulöten oder Installationsarbeiten zu erledigen. Für den Hausgebrauch kommen die Geräte kaum infrage.

### *HandlötKolben mit einstellbarer Temperatur*

„Normale“ LötKolben heizen sich bis zu einer bestimmten Temperatur auf und halten diese konstant. In temperaturgeregelte LötKolben ist dagegen ein Drehregler eingebaut, mit dem Sie die Arbeitstemperatur zwischen rund 200 Grad und 450 Grad Celsius einstel-



**Abb. 17.5** – Große WerkstattlötKolben sind für den Hobbyelektroniker nicht zu gebrauchen.

## 17.1 Weitere LötKolbentypen

len können. Sie sind im Handel kaum zu erhalten und haben eine enge Verwandtschaft zu einfachen Lötstationen. Die aufgedruckte Skala ist meist in 50-Grad-Schritten abgestimmt. Das erscheint auf den ersten Blick ungenau, ist aber ausreichend, weil sich die benötigten Temperaturen leicht auf rund 10 Grad genau einstellen lassen.

### Schutzisolierte LötKolben

Für Spezialanwendungen können Fein-, Universal- oder Standard-LötKolben schutzisoliert sein. Damit kommen sie ohne den üblichen Schutzleiter aus. Für übliche Privatanwendungen spielen diese LötKolben keine Rolle.

### GaslötKolben

sehen so aus wie übergroße Textmarker und passen in jede Werkzeugkiste. Mit Butangas erreichen sie modellabhängig eine Leistung zwischen 10 W und 125 W. Sie eignen sich wie batteriebetriebene LötKolben für mobile Anwendungen. Mit einer Gasfüllung kann man rund 40 Minuten bis 60 Minuten löten. Da GaslötKol-

ben kaum einen Abrutschschutz besitzen, sollten Sie besonders auf Ihre Finger achten. Die Hitze des Gases liegt direkt hinter der Lötspitze bei bis zu 580 Grad. Ein GaslötKolben kann keinen herkömmlichen elektrischen LötKolben ersetzen. Füllen Sie ihn mit Gas, genau laut Bedienungsanleitung vorgehen. Dabei und im Betrieb sind die einschlägigen Sicherheitsvorschriften zu beachten.



**Abb. 17.7** – GaslötKolben-Set mit reichhaltigem Zubehör. (Foto: Solder It)



**Abb. 17.6** – Ein seltenes Exemplar: LötKolben mit einstellbarer Löttemperatur.



**Abb. 17.8** – Lötspitze eines GaslötKolbens.

## 17.2 Farbcodes von Widerständen

Widerstandswerte				
Farbe	1.Ring	2.Ring	3.Ring	4.Ring (Toleranz)
schwarz	0	0	x 1	
braun	1	1	x 10	
rot	2	2	x 100	
orange	3	3	x 1.000 (1k)	
gelb	4	4	x 10.000 (10k)	
grün	5	5	x 100.000 (100k)	
blau	6	6	x 1.000.000 (1M)	
violett	7	7		
grau	8	8		
weiß	9	9		
silber				10 %
gold				5 %

## 17.3 Farbcodes von Spulen

Induktivitäten von Spulen				
Farbe	1.Ring 1.Ziffer	2.Ring 2.Ziffer	3.Ring Multiplikator	4.Ring Toleranz
schwarz	0	0	x 1 $\mu$ H	
braun	1	1	x 10 $\mu$ H	
rot	2	2	x 100 $\mu$ H	
orange	3	3		
gelb	4	4		
grün	5	5		
blau	6	6		
violett	7	7		
grau	8	8		
weiß	9	9		
gold			x 0,1 $\mu$ H	5 %
silber			x 0,01 $\mu$ H	10 %

## 17.4 Farbcodes und Kennbuchstaben von Kondensatoren

Farbcode für Kondensatoren mit Kapazitäten von weniger als 10 pF					
Kennfarbe	1. Ziffer	2. Ziffer	Multiplikator	Toleranz	Betriebsspannung
schwarz	0	0	x 1 pF	-	-
braun	1	1	x 10 pF	0,1 pF	100 V
rot	2	2	x 100 pF	0,25 pF	200 V
orange	3	3	x 1 nF	-	300 V
gelb	4	4	x 10 nF	-	400 V
grün	5	5	x 100 nF	0,5 %	500 V
blau	6	6	-	-	600 V
violett	7	7	-	-	700 V
grau	8	8	x 0,01 pF	-	800 V
weiß	9	9	x 0,1 pF	1 pF	900 V
gold	-	-	-	-	1.000 V
silber	-	-	-	-	2.000 V
ohne Farbe	-	-	-	20 %	500 V

Farbcode für Kondensatoren mit Kapazitäten von mehr als 10 pF					
Kennfarbe	1. Ziffer	2. Ziffer	Multiplikator	Toleranz	Betriebsspannung
schwarz	0	0	x 1 pF	20 %	-
braun	1	1	x 10 pF	1 %	100 V
rot	2	2	x 100 pF	2 %	200 V
orange	3	3	x 1 nF	-	300 V
gelb	4	4	x 10 nF	-	400 V
grün	5	5	x 100 nF	5 %	500 V
blau	6	6	-	-	600 V
violett	7	7	-	-	700 V
grau	8	8	x 0,01 pF	-	800 V
weiß	9	9	x 0,1 pF	10 %	900 V
gold	-	-	-	-	1.000 V
silber	-	-	-	-	2.000 V
ohne Farbe	-	-	-	-	500 V

## 17.4 Farbcodes und Kennbuchstaben von Kondensatoren

Farbcode für Tantal-Elektrolyt-Kondensatoren, die die Hersteller Siemens und Valvo verwenden:				
Kennfarbe	1. Ziffer	2. Ziffer	Multiplikator	Betriebsspannung
schwarz	0	0	x 1	10 V
braun	1	1	x 10	1,5 V
rot	2	2	x 100	35 V (Ring: Rosa)
orange	3	3	-	-
gelb	4	4	-	6,3 V
grün	5	5	-	16 V
blau	6	6	-	20 V
violett	7	7	x 0,001	-
grau	8	8	x 0,01	25 V
weiß	9	9	x 0,1	3 V

Kennbuchstaben für Kondensator-Toleranzen	
Kennbuchstabe	Toleranz
B	+/- 0,1 pF
C	+/- 0,25 pF
D	+/- 0,5 pF
F	+/- 1 pF
G	+/- 2 pF
H	+/- 2,5 %
J	+/- 5 %
K	+/- 10 %
L	+/- 15 %
M	+/- 20 %
N	+/- 30 %
P	- 0 % bis + 100 %
Q	- 10 % bis + 30 %
R	- 20 % bis + 30 %
S	- 20 % bis + 50 %
T	- 10 % bis + 50 %
U	- 0 % bis + 80 %
W	- 0 % bis + 20 %
Y	- 0 % bis + 50 %
Z	- 20 % bis + 100 %

# Stichwortverzeichnis

## A

Abisolierpinzette 20  
Abisolierzangen 20  
Anode 52  
Arbeitstemperatur 38, 113

## B

Basis 59  
Basis- oder Steuer-Einheit 112  
Basisstation 112  
BatterielötKolben 14  
Bestückungsplan 48  
Bleihaltige Lote 103  
Bleistift- oder Flachspitze 16

## C

Coldheat-Löter 122  
Cu 104

## D

Dauerlötlspitzen 17  
Dioden 52  
Drehkondensatoren 55  
Drehkos 55

## E

Elektrolytkondensatoren 56  
Elektronikerzangen 18  
Elkos 56  
Emitter 59  
Entlötdrähte 29

## F

Fädeldraht 119  
Farad 55  
Farbringe 48  
FeinlötKolben 11  
Feinmechanikerschraubstöcken 25  
Flussmittelentferner 28

## G

GaslötKolben 124  
Gepolte Kondensatoren 55

## H

Helping Hands 27

## I

ICs 61  
Induktivitäten 51  
Integrierte Schaltungen 61

## K

Kalibrieren 118  
Kalte Lötstellen 43  
Kaltlötgeräte 10, 122  
Kathode 52  
Kollektor 59  
Kondensatoren 55  
Kontaktpaste 68  
Kühlkörper 68

## L

Lautsprecher 79  
LED 54  
Leiterbahnen 48  
Leiterplatte 47  
Leuchtdioden 54  
Lötaugen 48  
Lotkegel 38  
LötKolben 9  
LötKolbenhalter 112  
LötKolbenständer 23  
Lötpads 48  
Lötpunkte 48  
Lötspitze 10, 16  
Lötstationen 111  
Löttemperatur 10  
Lötzinn 38

## M

Masse 77  
Meißelform 16  
Mikrofone 79  
Multimeter 49

## N

NiederspannungslötKolben 13

## O

Ohmwert 49

## P

Pb 104  
Platine 47  
Potenzialausgleichsbuchse 71, 118  
Potentialunterschied 71  
Power-Off-Funktion 117

## S

Schutzisolierte LötKolben 124  
SMD 94  
Sn 104  
Spulen 51  
StandardlötKolben 13  
Statische Aufladungen 61  
Stückliste 65

## T

Temperaturgeregelte LötKolben 123  
Transistoren 59

## U

Ungepolte Kondensatoren 55  
UniversallötKolben 12

## W

Wärmemenge 10  
WerkstattlötKolben 123  
Widerstände 49  
Widerstandswerte 49

**Bo Hanus**  
**Akkus und Batterien**  
**richtig pflegen und laden**

Bo Hanus

# Akkus und Batterien richtig pflegen und laden

Leicht gemacht, Geld und Ärger gespart!

Mit 85 farbigen Abbildungen

## **Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

### Hinweis

Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar.

Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2008 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

**Satz:** DTP-Satz A. Kugge, München

**art & design:** [www.ideehoch2.de](http://www.ideehoch2.de)

**Druck:** L.E.G.O. S.p.A., Vicenza (Italia)

Printed in Italy

**ISBN 978-3-7723-4389-6**

# Vorwort

Seit etwa einem Jahrhundert wird gezielt nach Methoden gesucht, mit denen man elektrische Energie effizient speichern kann. In kleinen Schritten werden ebenso kleine Erfolge erzielt. So fristen in unseren Autos noch fast die gleichen Bleiakkus als Energiespeicher ihr Dasein, die Henry Ford schon vor fast hundert Jahren in seine Automobile einbauen ließ. Die neuesten Autobatterien sind noch immer nicht in der Lage, erheblich mehr elektrische Energie zu speichern als ihre Vorgänger.

Nur mäßig hat sich der technische Fortschritt auch auf die Wegwerfbatterien ausgewirkt. Geändert hat sich vor allem die Bezeichnung: Sie werden als *Einwegbatterien* oder *Primärzellen* bezeichnet, entsorgen muss man sie dennoch.

Wesentlich umweltfreundlicher wäre es, würden Wegwerfbatterien auf breiterer Basis durch wiederaufladbare Akkus, Speicherkondensatoren oder Netzgeräte ersetzt. Unsere Energieunternehmen können elektrische Energie für einen Preis erzeugen oder importieren, der bei etwa 4 Cent pro Kilowattstunde liegt. Der Verbraucher zahlt zwar momentan für eine Kilowattstunde bis zu 20 Cent. Um aber die gleiche Energie beispielsweise aus den gängigsten Mignon-(AA)-Einwegbatterien zu erhalten, müsste er etwa 600 Stück dieser Energiespeicher kaufen. Der Verbraucher hat hier das letzte Wort. Solange er bedenkenlos batteriebetriebene Produkte kauft, die aus Kostengründen für den Betrieb mit Wegwerfbatterien ausgelegt sind, wird sich der Markt nicht verändern – und die Umwelt wird das Nachsehen haben.

Speicherkondensatoren in Kombination mit Solarzellen könnten bei vielen Kleingeräten die Verschwendung von Einwegbatterien reduzieren. Dies war uns Grund genug, das Buch mit diesem Thema zu beginnen. Zudem haben wir im Zusammenhang mit solarelektrischem Laden Lösungen entwickelt, die sich gut für den Nachbau eignen und kreativen Tüftlern als Inspirationen für eigene Entwicklungen dienen.

Wir hoffen, dass Sie in diesem Buch alles finden, was Sie über Batterien wissen möchten, und wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen.

Bo Hanus und sein Co-Autorin Hannelore Hanus-Walther

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Das Speichern der elektrischen Energie</b>	9
<b>2</b>	<b>Handelsübliche Batterietypen</b>	13
<b>3</b>	<b>Elektrische Eigenschaften einer Batterie/eines Akkus</b>	19
3.1	Nennspannung _____	20
3.2	Kapazität und Belastbarkeit _____	22
3.3	Die Selbstentladung _____	29
3.4	Tiefentladung _____	31
<b>4</b>	<b>Nicht wiederaufladbare (Einweg-)Batterien</b>	35
<b>5</b>	<b>Knopfzellen</b>	37
<b>6</b>	<b>Wiederaufladbare Akkus und Batterien</b>	43
<b>7</b>	<b>Solarbatterien</b>	49
<b>8</b>	<b>Akkupacks und Spezialbatterien</b>	53
<b>9</b>	<b>Gold-Caps als Energiespeicher</b>	55
9.1	Funk-Türglocke mit Gold-Cap _____	60
9.2	Solaruhr mit Gold-Cap _____	62
9.3	Funksender einer Wetterstation mit Gold-Cap _____	64
9.4	Einbruchschutz-Warngerät mit Gold-Cap _____	66

# Inhaltsverzeichnis

<b>10</b>	<b>Batterien seriell und parallel betreiben</b>	67
<b>11</b>	<b>Die Lebensdauer einer Batterie/eines Akkus</b>	71
<b>12</b>	<b>Der Tiefentladeschutz</b>	73
12.1	Tiefentladeschutz-Geräte für Zweitbatterien im Pkw _____	76
12.2	Tiefentladeschutz-Geräte für stationäre Anlagen _____	78
12.3	Leuchtdioden mit Low-Batt-Warnung _____	80
12.4	Schutz gegen Tiefentladung und Sulfatablagerung bei Bleiakkus _____	82
<b>13</b>	<b>Das Laden</b>	83
13.2	Teilgesteuerte Ladegeräte _____	94
13.3	Mit Mikroprozessor gesteuerte Ladegeräte _____	96
13.4	Ladegeräte für Bleiakkus _____	98
13.5	Auffrischergeräte, Aktivatoren und Batterieregeneratoren _____	102
13.6	Test der Batteriekapazität _____	104
13.7	Funktioniert Ihre Fahrzeuglichtmaschine gut? _____	109
13.8	Wissenswertes über Autobatterien _____	110
<b>14</b>	<b>Solarelektrisches Laden</b>	111
<b>15</b>	<b>Netzgeräte anstelle von Batterien?</b>	121
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	127



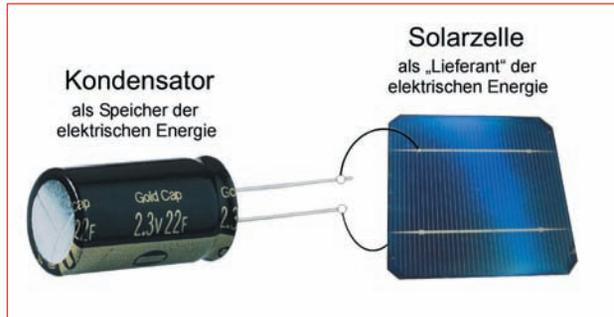
# 1 Das Speichern der elektrischen Energie

**E**lektrische Energie gehört leider zu den „flüchtigen“ Energien, die sich nur schwer speichern lassen. In ihrer ursprünglichen Form kann elektrische Energie am einfachsten z. B. in Kondensatoren mit großer Kapazität gespeichert werden. Kondensatoren oder *Speicher-kondensatoren* gehören zwar nicht gerade zu den üblichen, wohl aber zu den einfachsten Energiespeichern. Im Vergleich zu Batterien und Akkus haben Speicherkondensatoren keine ausgesprochenen Schwachstellen, durch die sie sich voneinander unterscheiden oder auf die typenbezogenen Rücksicht genommen werden

müsste. Sie haben jedoch den Nachteil, nur relativ wenig elektrische Energie pro Kubikzentimeter Größe speichern zu können, und sind daher als Energiespeicher lediglich für bescheidene Ansprüche und spezielle Anwendungen geeignet.

Ein Speicherkondensator wird mit der elektrischen Energie ähnlich vollgeladen, wie man z. B. eine Schubkarre mit Sand beladen kann. Das Vollladen eines Kondensators ist nicht mit zusätzlichem Arbeitsaufwand verbunden. Wird der Kondensator z. B. nach *Abb. 1.1* an eine Solarzelle angeschlossen, lädt er sich mit der

# 1 Das Speichern der elektrischen Energie



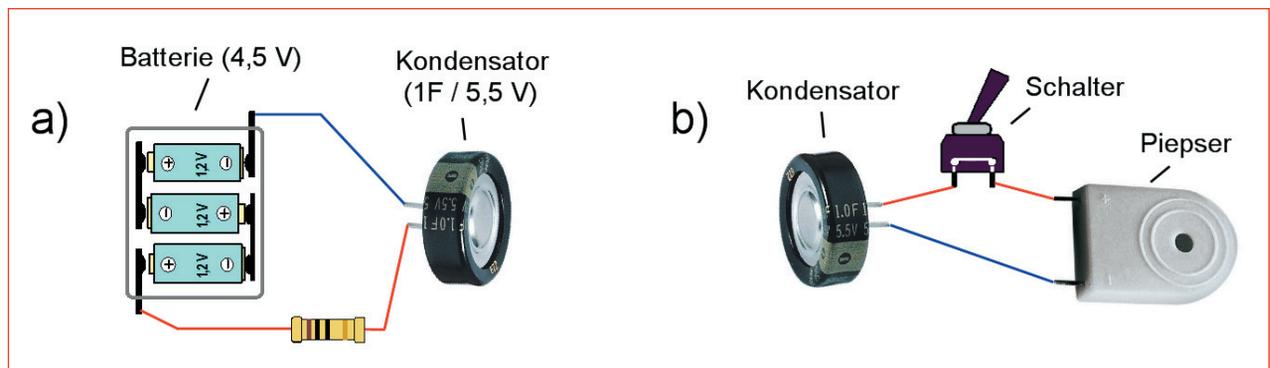
**Abb. 1.1** – Von der Kapazität und der maximal zulässigen Betriebsspannung eines Kondensators (Gold-Caps) hängt ab, wie viel elektrische Energie er speichern kann.

ihm zugeführten elektrischen Energie gleitend so lange auf, bis er „voll“ ist. Die Kapazität (die Größe) des Kondensators ist dabei für sein Fassungsvermögen ähnlich bestimmend, wie bei dem Schubkarren seine Größe bestimmt, wie viel Sand er aufnehmen kann.

Um dieses Thema zu verdeutlichen, behelfen wir uns mit einem greifbaren Beispiel nach Abb. 1.2: Wird ein Speicherkondensator nach Abb. 1.2a an die Pole

einer Batterie/eines Akkus angeschlossen, lädt er sich mit einem Teil der elektrischen Energie der Batterie auf. Er tankt sozusagen einen Teil der elektrischen Energie der Batterie in sich hinein. Die „Menge“ der Energie, die er speichern kann, hängt von seiner Kapazität ab. Die Spannung, die er speichert, ist bei einem voll aufgeladenen Kondensator identisch mit der Spannung der Energiequelle (in diesem Fall mit der 4,5-Volt-Spannung der Batterie). Der Speicherkondensator muss allerdings zumindest für diese Spannung dimensioniert sein, denn andernfalls wird er von einer unzulässig hohen Spannung vernichtet.

Ist der Speicherkondensator vollgeladen, fließt in ihn aus der Batterie kein Strom mehr hinein. Der energetische Inhalt der Batterie sinkt dabei um die vom Kondensator entzogene Menge der Energie. Der in Abb. 2.1a eingezeichnete Schutzwiderstand schützt den Kondensator davor, beim Anschließen an die Batterie einem zu hohen Energiestoß ausgesetzt zu werden. Ohne diese Maßnahme könnte der hohe Stromstoß entweder ihn oder die Energiequelle beschädigen.



**Abb. 1.2** – Ein Speicherkondensator funktioniert im Prinzip ähnlich wie ein Akku: **a)** Er kann von einer Spannungsquelle (Batterie) geladen werden; **b)** anschließend kann er mit der geladenen elektrischen Energie einen elektrischen Verbraucher (in diesem Fall einen Piepser) versorgen.

# 1 Das Speichern der elektrischen Energie

Unser Speicherkondensator kann anschließend nach Abb. 1.2b, ähnlich wie eine Batterie, einen elektrischen Verbraucher (z. B. einen Piepser, eine Minisirene, die Lampe eines Blitzlichtes) betreuen. Diese Lösung wird u. a. für das Blitzlicht der Fotokameras oder für die Überbrückungsstromversorgung in Geräten angewendet, in denen Daten auch bei ausgeschaltetem Gerät oder bei Stromausfall erhalten werden sollen. Auf einige praktische Anwendungsmöglichkeiten der Speicherkondensatoren kommen wir noch in Kapitel 9 zurück.

Als vielseitige Speicher der elektrischen Energie werden in der Praxis Batterien und Akkus verwendet. Die ständige Zunahme netzunabhängiger elektrischer und elektronischer Geräte verzeichnet gegenwärtig einen Boom von Batterien und Akkus. Sie werden in verschiedenen Ausführungen als Einwegbatterien (Primär- bzw. Wegwerfbatterien) oder als wiederaufladbare Batterien/Akkus hergestellt.

Das Angebot an verschiedensten Batterien, Akkupacks, Knopfzellen usw. ist gewaltig, aber in Hinsicht auf die konkrete Anwendung dennoch überschaubar. Viele der spezielleren batteriebetriebenen Geräte – wie z. B. Handys, Kameras oder Notebooks – benötigen spezifische Akkus/Batterien.

Anders ist es bei Geräten, die für Standard-Einwegbatterien oder universale Standardakkus ausgelegt sind. Beim Ersetzen von Einwegbatterien in einfacheren Geräten genügt es, wenn Form, Größe und Nennspannung der Batterie stimmen. Es gibt zwar auch hier Qualitätsunterschiede oder einige spezielle Eigenheiten (auf die wir noch zurückkommen), aber diese haben nur bedingt einen besonderen Stellenwert, auf den der Hersteller dann auch hinweist.

Bei wiederaufladbaren Akkus und Batterien empfiehlt es sich, mehr über ihre Eigenschaften und ihre Ansprüche auf richtige Wartung und Pflege im Bilde zu

## Gut zu wissen

Der Unterschied zwischen der Bezeichnung *Akku* und *Batterie* ist erklärungsbedürftig. In der Grundform eines kleinen Gliedes wird als *Batterie* üblicherweise eine nicht wiederaufladbare *Einwegbatterie* bezeichnet. Spricht man dagegen von einem *Akku* (Akkumulator), handelt es sich um einen nachladbaren Energiespeicher in Form eines einzigen Gliedes. Werden jedoch mehrere Akkus als einzelne Glieder zu einer Einheit zusammengesetzt, bezeichnet man sie ebenfalls bevorzugt als *Batterie*. So besteht z. B. eine Autobatterie aus sechs Bleiakkugliedern à 2 Volt, die miteinander in Reihe zu einer *Batterie* verbunden und in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht werden. In der Praxis kann allerdings nur ein Branchen-Insider beurteilen, ob ein *wiederaufladbarer* Energiespeicher nur aus einem oder aus mehreren Einzelgliedern besteht. Daher werden eigentlich alle nachladbaren Energiespeicher wahlweise als *Batterien* oder als *Akkus* bezeichnet. Wir sprechen von einer *Autobatterie*, die sechs Akkuglieder beinhaltet, aber den 12-Volt-Akkuschrauber bezeichnen wir nicht als „Batterieschrauber“ – obwohl er seine Energie ebenfalls aus einer „Batterie“ mit zehn Akkugliedern à 1,2 Volt bezieht. Die unterschiedliche Bezeichnung hat hier also oft nur etwas mit der Gewohnheit zu tun.

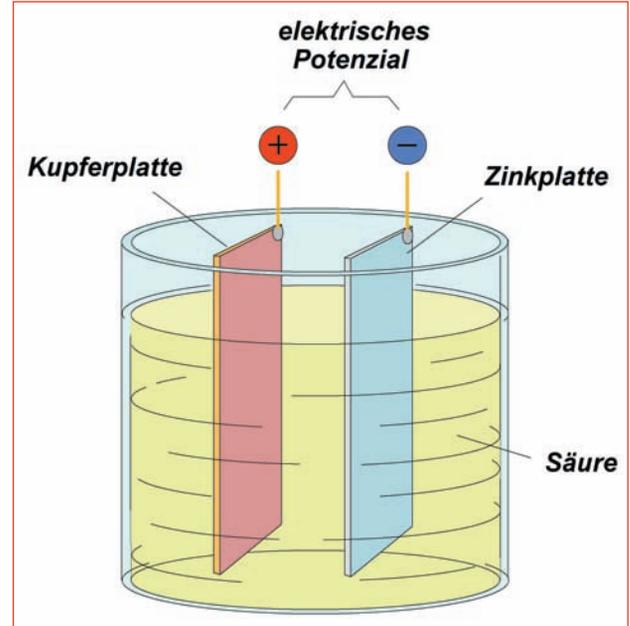
Wird ein Gerät als „batteriebetrieben“ bezeichnet, geht daher aus dieser Bezeichnung nicht automatisch hervor, ob es für Einwegbatterien oder für wiederaufladbare Batterien ausgelegt ist. So können z. B. einige digitale Fotokameras ausschließlich mit Einwegbatterien, andere dagegen mit wiederaufladbaren Batterien betrieben werden, aber nicht immer geht diese wichtige Eigenschaft aus einem Prospekt oder Katalog hervor.

# 1 Das Speichern der elektrischen Energie

sein. Dazu gehört auch das Wissen um das optimale Laden und die passenden Ladegeräte, sofern die Geräte nicht bereits über ein eigenes Ladegerät verfügen. In einer Batterie wird die elektrische Energie wesentlich komplizierter gespeichert als in einem Kondensator. In einen Speicherkondensator wird die Energie quasi nur „eingefüllt“ wie Tee in eine Kanne. In einer Batterie beruht dagegen die Speicherung der Energie auf einem chemischen Prozess. Da diese Prozeduren unterschiedlich sind und von dem einen oder anderen chemischen System der Batterietype abhängen, wird folgend nur das einfache Grundprinzip einer herkömmlichen Batterie erläutert.

In Batterien entsteht die elektrische Energie durch chemische Vorgänge. Wird z. B. ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, kann diese in einer Batterie (Abb. 1.3) als Strom leitende Flüssigkeit dienen. Werden in diese Flüssigkeit z. B. eine Kupfer- und eine Zinkplatte getaucht, entsteht zwischen diesen zwei Platten (Elektroden) ein elektrisches Potenzial (= eine elektrische Spannung). Die Kupferplatte (Kupferelektrode) bildet den Pluspol, die Zinkplatte (Zinkelektrode) den Minuspol dieser Batterie.

Aus dem in Abb. 1.3 vereinfacht dargestellten Aufbauprinzip einer Bleiakku-Zelle geht hervor, dass der Grundaufbau der Zelle einer Einwegbatterie mit der eines wiederaufladbaren Akkus weitgehend identisch ist. In der Praxis erhalten die Elektroden aber unterschiedliche Formen, haben unterschiedliche Größen und der Elektrolyt kann sowohl flüssig als auch fest (Gelatine) sein. Die Eigenschaften der Batterien hängen von der chemischen Zusammensetzung der Elektroden und des Elektrolyten ab, die das „elektrochemische System einer Batterie“ bilden. Um die Abmessungen der Batterien möglichst klein halten zu können, wird in der Praxis der Abstand zwischen den Elektroden so gering wie mög-



**Abb. 1.3** – Aufbauprinzip der Zelle eines Bleiakkus (in Wirklichkeit besteht eine solche Zelle aus mehreren Elektroden, deren Abstand sehr gering ist).

lich gehalten. Bei Bleiakku wird aus diesem Grund zwischen die Elektroden ein dünnes, elektrisch isolierendes, aber ein für Ionen und Gase durchlässiges Kunststoffgitter gesetzt, das eine leitende Berührung der „zusammengedrückten“ Elektroden verhindert. Bei Rund- und Kleinbatterien wird die Isolation zwischen den Elektroden ebenfalls mittels einer flüssigkeitsdurchlässigen Isolierschicht gebildet, die typenbezogen auch nur als ein Raum sparender, chemisch konzipierter Isolant ausgelegt sein kann. Das Innenleben einer solchen Zelle wird in ein Zellengehäuse untergebracht und verschlossen.

## 2 Handelsübliche Batterietypen

**H**andelsübliche Batterien unterscheiden sich durch ihre Abmessungen, Kapazitäten und weitere Eigenschaften, die durch den elektrochemischen Aufbau und durch ihre Größen bestimmt werden, voneinander.

Die gängigsten Universalbatterien und Standardakkus sind vorwiegend als Rundzellen ausgelegt und werden in Hinsicht auf ihre Formen und Größen nach Tabelle 2.1 eingeteilt und bezeichnet.

Die gleiche Abmessung und allgemeine Bezeichnung – wie z. B. *Micro* bzw. *AAA* – bedeutet jedoch nicht, dass alle Batterien dieser Gruppe auch die gleiche

Spannung, Leistung oder andere technische Eigenschaften aufweisen. Sogar Batterien der gleichen Art und Bauform können, je nach ihrer chemischen Zusammensetzung und nach ihren herstellerbezogenen „Feinheiten“, erhebliche Unterschiede in ihrer Kapazität, Leistung oder anderen Eigenschaften haben. Was darunter zu verstehen ist, zeigt z. B. Tabelle 2.2, in der die gängigsten nicht wiederaufladbaren Einwegbatterien (Primärzellen) der gleichen Größe, aber unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung aufgelistet sind.

## 2 Handelsübliche Batterietypen

Eine interessante, aber wenig bekannte Spezies bilden unter den 1,5-Volt-Batterien die nachladbaren Batterien der Type Accu-Cell. Es sind keine ausgesprochenen Akkus, sondern nur beschränkt nachladbare alkalische Batterien (Zellen), die bis zu etwa 25-mal wieder aufgeladen werden können. Bei regelmäßigem Nachladen sind sogar bis zu 100 Ladevorgänge möglich. Diese Batterien sind baugleich mit den handelsüblichen Rundzellen und haben den Vorteil, anstelle der 1,5-Volt-Einwegbatterien eingesetzt werden zu können. Sie weisen eine hohe Kapazität auf (siehe hierzu Tabelle 2.3) und leiden nicht unter dem Memory-Effekt der NiCd-Akkus. In Hinsicht auf ihre Nennspannung und ihren relativ hohen Innenwiderstand benötigen diese Batterien ein spezielles Ladegerät (AccuCell- oder Rayovac-Ladegerät). Diese Ladegeräte sind kostengünstig und wer mehrere batteriebetriebene Geräte (Audio- und Küchengeräte, Wanduhren, Fernbedienungen etc.) besitzt, die für 1,5-Volt-Batterien ausgelegt sind, kann die Vorteile dieser nachladbaren Batterien nutzen.

Zur Kategorie der Einwegbatterien gehören auch *Knopfzellen* (Tabelle 2.3). Im Vergleich mit den Standard-Rundbatterien gibt es bei den Knopfzellen eine sehr große Auswahl an Durchmessern und Höhen der handelsüblichen „Knöpfe“. Das kennen wir aus der Praxis: Wer zu Hause verschiedene Kleingeräte hat, benötigt oft genauso viele Ersatzknopfzellen unterschiedlicher Größe. Im Gegensatz zu den Standard-Rundbatterien und Rundakkus haben sich die Knopfzellenhersteller leider nicht auf einheitliche

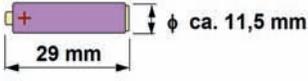
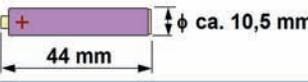
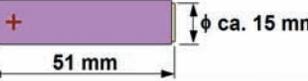
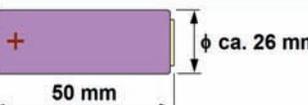
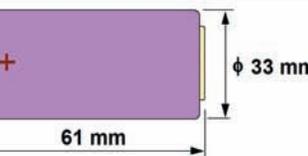
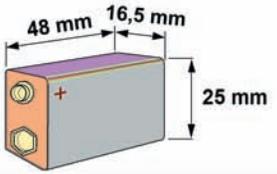
Abmessungen der Batterie	Bezeichnung
	Lady "N"
	Micro "AAA"
	Mignon "AA"
	Baby "C"
	Mono "D"
	9 V Block
	4,5 V Flach

Tabelle 2.1 – Abmessungen und Bezeichnung der gängigsten Batterien.

## 2 Handelsübliche Batterietypen

<b>Nicht wiederaufladbare "Einweg-Batterien" (Primärzellen)</b> 			
Bezeichnung und chemische Zusammensetzung	Zellen-spannung	Eigenschaften	Anwendung
Zink-Kohle <i>ZnC</i>	1,5 V	Relativ niedrige Kapazität (ziemlich geringer Vorrat an elektrischer Energie)	Für Geräte, die entweder nur seltener verwendet werden (Taschenlampen, Fernbedienungen) oder für Geräte mit geringem Stromverbrauch (Uhren, Wetterstationen, Timer)
Alkali-Mangan ("Alkaline") <i>AlMn</i>	1,5 V	Hohe Kapazität (ziemlich hoher Vorrat an elektrischer Energie), kann einen hohen Strom liefern	Für tragbare Geräte der Unterhaltungselektronik, Fotoapparate, Funksender, Spielzeuge u.ä.
Nickel-Zink <i>NiOOH</i>	1,5 V	Hohe Kapazität (hoher Vorrat an elektrischer Energie), stark belastbar, kann einen sehr hohen Strom liefern	Für Fotoapparate (Digitalkameras), tragbare Geräte der Unterhaltungselektronik und für Geräte, bei denen der Hersteller diese Batterien empfiehlt
Lithium-Ionen (Li-Ion) <i>Lithium-Polymer</i>	1,5 V	Hohe Kapazität, sehr hohe Belastbarkeit, niedrige Selbstentladung, temperaturbeständig	Für Fotoapparate (Digitalkameras) mit integriertem Blitz, Außensensoren von Wetterstationen, Funksender von Überwachungskameras im Außenbereich u.ä.

**Tabelle 2.2 –** Übersicht der gängigen Einwegbatterien, die bei gleicher Größe durch unterschiedliche chemische Zusammensetzung unterschiedliche Leistungsmerkmale aufweisen.

Bezeichnungen (wie *Micro* oder *AAA*) einigen können. Jeder führt hier seine eigene Typenbezeichnung. Auf diese Weise gibt es zahllose Typenbezeichnungen der gängigsten Knopfzellen. Der Anwender muss bei Bedarf nach einer passenden Ersatzknopfzelle in Vergleichstabellen suchen.

Die chemische Zusammensetzung der Knopfzellen ist typenbezogen unterschiedlich: Die meisten Knopfzellen sind als alkaline, Silberoxid-, Lithium- Zink-Luft-, Ni-CD- oder NiMH-Batterien ausgelegt. Der „Endver-

braucher“ muss sich jedoch nicht den Kopf darüber zerbrechen, welcher der chemischen Zusammensetzungen er bei der Suche nach Ersatzknopfzellen Vorrang einräumen sollte, denn er muss sich nach den Abmessungen richten. Knopfzellen, die eine andere chemische Zusammensetzung als die bestehenden haben, sind meist nicht baugleich. Somit spielt die chemische Zusammensetzung der Knopfzellen nur dann eine Rolle, wenn diese im Selbstbau für Anwendungen vorgesehen sind, bei denen die Abmessungen der Knopf-

## 2 Handelsübliche Batterietypen

Spezielle aufladbare alkalische Batterien der Type "AccuCell"			
Typ	Zellen- spannung	Kapazität	Besondere Merkmale
Micro "AAA"	1,5 V	750 mAh	Diese Spezialbatterien können bis zu etwa 25mal wie Akkus nachgeladen werden. Bei regelmäßigem Laden sind sogar bis zu 100 Ladevorgänge möglich. Sie weisen keinen Memory-Effekt auf und bieten u.A. einen vorteilhaften Ersatz für nicht wiederaufladbare 1,5-V-Einwegbatterien bei Anwendungen mit einem geringen bis mittleren Stromverbrauch. Für höhere Belastungen – wie z.B. Digital-Kameras, Blitzgeräte u.ä. – sind sie in Hinsicht auf ihren zu hohen Innenwiderstand nicht geeignet. <b>Wichtig: Diese Batterien benötigen ein spezielles "AccuCell"-Ladegerät.</b>
Mignon "AA"	1,5 V	1800 mAh	
Baby "C"	1,5 V	3000 mAh	
Mono "D"	1,5 V	7200 mAh	

**Tabelle 2.3** – Beschränkt aufladbare alkalische 1,5-Volt-Batterien bilden eine interessante Alternative zu Einwegbatterien.

zellen nur vom individuellen Ermessen abhängen.

Die meisten Knopfzellen sind als Einwegzellen (Primärzellen) ausgelegt und somit nicht aufladbar. Als

wiederaufladbare Knopfzellen sind gegenwärtig die Lithium-Knopfzellenakkus und NiMH-Knopfzellen am vorteilhaftesten. In Hinsicht auf ihre Nennspannung von 3 Volt, 3,7

Volt (bei den Lithium-Knopfzellenakkus) bzw. von 1,2 Volt bei NiMH-Knopfzellen sowie auch auf ihre typenbezogenen Abmessungen kommen diese Knopfzellen jedoch nicht als Ersatz für die etablierten Einwegknopfzellen in Frage, mit denen z. B. Armbanduhren versehen sind.

Wiederaufladbare Akkus (Sekundärzellen) sind in ihren Grundausführungen (Abmessungen) bau-

### Knopfzellen



**Abmessungen:** Durchmesser meist zwischen ca.  $\phi$  5,8 und 24,7 mm  
Höhe zwischen ca. 1,25 und 5,4 mm

**Zellenspannung:** typenbezogen meist 1,4 V, 1,5 V, 1,55 V oder 3 V

**Bezeichnung:** herstellerbezogen entweder nur in der Form einer Zahl (z.B. "364") oder einer Kombination von Zahlen und Buchstaben (z.B. "CR 1620" oder "SR527SW" u.ä.).  
Anhand von Vergleichstabellen kann der Anwender bei Bedarf passende alternative Knopfzellen ausfindig machen.

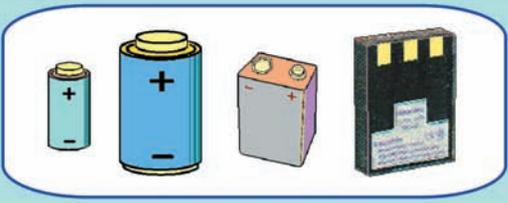
**Tabelle 2.4** – Knopfzellen weisen eine sehr große Vielfalt an Abmessungen, Spannungen und Kapazitäten auf: Abgesehen von den unterschiedlichen Bauformen unterscheiden sie sich auch in der typenbezogenen chemischen Zusammensetzung.

## 2 Handelsübliche Batterietypen

gleich mit gängigen Einwegbatterien aus Tabelle 2.1 und auch die Bezeichnung ihrer „Körpermaße“ (Lady, Micro, Mignon bzw. N, AAA, AA usw.) bleibt unverändert. Die Nennspannung der wiederaufladbaren NiCd- und NiMH-Akkus beträgt allerdings „nur“ 1,2 Volt pro

Zelle. Wäre dem nicht so, könnten Einweg-Rundbatterien bedenkenlos durch wiederaufladbare Akkus ersetzt werden. Lithium-Akkus tanzen in Bezug auf die Zellen-Nennspannung sozusagen noch mehr aus der Reihe. Viele von ihnen – sowie auch viele der herkömmlichen

wiederaufladbaren Akkus – werden jedoch ohnehin auch von der „Körperform“ her produktspezifisch konzipiert und können dann jeweils nur durch typengleiche Akkus (Akkupacks) ersetzt werden. Ähnlich wie Einwegbatterien werden auch Akkus chemisch un-

<b>Kleine Akkus (Sekundärzellen)</b> 			
Bezeichnung und chemische Zusammensetzung	Zellen-spannung	Eigenschaften	Anwendung
<b>Nickel-Cadmium</b> <i>NiCd</i>	1,2 V	Hoch belastbar, jedoch typenabhängig unterschiedlich. Wiederaufladbar mit einem Strom von max. 10% der Akku-Nennkapazität. Nachteil: der Memory-Effekt.	Akku-Werkzeuge (älterer Bauart), Akku Haushaltsgeräte, schnurlose Telefone, Modellbau. Wegen dem Memory-Effekt und den Ansprüchen auf kontinuierliche Pflege werden diese Akkus von den NiMH-Akkus verdrängt.
<b>Nickel-Metallhydrid</b> <i>NiMH</i>	1,2 V	Hohe Kapazität, hoch belastbar, strapazierfähig, umweltfreundlich (beinhaltet keine giftigen Bestandteile), wiederaufladbar.	Gute Akku-Werkzeuge und Haushaltsgeräte aller Art, schnurlose Telefone, MP-Player, Digitalkameras, Audio- und Funkgeräte usw. Kein Memory-Effekt, unempfindlich gegen zu tiefe Entladung, daher pflegeleicht.
<b>Lithium-Ionen</b> <i>Li-Ion</i> <b>Li-Polymer</b>	3,7 V	Sehr hohe Energiedichte, hohe Belastbarkeit, geringe Tiefentladung, wiederaufladbar.	Moderne Akku-Werkzeuge und Geräte, Digitalkameras, Handys, Camcorders, Notebooks u.ä. Diese Akkus werden auch als kompakte Video- und Notebook-Akkus für höhere Nennspannungen gefertigt.

**Tabelle 2.5** – Übersicht der gängigen wiederaufladbaren Akkus (Sekundärzellen), die durch unterschiedliche chemische Zusammensetzung verschiedene Leistungsmerkmale aufweisen.

## 2 Handelsübliche Batterietypen

<b>Blei-Akkus (Blei-Akkumulatoren)</b>			
<i>Bezeichnung</i>	<i>Spannung</i>	<i>Eigenschaften</i>	<i>Anwendung</i>
<b>Bleiakku-Zelle beliebiger Ausführung</b>	<b>2 V</b>	Herkömmliche Blei-Akkus wenden verdünnte Schwefelsäure als Elektrolyt an - was z.B. bei Autobatterien noch überwiegend gehandhabt wird. Modernere wartungsfreie Blei-Gel- und Vliestechnik-Akkus sind mit "gebundenem" (gelförmigem) Elektrolyt ausgestattet, gasdicht verschlossen und das Nachfüllen mit destilliertem Wasser entfällt.	Aus 2-Volt-Einzelzellen werden Batterien zusammengesetzt, deren Spannung sich in 2-Volt-Schritten (in Reihenschaltung) aufbaut. Die Spannungen der einzelnen Zellen addieren sich. So sind z.B. in einer 12-Volt-Autobatterie sechs Einzelzellen à 2 Volt untergebracht.  Es gibt auch Blei-Akkus, deren Spannung nur 2 Volt beträgt und die nur aus einer einzigen Zelle bestehen.
<b>Blei-Akkus</b>	<b>2 V 4 V 6 V 8 V 12 V 24 V</b>	Zu den wichtigsten Eigenschaften eines Blei-Akkus gehört eine niedrige Selbstentladung, eine möglichst niedrige Tiefentlade-Schwelle, unter Umständen eine hohe Belastbarkeit (wichtig z.B. bei Autobatterien) und eine möglichst geringe Frostempfindlichkeit, wenn der Akku im Freien angewendet wird. Bei speziellen Solarakkus wird vor allem der Selbstentladung ein gehobener Stellenwert eingeräumt.	

**Tabelle 2.6** – Bleiakku.

terschiedlich konzipiert, wodurch sowohl ihre Herstellungskosten als auch ihre technischen Eigenschaften unterschiedlich sind. Wie Tabelle 2.5 zeigt, teilen sich die gängigsten Kleinakkus in NiCd- und NiMH-Sekundärzellen, deren Nennspannung 1,2 Volt beträgt. Außerdem sind diverse Lithium- bzw. Lithium-Ion- oder Lithium-Polymer-

Akkus auf dem Vormarsch, deren Grundnennspannung, technologisch bedingt, 3 bis 3,7 Volt beträgt. Die Lithium-Akkus sind teilweise als 3,7-Volt-Rundzellen oder Flachakkus, teilweise auch als Kamera- oder Notebook-Akkus/Akkupacks erhältlich, deren Spannungen modellabhängig zwischen ca. 3,6 V und 14,8 V liegen.

Größere Akkus (Akkus mit größeren Kapazitäten) werden überwiegend als Bleiakku gefertigt, bei denen die Zellen einheitlich für eine Nennspannung von 2 Volt ausgelegt sind. Aus Tabelle 2.6 gehen einige der wichtigsten Grundinformationen über diese Akkus hervor. Auf Näheres kommen wir noch in Kapitel 13 zurück.

### 3 Elektrische Eigenschaften einer Batterie/eines Akkus

Anwendungsbezogen interessieren uns bei einer Batterie oder einem Akku folgende technische Parameter:

- Nennspannung
- Kapazität und Belastbarkeit
- Selbstentladung
- Tiefentladeschwelle

## 3.1 Nennspannung

Typisch für eine Batterie (oder einen Akku) ist, dass ihre Spannung nicht konstant ist oder bleibt, sondern vom jeweiligen Zustand ihrer Aufladung abhängt. Was als *Nennspannung einer Batterie* bezeichnet wird, ist nur ein *Spannungsdurchschnittswert*. So beträgt z. B. die Spannung einer voll aufgeladenen 12-Volt-Autobatterie etwa 13,6 bis 14 Volt. Wird sie bei einem stehenden Fahrzeug nicht nachgeladen und eine Autolampe oder ein anderer Verbraucher bezieht von ihr ununterbrochen Strom, wird die in ihr gespeicherte elektrische Energie verbraucht und ihre Spannung sinkt gleitend bis auf Null. Ein solches Leeren der Autobatterie ist allerdings eine Ausnahmesituation, die hinsichtlich der Lebenserwartung einer Bleibatterie vermieden werden sollte. Bei einem normal betriebenen Fahrzeug wird die Autobatterie von der Lichtmaschine während der Fahrt laufend nachgeladen. Die Spannung einer 12-Volt-Batterie bewegt sich in dann Praxis zwischen etwa 10,5 und 13,6 Volt.

Bei Akkuerzeug stellt die Nennspannung des Akkus ebenfalls nur einen Richtwert dar, der bei einem voll aufgeladenen Akku um etwa 20 % höher liegt, als es der offiziellen Nennspannung entspricht. Während eines länger dauernden Betriebs ohne Zwischenaufladung kann die Spannung bis auf  $\frac{1}{4}$  der Nennspannung sinken. Von der Art und der Belastung des Geräts hängt dann ab, bis zu welchem Spannungsminimum es noch funktioniert.

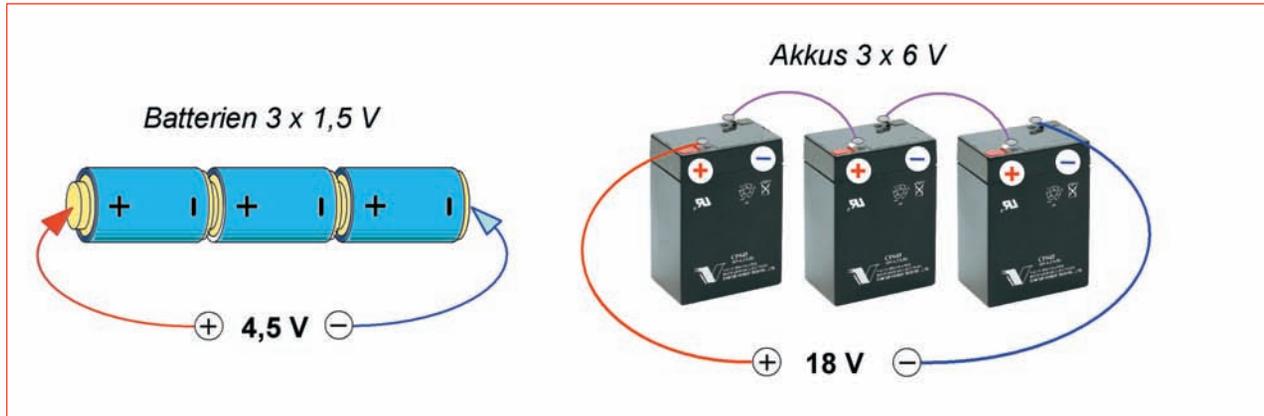
Auch bei Einwegbatterien, deren einzelne Zellen (Glieder) als 1,5-Volt-Batterien bezeichnet werden, ist die Nennspannung nur ein Richtwert. Die tatsächliche Spannung neuer Einwegbatterien beträgt in der Praxis etwa 1,56 bis 1,6 Volt und sinkt danach ebenfalls gleitend bis auf einen Minimalwert herab, bei dem sie ihre Funktion nicht mehr meistert. Auch wenn man es sagt, ist die Batterie nur selten wirklich leer, aber ihre Span-

nung ist auf einen Wert von z. B. 1,2 Volt gesunken und diese Restspannung reicht nicht mehr für die Spannungsversorgung des von ihr betriebenen Geräts aus. Die Nennspannungen einzelner Batterieglieder (Zellen) hängen von der Art der Batterien ab und teilen sich in den gängigsten Grundausführungen folgendermaßen ein:

- Wiederaufladbare NiCd(Nickel-Cadmium)- und NiMH(Nickel-Metall-Hydrid)-Akkus: Nennspannung 1,2 Volt pro Glied
- Wiederaufladbare Lithium-Ionen und Lithium-Polymer-Batterien: Nennspannung 3 bis 3,7 Volt pro Glied
- Spezielle aufladbare (eingeschränkt aufladbare) Alkaline-Batterien: Nennspannung 1,5 Volt
- Bleiakkus: Nennspannung 2 Volt pro Glied
- Einwegbatterien (Rundzellen): Nennspannung 1,5 Volt pro Glied
- Knopfzellen: meist 1,4 Volt, 1,5 Volt, 1,55 Volt oder 3 Volt pro Zelle
- Lithium-Akkus und Einweg-Lithium-Spezialbatterien (Spezialzellen): Nennspannung 3 Volt
- Spezielle Hochvolt-Rundbatterien: Nennspannung meist 6 Volt, 9 Volt oder 12 Volt
- Blockbatterien/Blockakkus: Nennspannung 9 Volt

Einzelne Batterie-/Akkuglieder können nach Abb. 3.1 in Reihe geschaltet werden, wenn eine höhere Spannung benötigt wird. Diese Lösung wird auch bei handelsüblichen Akkupacks angewendet, in denen bereits herstellenseitig mehrere Einzelzellen zu einer kompakten Einheit „konfektioniert“ (in Reihe verlötet und z. B. in einen dickeren Schrumpfschlauch eingeschweißt) werden.

## 3.1 Nennspannung



**Abb. 3.1** – Werden mehrere Batterie- oder Akkuglieder (Zellen) in Reihe geschaltet, addieren sich die Spannungen einzelner Glieder.



**Abb. 3.2** – Einzelne Akkuglieder werden oft herstellerseitig zu Akkupacks konfektioniert, um eine kompakte Batterie mit einer höheren Nennspannung zu erhalten.



**Abb. 3.3** – Für eine schnelle Überprüfung der Batteriespannung eignet sich ein Stift-Multimeter am besten (Foto/Anbieter: Conrad Electronic).

## 3.2 Kapazität und Belastbarkeit

Von der Kapazität einer Batterie/eines Akkus hängt die Menge der elektrischen Energie ab, die gespeichert werden kann. Sie kann aber typen- oder altersabhängig (z. B. durch eine zu lange Lagerung) vor allem bei kleineren Batterien und Akkus erhebliche Unterschiede aufweisen.

Bei Geräten, die für Einwegbatterien ausgelegt sind, denkt man über die Frage der Kapazität nicht weiter nach und setzt einfach „irgendwelche“ Batterien ein, die eben passen.

Bei den meisten Einwegbatterien ist weder ein Hinweis auf ihre Kapazität noch auf ihr Herstellungsdatum oder ihre Selbstentladung zu finden. Der Anwender muss sich dann einfach damit zufriedengeben, dass die neue Batterie eine Zeitlang das Gerät mit elektrischem Strom versorgt.

Etwas kritischer ist es bei Einwegbatterien, die z. B. für eine Digitalkamera verwendet werden: Manche der Batterien sind nach wenigen Tagen leer, andere weisen eine mehr als doppelt so hohe Kapazität auf. Hier hat die Kapazität der Batterie vor allem während eines Urlaubs einen wesentlich höheren Stellenwert als z. B. bei den Fernbedienungen der Haushaltselektronik.

Sofern der Anwender Einwegbatterien mit einer möglichst hohen Kapazität benötigt, kann er sich bei der gezielten Suche meist an vagen Bezeichnungen wie „hohe Leistung“, „extreme Power“ u. ä. orientieren.

Eine Ausnahme bilden in dieser Hinsicht meist nur die Knopfzellen, denn hier wird in der Regel die Kapazität in Milliamperestunden [mAh] angegeben. Ein Beispiel zeigt *Tabelle 3.1* (Teilauszug aus dem Katalog von *Conrad Electronic*).

Bei wiederaufladbaren Batterien/Akkus (und Akkupacks) wird, im Gegensatz zu Einwegbatterien, die Kapazität immer aufgeführt. Bei kleineren Akkus wird sie in Milliamperestunden (mAh) und bei größeren in Amperestunden (Ah) angegeben: 1 Ah = 1000 mAh.

Conrad energy Alkaline-Knopfzellen			
Typ	Spannung	Kapazität	Abmessungen in mm
LR 1120	1,5 V	42 mAh	( $\phi$ x H) 11,6 x 2,1
LR 1130	1,5 V	72 mAh	( $\phi$ x H) 11,6 x 3,1
LR 43	1,5 V	108 mAh	( $\phi$ x H) 11,6 x 4,2
LR 44	1,5 V	145 mAh	( $\phi$ x H) 11,6 x 5,4

Lithium-Knopfzellenakkus			
Typ	Spannung	Kapazität	Abmessungen in mm
LIR 2016	3,7 V	12 mAh	( $\phi$ x H) 20 x 1,6
CR 2032	3,0 V	35 mAh	( $\phi$ x H) 20 x 3,2
LIR 2450	3,7 V	120 mAh	( $\phi$ x H) 24 x 5
LIR 2477	3,7 V	180 mAh	( $\phi$ x H) 24 x 7,7

**Tabelle 3.1** – Bei Knopfzellen wird in den Katalogen die Kapazität meist angegeben (zwei Beispiele aus dem Katalog von Conrad Electronic).

Wir sehen uns anhand eines praktischen Beispiels an, was sich hinter diesen Parametern konkret verbirgt: Wird z. B. eine Autobatterie als 40-Ah-Batterie bezeichnet, bedeutet es, dass wir aus ihr theoretisch

Strom von 1 Ampere 40 Stunden lang  
 oder 2 Ampere 20 Stunden lang  
 oder 4 Ampere 10 Stunden lang beziehen können (usw.).

Strom in Ampere mal Zeit (Dauer der Stromentnahme) in Stunden ergeben hier den zur Verfügung stehenden Vorrat an elektrischer Energie einer Batterie/eines Akkus. Wird aus einer 40-Ah-Batterie z. B. 15 Stunden lang ein Strom von 2 Ampere bezogen, ergibt es einen Verbrauch von 30 Ah (15 Std.  $\times$  2 A = 30 Ah). Die Rest-

## 3.2 Kapazität und Belastbarkeit

kapazität der Batterie beträgt danach theoretisch nur noch 10 Ah. Genaugenommen müssten zwar bei der Berechnung des Kapazitätsverbrauchs noch einige weitere Faktoren wie die jeweilige Strombelastung, Stromstöße, Umgebungstemperatur usw. mitberücksichtigt werden, aber das spielt in der Praxis bei normalen Anwendungen keine Rolle. Unter anderem auch deshalb nicht, weil die theoretische Kapazität eines Akkus typen- und herstellerabhängig gewisse Toleranzabweichungen von bis zu  $\pm 10\%$  (manchmal sogar noch mehr) aufweist. Zudem bleibt auch die Frage offen, wie tief eine Batterie/ein Akku entladen werden kann oder darf (darauf kommen wir noch in Kapitel 12.2 zurück). Auch bei kleineren Akkus, bei denen die Kapazität nur in mAh (Milliamperestunden) angegeben wird, können wir bei Bedarf nachrechnen, wie lange der Akku mit seinem energetischen Vorrat einen Verbraucher betreiben kann. Dies setzt allerdings voraus, dass wir die Stromabnahme des Verbrauchers kennen, indem wir ihn z. B. messtechnisch (= mit einem Amperemeter) ermitteln.

Bekannt ist der Stromverbrauch bei diversen Leuchtkörpern, elektronischen Kleingeräten, elektronischen Bausätzen und Bausteinen für den Selbstbau/Modellbau. Wir

sehen uns an einigen Beispielen an, wie die Kapazität eines Akkus auf den Stromverbrauch der von ihm betriebenen Verbraucher abgestimmt werden kann.

Dank der Kapazitätsangabe können wir bei der Suche nach guten aufladbaren Akkus die in den Katalogen angegebenen Kapazitäten (aber auch die Preise) verschie-

dener Marken und Typen vergleichen. Qualität hat hier allerdings ihren Preis – und das ist in diesem Fall technologisch bedingt berechtigt. Ein gutes Beispiel zeigen z. B. die in Tabelle 2.2 aufgeführten NiMH-Rund-Akkus, die bei denselben Abmessungen für erstaunlich unterschiedliche Kapazitäten ausgelegt sind.

### Beispiel A

Eine Leuchtdioden-Beleuchtung nach Abb. 3.4 bezieht einen Strom von 80 mA. Wenn wir für diese Beleuchtung drei kleine Micro-Akkus mit einer Kapazität von bescheidenen 700 mAh verwenden, lautet die Rechnung:  $700:80 \text{ mAh} = 8,75$  (Betriebsstunden)

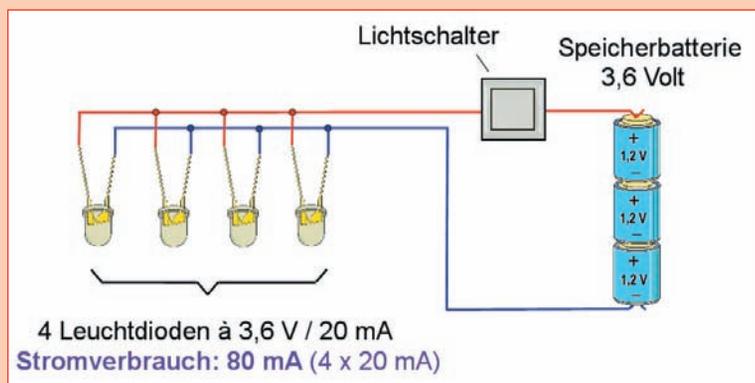


Abb. 3.4 – Stromversorgung von Leuchtdioden

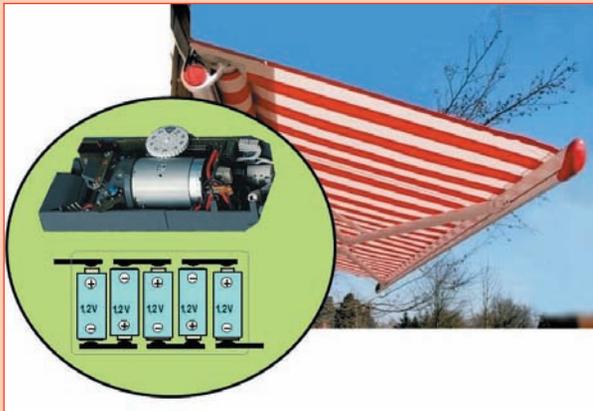
Bei Verwendung eines 2.700-mAh-Akkus hieße das:  $2.700:80 \text{ mAh} = 33,75$  (Betriebsstunden)

Wir haben nun die Wahl: Wird die Beleuchtung nur kurzzeitig benötigt, können wir uns mit kleineren Akkus zufriedengeben. Andernfalls können wir Akkus mit einer angemessen hohen Kapazität verwenden.

## 3.2 Kapazität und Belastbarkeit

### Beispiel B

Sie möchten für Ihre Markise einen Selbstbau-Elektroantrieb mit einem 6-Volt-Gleichstrommotor errichten, dessen Laststrom 1,8 A beträgt. Die Stromversorgung soll nach Abb. 3.5 mit fünf NiMH-Akkus (à 1,2 V) gewährleistet werden, deren Nachladen eventuell solarelektrisch erfolgen könnte. Würden wir zum Speichern der Energie einfach Akkus mit einer Kapazität von 1,8 Ah (1.800 mAh) verwenden, müsste der energetische Vorrat theoretisch für eine Stunde ununterbrochener Laufzeit des vorgesehenen Elektromotors ausreichen.



**Abb. 3.5** – Stromversorgung eines Markisenelektroantriebs mit einem 6-Volt-Antriebsmotor.

Die tatsächliche Dauer des Heraus- oder Einfahrens der Markise beträgt erprobt nur etwa 18 bis 22 Sekunden. Der Elektromotor bezieht jedoch aus dem Akku jeweils nach dem Einschalten etwa eine Sekunde lang einen wesentlich höheren Strom als die offiziellen 1,8 Ampere. Wir ersparen uns nun weitere aufwendige Überlegungen und runden den Vorgang eines Aus- und Einfahrens der Markise großzügig auf ca. 60 Sekunden auf. Der Elektroantrieb wäre dann mit einer Akkukapazität von 1,8 Ah theoretisch etwa 60-mal zu beanspruchen. So könnte z. B. der Akku etwa 60 Tage lang die Markise jeweils einmal am Tag heraus- und einfahren. Für ein solarelektrisches Nachladen wäre eine Akkukapazität von 1,8 Ah (1.800 mAh) sogar etwas zu großzügig gewählt, denn in den sonnenarmen Monaten Dezember und Januar wird die Markise kaum oder nur sehr selten herausgefahren.

Wird dagegen der Akku nur mit einem Ladegerät geladen, was möglichst selten erforderlich sein sollte, kann die Kapazität des vorgesehenen Akkus auch wesentlich höher gewählt werden. Gehen wir dabei von den vorhergehenden Berechnungen aus, kann bei einer Akkukapazität von z. B. 3,6 Ah die Markise etwa 120-mal heraus- und eingefahren werden, bevor der Akku neu aufgeladen werden müsste.

Eine möglichst hohe Kapazität ist verständlicherweise vor allem bei Akkus wichtig, die z. B. für den Betrieb intensiv betriebener Akkuwerkzeuge, Geräte oder Spielzeuge mit hohem Strombedarf benötigt werden. Hier hat eine höhere Kapazität den Vorteil, dass die Stromversorgung jeweils längere Zeit ohne Unterbrechung erfolgen kann und dass das Nachladen seltener erforderlich ist. Diverse Kleingeräte, die nur gelegent-

lich betrieben werden und zudem nur einen geringen Strombedarf haben, benötigen dagegen Akkus mit einer geringeren Kapazität, denn der überflüssige Energievorrat ginge sonst teilweise durch die Selbstentladung verloren. Besondere Aufmerksamkeit verdient in diesem Zusammenhang die Kapazität der Auto- und Fahrzeugbatterien. Die gängigen 12-Volt-Auto-batterien bestehen aus sechs Bleiakzellen à 2 Volt,

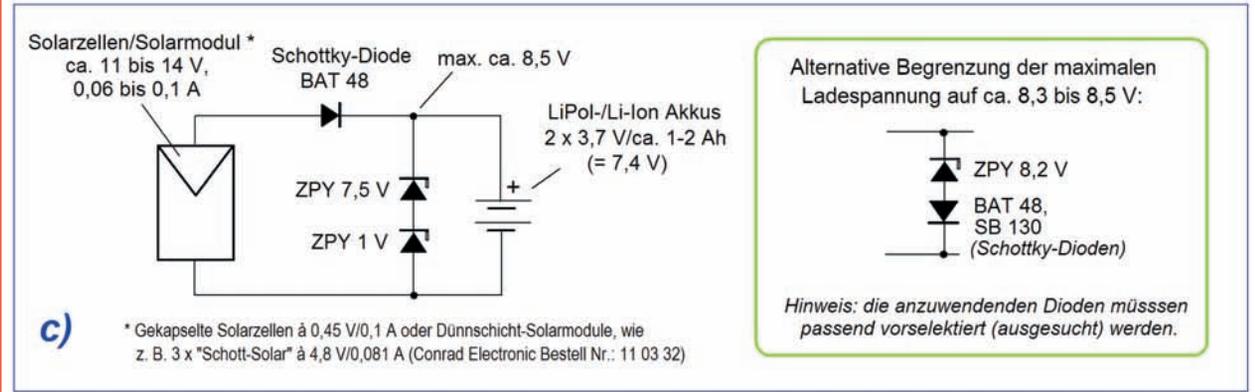
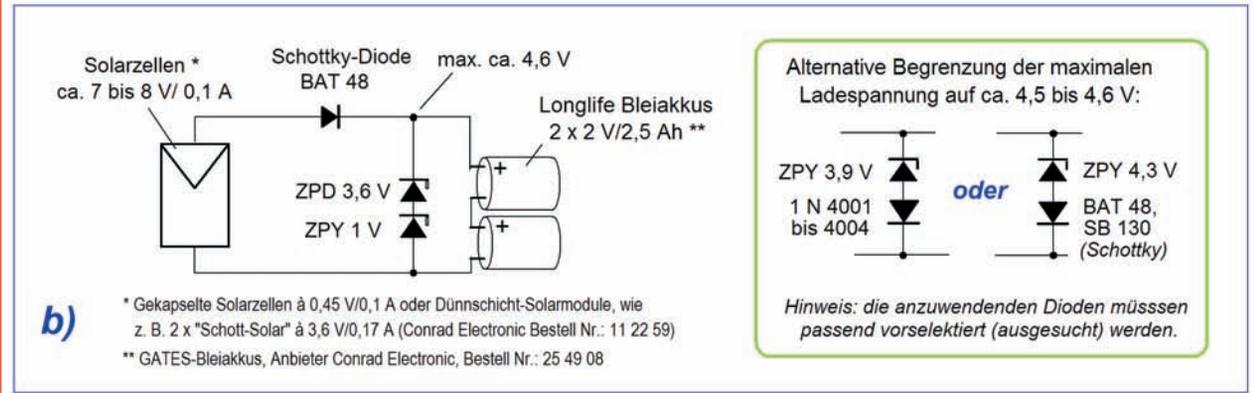
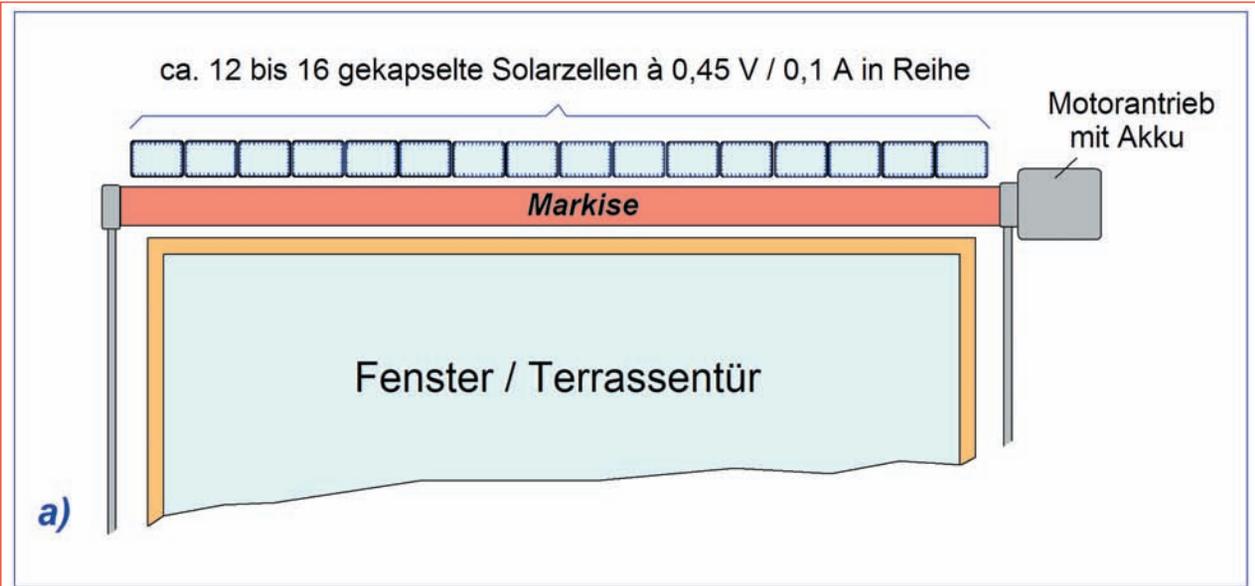


Abb. 3.6 – Solarelektrisches Laden eines Markisentorantriebes: a) Anordnungsbeispiel der Solarzellen; b) Solarelektrisches Laden von zwei Mini-Bleiakku; c) Solarelektrisches Laden von zwei LiPol- oder Lilon-Akkus

## 3.2 Kapazität und Belastbarkeit

die in der Batterie in Reihe geschaltet sind. Zu den wichtigsten Aufgaben einer Autobatterie gehört das Anlassen des Motors, was mit einem großen Stromstoß beim Anlauf des Anlassers verbunden ist, den sie bewältigen muss.

Die Kapazität einer Autobatterie muss u. a. an die Größe des Fahrzeugmotors (vor allem auf die Abnahmeleistung seines Anlassers) abgestimmt und zudem so gewählt werden, dass sie auch noch die elektrische und elektronische Ausstattung des Fahrzeuges im vorgesehenen Umfang betreuen kann. Was darunter zu verstehen ist, bleibt im Ermessen der Fahrzeughersteller und orientiert sich selbstverständlich an Erfahrungswerten. Die Lichtmaschine des Fahrzeuges, die als elektrischer Generator den Ladestrom für die Autobatterie liefert, ist so dimensioniert, dass sie bei einem normalen Betrieb des Fahrzeuges die Autobatterie laufend nachlädt.

Aus dem Rahmen fallen Stromabnahmen, die z. B. durch einen zu hohen Stromverbrauch bei Stillstand des Fahrzeuges entstehen oder durch zusätzliche Verbraucher,

Ausführung	Typ	Spannung	Kapazität	Abmessungen in mm
	Mignon (AA)	1,2 V	1300 mAh	( $\phi$ x L) 14 x 50,2
	Mignon (AA)	1,2 V	1800 mAh	( $\phi$ x L) 14 x 50,2
	Mignon (AA)	1,2 V	2100 mAh	( $\phi$ x L) 14 x 50,2
	Mignon (AA)	1,2 V	2700 mAh	( $\phi$ x L) 14 x 50,2

**Tabelle 3.2** – Akkus der gleichen Größe und Marke können erhebliche Kapazitätsunterschiede aufweisen (NiMH-Akkus von GP und Varta).



**Abb. 3.7** – Die Kapazität einer Autobatterie ist auf den Bedarf der Fahrzeugverbraucher abgestimmt.

## 3.2 Kapazität und Belastbarkeit

die z. B. auch während der Fahrt mehr Strom beziehen, als die Lichtmaschine des Fahrzeugs nachladen kann. Von der Kapazität der Autobatterie hängt dann ab, wie lange sie einen erhöhten Stromverbrauch verkraften kann.

Der Begriff *Belastbarkeit* hängt nicht von der eigentlichen Kapazität einer Batterie/eines Akkus ab, sondern von seiner Fähigkeit, größere Stromabnahmen/Stromstöße zu verkraften. Ein gutes Beispiel für einen höheren Anspruch an die Belastbarkeit finden wir z. B. bei der Autobatterie: Sie muss beim Anlassen des Motors sowohl einen kräftigen Anlaufstromstoß verkraften und zudem während der Stromversorgung des Anlassers hohen Strom liefern können. Ähnlich wie die Autobatterien werden von manchen Verbrauchern auch kleinere Akkus überproportional beansprucht. Oft benötigen solche Verbraucher spezielle *hochstromfähige Akkus*, die kurzfristig Stromstoß so verkraften können, ohne dass dabei die Akkuspannung

### Beispiel A

Geht man dabei nur von dem eigentlichen Verbrauch der Endstufe aus, bezieht diese von der Autobatterie theoretisch einen Strom von bis zu etwa 8,3 Ampere (100 Watt: 12 Volt [als Spannung der Autobatterie] = 8,3 Ampere). Der energetische Vorrat der Autobatterie sinkt bei dieser Stromabnahme theoretisch um ca. 8,3 Ah pro Stunde. Eine 40-Ah-Autobatterie, die vor dem Abspielen von Musik voll aufgeladen war, kann auf diese Weise völlig geleert werden.



**Bild A** Die Audioanlage des Fahrzeuges wird mit einem 100-Watt-Verstärker (Verstärker-Endstufe) nachgerüstet und die Lautstärke der Musik bei einem stehenden Fahrzeug voll aufgedreht.

## 3.2 Kapazität und Belastbarkeit

### Beispiel B



**Bild B** Während der Fahrt in den Urlaub wird an den Zigarettenanzünder eine elektrische Kühlbox angeschlossen, die als „12V/4A“-Verbraucher von der Autobatterie bis zu 4 Ampere pro Stunde bezieht.

noch zusätzliche Verbraucher angeschlossen, kann die Stromentnahme höher werden, als die Lichtmaschine nachliefern kann.

An einem sehr heißen Tag läuft die Kühlung der Box unter Umständen ununterbrochen und verbraucht somit von der zur Verfügung stehenden Batteriekapazität 4 Ah pro Stunde. Wird z. B. in einem Stau neben der Kühlbox auch noch die Musikelektronik des Fahrzeuges in Anspruch genommen, wird bei abgeschaltetem Motor der bezogene Strom die Energiereserve der Autobatterie ebenfalls strapazieren. Während der Fahrt lädt dann zwar die Lichtmaschine die Autobatterie nach, aber der Ladestrom ist herstellenseitig meist so berechnet, dass er während einer nächtlichen Fahrt den Stromverbrauch der Lichter großzügig kompensieren kann. Werden dabei an die Autobatterie

vorübergehend zu tief sinkt. Auf diese Eigenschaft – auf die Hersteller des Geräts in der Regel mit Nachdruck hinweisen – ist dann bei der Anschaffung einer neuen Einwegbatterie oder eines Akkus zu achten.

### Fazit

Als Abhilfe bietet sich in solchen Fällen das Ersetzen durch eine neue Autobatterie mit einer höheren Nennkapazität oder die Verwendung einer Zweitbatterie an. Beide Lösungen setzen allerdings voraus, dass die Lichtmaschine ausreichend Gelegenheit zum Nachladen der größeren Batterie oder beider Batterien erhält. Das kann nur dann problemlos funktionieren, wenn das Fahrzeug überwiegend tagsüber (ohne Licht) längere Strecken fährt und nur selten angelassen wird. Andernfalls ist ein zusätzliches Nachladen der Autobatterie(n) mit einem externen Ladegerät erforderlich.

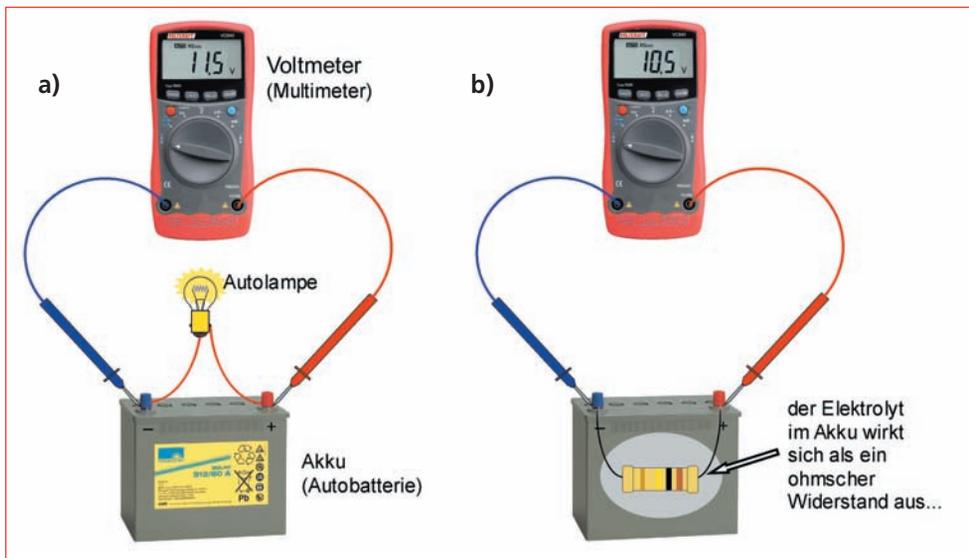
### 3.3 Die Selbstentladung

Die in einer Batterie oder einem Akku gespeicherte elektrische Leistung und Spannung geht im Laufe der Zeit durch die sogenannte *Selbstentladung* schrittweise verloren. Die Selbstentladung wird in % angegeben, die sich üblicherweise auf den prozentuellen Energieverlust *pro Monat* beziehen – es sei denn, der Anbieter hebt gezielt bei einer Spezialbatterie z. B. hervor, dass ihre Selbstentladung auch noch nach 10 Jahren nur 10 % beträgt.

Wird beispielsweise bei einem Bleiakku eine Selbstentladung von 8 % (ohne nähere Erklärung) angegeben, sinkt sein energetischer Vorrat auch im Ruhezustand um 8 % monatlich. Beträgt die Selbstentladung eines NiCd(Nickel-Cadmium)-Akkus z. B. 30 %, entlädt er sich unter Umständen schon während der Lagerung beim Händler fast auf Null.

Da bei den meisten Batterien und Akkus jeglicher Hinweis auf die Selbstentladung bzw. auf das Datum der Herstellung fehlt, bleibt es bei vielen Standardbatterien Glückssache, wie voll sie nach dem Kauf noch sind.

Jedes Material und jede Flüssigkeit hat einen spezifischen elektrischen Widerstand, der für seine Leitfähigkeit bestimmend ist. Schließen wir z. B. nach Abb. 3.8a an einen Akku einen elektrischen Verbraucher (in unserem Beispiel eine Lampe) an, wird die im Akku gespeicherte elektrische Energie schrittweise verbraucht. Anhand des Stromverbrauchs der Lampe kann man nachrechnen, für welchen Zeitraum die Kapazität einer voll aufgeladenen Batterie/eines Akkus ausreicht. Man könnte sich einfachheitshalber vorstellen, dass sich der Elektrolyt, der sich bei einem Akku zwischen seinen Elektroden (Polen) befindet, als elektrische Belastung auf den Akku auswirkt, die an der vorhandenen energetischen Reserve nagt – wie es Abb. 3.8a zeigt. In Wirklichkeit ist jedoch die Summe der Einflüsse, die bei einem Akku die Selbstentladung verursachen, wesentlich komplexer: Der Innenwiderstand setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: dem ohmschen Widerstand und zusätzlichen elektrochemischen Anteilen, die auf der *Elektrodenkinetik* beruhen und als Faraday-Widerstand ( $R_f$ ) bezeichnet werden. Diese zwei



**Abb. 3.8** – Werden die Pole eines Akkus über einen Verbraucher leitend verbunden, entlädt er sich: **a)** Von der Leistung (dem ohmschen Widerstand) der angeschlossenen Lampe hängt ab, wie schnell sich der Akku entlädt. **b)** Der Elektrolyt ist zwischen den zwei Elektroden des Akkus ein ohmscher Widerstand, der – abhängig von seiner chemischen Zusammensetzung – Energie verbraucht.

### 3.3 Die Selbstentladung

Widerstände kann man als zwei ohmsche Widerstände in Reihe (Abb. 3.9) sehen.

Bei diesen Widerständen, die sich physikalisch bedingt als ein einziger Widerstand manifestieren, handelt es sich jedoch um zwei variierende Widerstände, die zahlreichen Einflüssen der laufenden Veränderungen des elektrochemischen Zustandes der Akkus (der Akkuzellen) unterliegen. Der elektrochemische Zustand des Akkus ist sowohl von seiner Ausführung als auch vom jeweiligen Ladezustand und dem Stand seiner Innentemperatur abhängig. Z. B. beim Laden verhält er sich als ein relativ niedriger Widerstand. Andernfalls könnte er nicht einen ausreichend hohen Ladestrom nach dem ohmschen Gesetz (Ladestrom = Spannung geteilt durch Widerstand,  $I = U : R$ ) beziehen.

Da hier unter dem Begriff *Spannung* nur die Spannungsdifferenz zwischen der Ladespannung und der jeweiligen Akkuspannung zu verstehen ist, muss der innere Widerstand, also die sogenannte *Impedanz* eines Akkus relativ niedrig sein, um ein angemessen zügiges Laden zu ermöglichen.

Diese Impedanz darf sich jedoch intern im Akku nicht als innere Last auf den Energieverbrauch (= auf die Selbstentladung) auswirken. Ein aufgeladener Akku wäre sonst innerhalb eines halben Tages durch die Selbstentladung leer – gäbe es hier nicht die variierenden Einflüsse, die das Verhalten eines Akkus nur schwer nachvollziehbar machen.

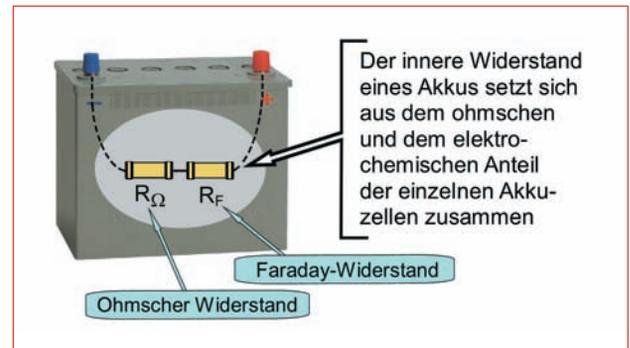
Vom eigentlichen Verhalten eines Akkus während des Ladens können keine Schlüsse auf sein Verhalten beim Entladen oder Selbstentladen gezogen werden. Für das eigentliche Laden kann man davon ausgehen, dass der Akku eine innere *Impedanz*/einen inneren Widerstand hat. In Hinsicht auf die Ladestromabnahme verhält er sich nicht anders als jeder andere elektrische Verbraucher.

Die Selbstentladung verdient vor allem bei stationär angewendeten Akkus besondere Aufmerksamkeit.

Nehmen wir als Beispiel einen herkömmlichen Bleiakku: Sein Elektrolyt besteht aus verdünnter Schwefelsäure und ist elektrisch leicht leitend. Er wirkt sich daher auf den Akku ähnlich aus wie die in Abb. 3.8a dargestellte externe Belastung. Das verursacht, neben anderen Einflüssen, eine Selbstentladung, die bei einem Bleiakku, je nach Qualität, zwischen ca. 4 und 8 % (pro Monat) liegt. Bei manchen kleinen wieder-aufladbaren Akkus beträgt die Selbstentladung sogar ca. 25 bis 30 % pro Monat.

Manche speziellere Batterien, zu denen z. B. auch diverse Lithium-Batterien gehören, weisen eine sehr niedrige Selbstentladung auf, die z. B. nur etwa 10 % in 20 Jahren beträgt und damit umgerechnet unterhalb von 0,04 % bis 0,08 % pro Monat liegt.

Bei solchen Batterien weisen die Hersteller und Anbieter meist auf die niedrige Selbstentladung hin. Auch bei Bleiakkus, die für Anwendungen in der Photovoltaik vorgesehen sind, wird die Selbstentladung in der Regel aufgeführt und als „niedrig“ gepriesen. Bei der Bewertung dieser Angabe ist jedoch ein objektiver Vergleich geboten.



**Abb. 3.9** – Der innere Widerstand eines Akkus (oder einer Akkuzelle) setzt sich aus einem ohmschen und einem elektrochemischen Widerstand (Faraday-Widerstand) zusammen.

## 3.4 Tiefentladung

Der Begriff *Tiefentladung* bezieht sich darauf, wie tief ein wiederaufladbarer Akku entladen werden darf oder soll. Hier kollidieren produktbezogen zwei konträre Eigenheiten: Ein Bleiakku kann durch zu tiefes Entladen beschädigt oder vernichtet werden, ein NiCd-Akku sollte hingegen mindestens einmal innerhalb von drei Monaten gezielt tiefentladen werden, da sonst seine Kapazität schrumpft.

Bleiakkus haben eine sogenannte *Tiefentladeschwelle*, die meist vom Hersteller genau definiert ist und unter die sie grundsätzlich nicht entladen werden dürfen. So liegt z. B. bei herkömmlichen 12-Volt-Bleiakkus und -Autobatterien die Tiefentladeschwelle typenbezogen zwischen ca. 10,5 und 11 Volt. Wird die Batterie z. B. versehentlich zu tief unterhalb dieser Schwelle entladen, kann sie dadurch irreparabel beschädigt werden. Je nach der Type (und Qualität) lässt sich eine gute Autobatterie danach zwar wieder aufladen, aber sie weist dann oft eine erhöhte Selbstentladung auf. Eine solche Erhöhung der Selbstentladung kann so geringfügig sein, dass sie kaum auffällt, aber bei etwas Pech ist sie hoch. Die Batterie entlädt sich danach viel zu schnell und kann ihre Aufgabe nicht mehr zufriedenstellend meistern.

NiCd-Akkus verfügen über den Memory-Effekt: Wird ein solcher Akku zu wenig beansprucht oder nur selten tiefentladen, verringert sich seine maximale Kapazität schrittweise. Nach einiger Zeit ist er dann überhaupt nicht mehr in der Lage, nach einem Aufladen die gespeicherte Energie länger als nur einige Stunden oder gar nur einige Minuten zu halten.

Das Problem der Tiefentladung gewinnt vor allem bei Anwendungen in der Photovoltaik an Bedeutung, denn hier werden als Energiespeicher mit Vorliebe Bleiakkus verwendet, die nur bei Sonnenschein geladen werden. Um die Anlagenbleibatterien vor einer zu tiefen Entladung zu schützen, werden nach Abb. 3.10

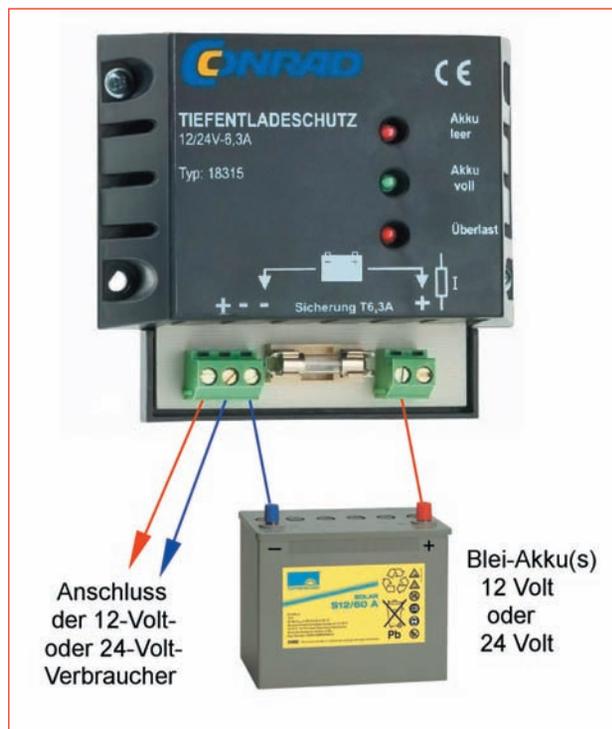


Abb. 3.10 – Ein Tiefentladeschutz-Gerät schützt einen Bleiakku vor zu tiefer Entladung (Foto: Conrad Electronic).

zwischen die Batterie und die elektrischen Verbraucher spezielle *Tiefentladeschutz-Geräte* geschaltet, die als handelsübliches Solartechnikzubehör erhältlich sind. Ein solcher Tiefentladeschutz ist so ausgelegt, dass er die über ihn angeschlossenen elektrischen Verbraucher abschaltet, sobald die Spannung einer 12-Volt-Bleibatterie auf die sogenannte *Tiefentladeabschaltspannung* von ca. 10,5 bis 11,1 V (typenbezogen) gesunken ist. Er schaltet diese Verbraucher erst dann wieder ein, nachdem die Batteriespannung auf eine *Tiefentladerückschaltspannung* von z. B. 12,6 Volt gestiegen ist. Der Spannungszwischenraum (die sogenannte *Hyste-*

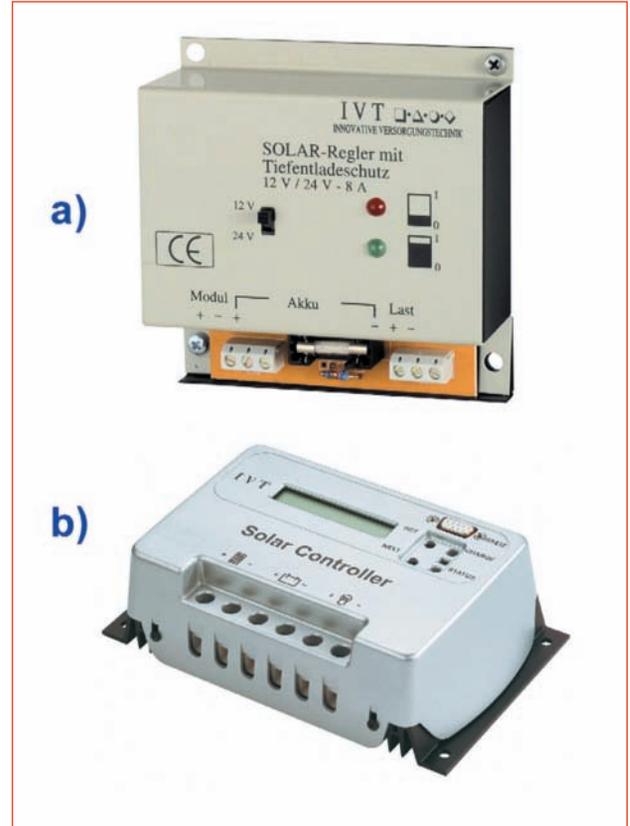
## 3.4 Tiefentladung

rese des Tiefentladeschutz-Geräts) muss gezielt etwas größer gehalten werden, da andernfalls der Tiefentladeschutz ständig hin- und herschalten würde. Dies würde geschehen, weil die Batteriespannung nach dem Abschalten der Verbraucher automatisch etwas ansteigt.

Tiefentladeschutz-Geräte sind meist für den Schutz von 12- oder 24-Volt-Bleibatterien ausgelegt. Sie sind oft als Universalgeräte wahlweise zwischen 12 und 24 Volt umschaltbar. Bei einigen dieser Geräte sind bereits herstellenseitig die Tiefentladeabschalt- und -rückschaltspannung fest eingestellt, bei anderen Geräten kann der Anwender diese Schwellen selbst einstellen und auf seine Batterie abstimmen. Dies setzt allerdings voraus, dass dem Anwender bekannt ist, bei welcher Spannung die Tiefentladeschwelle seiner Batterie laut Hersteller exakt liegt. Einige Geräte, die speziell für Batteriebetrieb oder für eine solarelektrische Gleichstromversorgung ausgelegt sind (z. B. elektrische Solar-Garagentorantriebe oder Solarkühlschränke) verfügen bereits über einen eingebauten Tiefentladeschutz.

Für Anwendungen in der Photovoltaik ist der Tiefentladeschutz wahlweise als ein separates Gerät (Abb. 3.12a) oder als ein im Laderegler integriertes Gerät (Abb. 3.12b) erhältlich. Die zweite Lösung ist kostengünstiger, da der Tiefentladeschutz quasi als „Untermieter“ in dem Gehäuse des Ladereglers untergebracht ist. Bei den Bleibatterien von Kraftfahrzeugen darf allerdings aus Gründen der Verkehrssicherheit kein Tiefentladeschutz angewendet werden.

Achten Sie bitte bei der Verwendung eines Tiefentladeschutz-Gerätes auf den maximalen Strom, der laut seiner technischen Daten über ihn bezogen werden darf. Möchten Sie über das Tiefentladeschutz-Gerät einen Wechselrichter anschließen, ist seine Abnahmelistung – und somit seine Stromabnahme – zu berücksichtigen. Finden Sie in den technischen Unterlagen

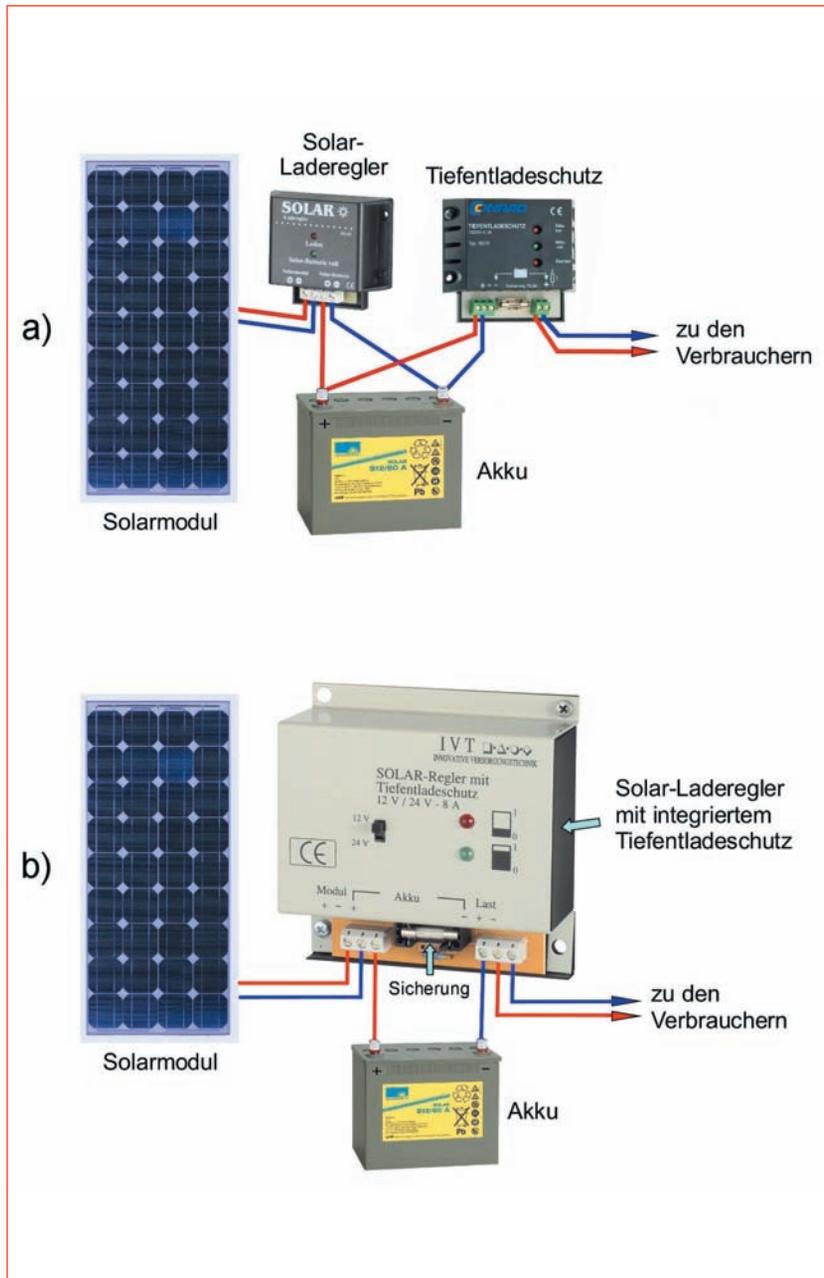


**Abb. 3.11** – Für Photovoltaikanlagen werden bevorzugt Laderegler verwendet, in denen schon ein Tiefentladeschutz eingebaut ist (Foto/Anbieter: Conrad Electronic).

eines Wechselrichters keine Angabe über seinen Strombedarf bei max. Leistung, können Sie ihn von seiner „maximalen Ausgangsleistung“ nach folgendem Beispiel ausreichend genau ausrechnen:

Bei Akkuwerkzeugen oder elektronischen Geräten mit NiCd-Akkus sollte das vom Hersteller empfohlene regelmäßige Tiefentladen der Akkus nicht außer Acht gelassen werden. Das ist jedoch in der Praxis für den Anwender kaum zumutbar. Nehmen wir als Beispiel

## 3.4 Tiefentladung



einen Akkuschauber, der vielleicht nur einmal im Jahr verwendet wird. Den Akku eines solchen Gelegenheitswerkzeugs sollte man regelmäßig einmal in drei Monaten entladen und neu aufladen. Das Gleiche gilt für diverse Haushaltsgeräte, Küchengeräte, Notebooks usw. Abgesehen von dem Kontrollaufwand verfügen viele Geräte über ein internes oder als Gerätezubehör mitgeliefertes Billigladergerät, das oft technisch bedingt gar nicht fähig ist, die Akkus wirklich voll aufzuladen (darauf kommen wir noch in Kapitel 13 zurück). Demzufolge setzt sich bei Geräten mit NiCd-Akkus der Memory-Effekt durch: Die Kapazität der Akkus sinkt und ihre Selbstentladung steigt.

**Abb. 3.12** – Bei einer netzunabhängigen Photovoltaikanlage, die eine Bleibatterie als Energiespeicher verwendet, wird der Tiefentladeschutz entweder als ein separates oder als ein im Laderegler integriertes Gerät angewendet: **a)** Schaltung einer Photovoltaikanlage mit einem separaten Tiefentladeschutz; **b)** Schaltung einer Photovoltaikanlage mit einem im Laderegler integrierten Tiefentladeschutz.

## 3.4 Tiefentladung

### Beispiel

Ein 300-Watt-Wechselrichter „12 V DC / 230 V AC“ soll an ein Tiefentladeschutz-Gerät angeschlossen werden, das für einen max. Strom von 16 A ausgelegt ist und ausgangsseitig an eine 12-Volt-Anlagenbatterie angeschlossen ist. Die „Abnahmeleistung“ dieses Wechselrichters dürfte bei seiner vollen Belastung um ca. 10 % höher sein als seine theoretische Abgabeleistung (von 300 Watt). Der Wechselrichter könnte demzufolge eingangsseitig eine Leistung von bis zu etwa 330 Watt aus dem Anlagen-Akku (über das Tiefentladeschutz-Gerät) beziehen. Nun sehen wir uns an, welchen Strom der Wechselrichter an seiner „12-Volt-Eingangsseite“ bei voller Belastung beziehen wird:

$$330 \text{ Watt} : 12 \text{ Volt} = 27,5 \text{ A}$$

### Fazit

Das Tiefentladeschutz-Gerät – bzw. seine interne Sicherung und der Schaltkontakt seines Relais – können diese Strombelastung nicht verkraften, wenn der angeschlossene Verbraucher die volle Leistung von ca. 330 Watt beansprucht.

Jetzt können wir uns noch ansehen, welche „ausgangsseitige (230 V~)“ Leistung vom Wechselrichter maximal bezogen werden dürfte, um den 16-A-Tiefentladeschutz nicht zu überfordern:

$$12 \text{ V (Batteriespannung)} \times 16 \text{ A} = 192 \text{ Watt}$$

Ziehen wir von diesen 192 Watt etwa 19 Watt für interne Verluste im Wechselrichter ab, bleiben 173 Watt als maximale Leistung übrig, die über den Wechselrichter höchstens bezogen werden darf.

### Hinweis

Wird an einer Anlagenbatterie gelegentlich ein Wechselrichter betrieben, dessen Stromabnahme das Tiefentladeschutz-Gerät nicht verkraften würde, kann der Wechselrichter auch direkt an die Anlagenbatterie angeschlossen werden, wenn dabei die Spannung der Anlagenbatterie mit einem Voltmeter überwacht wird, um einer zu tiefen Entladung vorbeugen zu können.

### Abhilfe

Bei Geräten und Werkzeugen, in denen sich die ausgedienten NiCd-Akkus austauschen lassen, können an ihre Stelle neue NiMH-Akkus eingesetzt werden. NiMH-Akkus leiden nicht unter dem Memory-Effekt, sind pflegeleicht, strapazierfähig und zudem auch noch umweltfreundlich. Sie beinhalten fast keine giftigen Stoffe und verseuchen bei der Entsorgung nicht die Umwelt. Bei der Anschaffung neuer Akkugeräte und Akkuwerkzeuge sollte darauf geachtet werden, dass sie mit NiMH- und *nicht* mit NiCd-Akkus ausgelegt sind, denn das garantiert eine längere Nutzungsdauer. Das Gleiche gilt auch für die modernen Li-Ion-Akkus, die gegenwärtig zunehmend auch in Akkuwerkzeugen auffindbar sind. Die Li-Ion-Akkus weisen eine höhere Kapazität pro Gramm Körpergewicht auf und sind daher ausgesprochen benutzerfreundlich. Auch bei den NiMH-, Li-Polymer- und Li-Ion-Akkus hängt zwar von ihrer Qualität sowie auch von der Qualität des dazugehörenden Ladegeräts ab, wie gut und wie lange sie tatsächlich ihr Dasein fristen können, aber generell lohnt es sich, ihnen Vorrang vor den NiCd-Akkus zu geben. Sie dürfen, ähnlich wie die NiCd-Akkus, problemlos tiefentladen werden. Eine regelmäßige Tiefentladung ist jedoch bei diesen Akkus nicht erforderlich, da sie keinen Memory-Effekt haben. Auf weitere Vorteile der NiMH- und Li-Ion-Akkus kommen wir noch zurück.

## 4 Nicht wiederaufladbare (Einweg-)Batterien

**N**icht wiederaufladbare Batterien, die als Einwegbatterien, Primärzellen oder Wegwerfbatterien bezeichnet werden, brauchen wir überwiegend für die Stromversorgung von Kleingeräten, die nur gelegentlich betrieben werden oder bei denen der Stromverbrauch niedrig ist.

Eine Auflistung der unterschiedlichen Eigenheiten dieser Batterien haben wir bereits in Tabelle 2.2 (Seite 15) aufgeführt.

Als Speicher elektrischer Energie sind Einwegbatterien teuer und bei ihrer Herstellung wird mindestens das Hundertfache der Energie verbraucht, die letztend-

lich aus ihnen bezogen werden kann. Für die aus den Batterien bezogene Energie zahlt der Anwender ebenfalls stolze Beträge. Eine Kilowattstunde Strom aus dem öffentlichen Netz kostet zurzeit etwa 18 bis 20 Cent, für die gleiche Energiemenge benötigt man etwa 500 bis 600 Einweg-Alkalibatterien der Größe Mignon. So gesehen sind Einwegbatterien zu teure Energiespeicher, die nach Möglichkeit durch kostengünstigere und umweltfreundlichere Energiequellen ersetzt werden sollten. Geräte, die relativ viel Strom verbrauchen und bei denen ein Netzanschluss die Anwendung nicht unzumutbar einschränkt, sollten mit einem solchen aus-

## 4 Nicht wiederaufladbare (Einweg-)Batterien

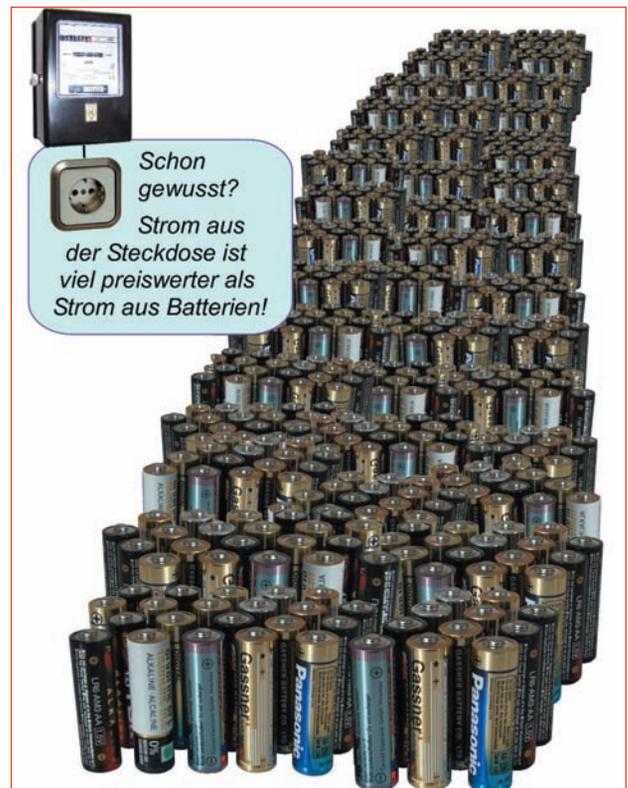
gestattet sein. Manche der elektronischen Geräte werden oft nur deshalb für den Batteriebetrieb ausgelegt, weil sich dadurch der Herstellungspreis drücken lässt. Bei anderen Geräten gehen die Hersteller davon aus, dass es von den Kunden gewünscht wird. Das kann unter Umständen auch berechtigt sein. Wenn ein Gerät aber z. B. im Wohnbereich auf einem Möbelstück steht, in dessen Nähe sich ohnehin eine Steckdose befindet, ist Batteriebetrieb nicht erforderlich. Ein Netzbetrieb ist in dem Fall nicht nur kostengünstiger, sondern auch wartungsfrei. Auch eine solarelektrische Stromversorgung wäre hier zu empfehlen.

Ist in manchen Situationen Batteriebetrieb erforderlich, sollte man darauf achten, dass die angebotenen Geräte für wiederaufladbare Batterien geeignet sind (deren Spannung nicht 1,5 V, sondern nur 1,2 V beträgt). Ist dies problemlos möglich, findet sich dieser Hinweis bereits auf der Verpackung des angebotenen Produkts. Eine technisch sinnvolle Alternative zu Einwegbatterien sind die beschränkt wiederaufladbaren 1,5-Volt-Alkaline-Batterien (siehe Tabelle 2.3 auf Seite 16). Sie können bis zu etwa 20-mal voll oder bis zu 100-mal „sanft“ nachgeladen werden und sind baugleich mit den Einwegbatterien. Der einzige Nachteil dieser Batterien besteht in ihrem relativ hohen Preis. Sie eignen sich daher überwiegend für Einsätze in Geräten, bei denen Einwegbatterien laufend erneuert werden müssen.

Technisch eleganter und zudem noch umweltfreundlicher ist die Anwendung guter solarelektrischer Antriebe. Viele der herkömmlichen solarbetriebenen Produkte sind allerdings qualitativ noch minderwertig oder stellen besondere Ansprüche an die Pflege: Solararmbanduhren, die nur selten so getragen werden können, dass sie von der Sonne belichtet werden, bleiben stehen, es sei denn, man legt sie z. B. am Fenster ab. Solarleuchten, die als Gartenleuchten abends automatisch die Gartenwege erhellen sollten, funktionieren

nur an Abenden sonniger Tage usw. Solarbetriebene Taschenrechner haben sich hingegen erfolgreich durchgesetzt und funktionieren meist hervorragend.

Sie werden in diesem Buch noch diverse Beispiele und einfache Bauanleitungen finden, die Ihnen zeigen, wie sich einige Geräte, die für Stromversorgung mit Einwegbatterien ausgelegt sind, mit einfachen Netzteilen oder Solarzellen nachrüsten lassen.



**Abb. 4.1** – Schon gewusst? Um beispielsweise aus Mignon-(AA-)Batterien eine elektrische Leistung einer einzigen Kilowattstunde beziehen zu können, würden bis zu etwa 600 Stück solcher Batterien benötigt (Eine Kilowattstunde, die man aus dem öffentlichen elektrischen Netz bezieht, kostet momentan etwa 18 bis 20 Cent).

## 5 Knopfzellen

Im Gegensatz zu den universell einsetzbaren Standardbatterien und Akkus gibt es bei den Knopfzellen zahlreiche Typen mit unterschiedlichen Abmessungen, Nennspannungen und Kapazitäten. Zudem ist auch die chemische Zusammensetzung der Knopfzellen typenbezogen unterschiedlich. Wie bereits in

Alkaline Knopfzellen 			
Typ	Spannung	Kapazität	Abm. $\phi \times H$ (mm)
V 76 PX	1,55 V	145 mAh	11,6 x 5,4
V 625 U	1,5 V	200 mAh	11,6 x 5,9

**Tabelle 5.1** – Alkaline Knopfzellen (Auszug aus dem Katalog von Conrad Electronic).

## 5 Knopfzellen

**Knopfzelle "Silberoxid", Spannung 1,5 V**

Typ	Kapazität	Abm. $\phi \times H$ (mm)
301	120 mAh	11,6 x 4,2
309	80 mAh	7,9 x 5,4
317	12 mAh	5,8 x 1,6
319	21 mAh	5,8 x 2,7
321	14,5 mAh	6,8 x 1,6
329	40 mAh	7,9 x 3,1
357	190 mAh	11,6 x 5,4
362	23 mAh	7,9 x 2,1
364	20 mAh	6,8 x 2,15
366	40 mAh	11,5 x 1,65
370	38 mAh	9,5 x 2,1
371	38 mAh	9,5 x 2,1
373	29 mAh	9,5 x 1,65
377	28 mAh	6,8 x 2,6
379	16 mAh	5,8 x 2,1
381	50 mAh	11,6 x 2,1
384	45 mAh	7,9 x 3,6
386	130 mAh	11,6 x 4,2
389	80 mAh	11,6 x 3,1
390	80 mAh	11,6 x 3,1
391	50 mAh	11,6 x 2,1
392	45 mAh	7,9 x 3,6
393	80 mAh	7,9 x 5,4
394	84 mAh	9,5 x 3,6
395	55 mAh	9,5 x 2,6
396	32 mAh	7,9 x 2,6
397	32 mAh	7,9 x 2,6
399	55 mAh	9,5 x 2,6

**Table 5.2** – Knopfzellen Silberoxid (Auszug aus dem Katalog von Conrad Electronic).

Kapitel 2 kurz angesprochen wurde, werden die meisten Knopfzellen als Alkaline, Silberoxid-, Lithium-Zink-Luft-, Ni-CD- oder NiMH-Knopfzellen gefertigt. Ein konkretes Beispiel der Knopfzellenvielfalt zeigen die Tabellen 5.1 bis 5.5, in der die gängigsten handelsüblichen Knopfzellen aufgelistet sind.

**Lithium-Knopfzellen  
Spannung 3 V**

Typ	Kapazität	Abm. $\phi \times H$ (mm)
CR 1216	25 mAh	12 x 1,6
CR 1220	38 mAh	12 x 2
CR 1225	48 mAh	12 x 2,5
CR 1616	50 mAh	16 x 1,6
CR 1620	68 mAh	16 x 2
CR 1632	125 mAh	16 x 3,2
CR 2016	80 mAh	20 x 1,6
CR 2025	170 mAh	20 x 2,5
CR 2032	235 mAh	20 x 3,2
CR 2320	150 mAh	23 x 2
CR 2325	190 mAh	23 x 2,5
CR 2430	285 mAh	24,7 x 3
CR 2450N	540 mAh	24,7 x 5
CR 2477N	950 mAh	24,7 x 7,7
CR 1025	30 mAh	10 x 2,5

**Table 5.3** – Lithium-Knopfzellen (Auszug aus dem Katalog von Conrad Electronic).

## 5 Knopfzellen

Taschenrechner-Knopfzellen Spannung: 1,5 V		
Typ	Kapazität	Abm. $\phi \times H$ (mm)
LR 43	73 mAh	11,6 x 4,2
LR 44	105 mAh	11,6 x 5,4

**Tabelle 5.4** – Alkali-Mangan-Knopfzellen für Taschenrechner (Auszug aus dem Katalog von Conrad Electronic).

Knopfzellen werden in unterschiedlichen Abmessungen und unterschiedlichen Kapazitäten gefertigt. Jeder Hersteller bezeichnet seine Knopfzellen-Type nach eigenem Ermessen anders, was für den Kunden eher nachteilig ist. Wenn Sie ausgediente Knopfzellen nicht durch exakt dieselbe Type ersetzen können, hilft Ihnen eine Vergleichstabelle (Tabelle 5.6) weiter.

Die meisten Knopfzellen sind als *nicht wiederaufladbare* Einwegbatterien ausgelegt. In Hinsicht auf ihre Anwendung unterscheiden sie sich von den vorher beschriebenen Einwegbatterien vor allem dadurch, dass sie in kleinen Geräten eingesetzt werden, die einen sehr niedrigen Stromverbrauch haben. Man könnte diese Formulierung auch umdrehen: Die Hersteller von Kleingeräten, die mit Knopfzellen betrieben werden, müssen den Energieverbrauch ihrer Produkte niedrig halten, um die Ware vermarkten zu können.

Ein gutes Beispiel liefert eine Funkarmbanduhr, in der eine einzige winzige Knopfzelle drei Jahre lang zahlreiche elektronische Schaltungen mit Strom versorgen kann: Sie betreut den Funkempfänger, der stark genug sein muss, um die Signale des Funksenders aus Braunschweig in kurzen Zeitabständen zu empfangen, sie gibt jede Sekunde einen Spannungsimpuls an den elektromagnetischen Antrieb des Zeigers und sie stellt die Uhr auf die exakte Zeit ein, auch bei der Umstellung von Sommer- auf Winterzeit und zurück. Neben dem

Zink-Luft-Knopfzellen für Hörgeräte Spannung: 1,4 V		
Typ	Kapazität	Abm. $\phi \times H$ (mm)
ZA 312	175 mAh	7,9 x 3,6
ZA 13	305 mAh	7,9 x 5,4
ZA 10	95 mAh	5,9 x 3,6
ZA 675	610 mAh	11,6 x 5,4

**Tabelle 5.5** – Zink-Luft-Knopfzellen für Hörgeräte (Auszug aus dem Katalog von Conrad Electronic).

eigentlichen Antriebssystem der Uhrzeiger betreut in einer Funkarmbanduhr die Knopfzelle die interne Elektronik des Funkempfängers, der im Vergleich zum Stand-by-Betrieb eines Fernsehers erheblich mehr leisten muss.

Interessant an solchen perfekt entwickelten Systemen ist, dass eine Knopfzelle, die nicht nur die eigentliche Uhr, sondern auch ihren Stand-by-Betrieb mit Strom versorgt, nur eine bescheidene Kapazität von ca. 80 bis 120 mAh bei einer Nennspannung von 1,5 Volt hat. Umgerechnet auf Kilowattstunden ergibt der Energieinhalt einer 120-mAh-/1,5-V-Knopfzelle 0,0018 Kilowattstunden (kWh), die innerhalb von ca. 3 Jahren verbraucht werden. Das ergibt einen Energieverbrauch von 0,0006 kWh pro Jahr.

Würden in unseren Fernsehern und anderen Geräten die Stand-by-Schaltungen ähnlich sparsam arbeiten, würde der Stand-by-Betrieb pro Gerät nur ca. 0,0006 kWh im Jahr betragen. Bei einem Preis von 20 Cent pro kWh würden Stromkosten eines Geräte-stand-by nur bei etwa 0,012 Cent im Jahr liegen. Für einen einzigen Cent Stromkosten pro Jahr könnten wir also in unserem Haushalt etwa 83 Geräte im Stand-by-Betrieb ununterbrochen eingeschaltet lassen.

## Vergleichstabelle von 1,5-Volt-Knopfzellen

RENATA	RAYOVAC	DURACELL	VARTA	MAXWELL	SEIKO	Abm. $\phi \times H$ (mm)
301	301	D301	V301	SR43SW	SB-A8	11,6 x 4,2
303	303	--	V303	SR44SW	SB-A9	11,6 x 5,4
309	309	D309	V309	SR754SW	--	7,9 x 5,4
315	315	D315	V315	SR716SW	SB-AT	7,9 x 1,65
317	317	D317	V317	SR516SW	SB-AR	5,8 x 1,6
319	319	D319	V319	SR527SW	SBAE/DE	5,8 x 2,7
321	321	D321	V321	SR616SW	SBAE/DF	6,8 x 1,6
329	329	D329	V329	SR731SW	--	7,9 x 3,1
335	335	--	--	SR512SW	SB-AW	5,8 x 1,25
341	341	--	V341	SR714SW	--	7,9 x 1,45
344	344	D344	V344	SR1136SW	--	11,6 x 3,6
346	346	--	V346	SR712SW	SB-DH	7,9 x 1,25
350	350	D350	V350	--	--	11,6 x 3,6
357	357	D357	V357	SR44W	SB-B9	11,6 x 5,4
361	361	--	V361	SR721W	SB-BK/EK	7,9 x 2,1
362	362	D362	V362	SR721SW	SB-AK/DK	7,9 x 2,1
364	364	D364	V364	SR621SW	SBAG-DG	6,8 x 2,15
366	366	--	V366	SR1116SW	--	11,5 x 1,65
370	370	D370	V370	SR920W	SB-BN	9,5 x 2,1
371	RW 315	D371	V371	SR920SW	SB-AN	9,5 x 2,1
373	373	D373	V373	SR916SW	SBAJ-DJ	9,5 x 1,65
376	376	--	--	SR626W	--	6,8 x 2,6
377	377	D377	V377	SR626SW	SB-AW	6,8 x 2,6
379	379	D379	V379	SR521SW	SBAC-DC	5,8 x 2,1
381	381	D381	V381	SR1120SW	SBAS-DS	11,6 x 2,1
384	384	D384	V384	SR41SW	SBA1-D1	7,9 x 3,6
386	386	D386	V386	SR43W	SB-B8	11,6 x 4,2
389	389	D389	V389	SR1130W	SB-BU	11,6 x 3,1
390	390	D390	V390	SR1130SW	SB-AU	11,6 x 3,0
391	391	D391	V391	SR1120W	SB-BS/ES	11,6 x 2,1
392	392	D392	V392	SR41W	SB-B1	7,9 x 3,6
393	393	D393	V393	SR754W	SB-B3	7,9 x 5,4
394	394	D394	V394	SR936SW	SB-A4	9,5 x 3,6
395	395	D395	V395	SR927SW	SBAP-DP	9,5 x 2,6
396	396	D396	V396	SR726W	SB-BL	7,9 x 2,6
397	397	D397	V397	SR726SW	SB-AL	7,9 x 2,6
399	399	D399	V399	SR927W	SB-BP/EP	9,5 x 2,6
RW 84	RW 84	LR 43	V12GA	LR 43	--	11,6 x 4,2
RW 82	RW 82	LR 44	V13GA	LR 44	--	11,6 x 5,4

Tabelle 5.6 – Knopfzellen-Vergleichstabelle.

## 5 Knopfzellen

Dieser Vergleich zeigt uns die Unterschiede beim Energieverbrauch verschiedener Geräte und weist gleichzeitig darauf hin, dass Energieeinsparungen seitens der Hersteller gezielt nur dort angestrebt werden, wo es verkaufsfördernd ist. Würde die Stand-by-Elektronik einer Armbanduhr einen ähnlichen Stromverbrauch haben wie die eines Fernsehers, müsste ihre Knopfzelle alle paar Minuten erneuert werden. Eine solche Uhr würde niemand kaufen. Bei einem Fernsehgerät, wie auch bei anderen netzbetriebenen Geräten der Unterhaltungselektronik, werden die oft hemmungslos stromfressenden Stand-by-Betriebe zwar kritisiert, aber durch Unwissenheit dennoch in Kauf genommen.

Glücklicherweise gibt es unter den Geräten, die mit Knopfzellen betrieben werden, kaum solche, die nicht bereits herstellenseitig ausgesprochen energiesparend konzipiert sind. Somit sind Geräte, die ihre Stromversorgung aus Knopfzellen beziehen, energiesparende Vorreiter. Dies trifft bedauerlicher-



**Abb. 5.1** – Wer feuchte Hände hat, sollte eine Knopfzelle nicht wie abgebildet mit den Fingern halten: Wird die Zelle mit zwei Fingern einer Hand kurzgeschlossen, wirkt es wie der Anschluss eines Verbrauchers, der die Zelle entlädt.

weise nicht in demselben Maß auf Geräte zu, die ihre Stromversorgung aus Einwegbatterien oder Akkus beziehen, ist aber produktabhängig unterschiedlich.

Knopfzellen werden zum Teil auch als *wiederaufladbare* NiCd-,

NiMH- oder Li-Ion-Zellen gefertigt. Hinsichtlich ihrer Abmessungen und Formen sind sie nicht oder nur bedingt als Ersatz für Einwegknopfzellen geeignet. Sie können aber vorteilhaft z. B. im Modellbau oder beim Selbstbau von Kleingeräten

## 5 Knopfzellen

angewendet werden. Geladen werden können diese Zellen im Allgemeinen mit einem Gleichstrom, der 10 % der Zellennennkapazität nicht überschreitet. Auf eventuelle Hinweise der Hersteller ist jedoch zu achten.

Zum Messen der Höhe einer Knopfzelle mit einem Messschieber (Schieblehre) muss man einen der Pole mit einer Kunststoffolie schützen, um einen Kurzschluss zu vermeiden. Die Dicke der Kunststoffolie kann anschließend mit dem Messschieber ermittelt und vom vorhergehenden Messergebnis abgezogen werden.

Im Zusammenhang mit der Stromversorgung von diversen Kleingeräten – darunter auch kleine Selbstbau-Geräte und -Vorrichtungen – wäre auf die Lithium-Knopfzellenakkus hinzuweisen, die als wiederaufladbare „Energiespeicher“ der neuen Generation in diversen Baugrößen und Kapazitäten erhältlich sind (siehe auch Tabelle 3.1 auf S. 22). Geladen werden können diese Knopfzellen z. B. auch solar elektrisch nach Abb. 5.2. Die Zenerdiode in Kombination mit einer beliebigen, aber auf ca. 0,3 Volt-Sperrspannung vorselektierten Schottky-Diode hält die Solar-Ladespannung unterhalb der eingezeichneten 4,3 Volt. Der Ladestrom sollte vorsichtshalber ca. 10 % der

### Zu beachten

Da in einer Knopfzelle nur sehr wenig elektrische Energie gespeichert ist, sollte man sie nicht mit feuchten Fingern halten (siehe Abb. 5.1), da sie sich sonst über die Hand teilweise entladen kann. Bei trockenen Fingern beträgt der Widerstand zwischen den beiden Fingern meist mehr als 100 k $\Omega$ . Würde dann eine Knopfzelle etwa z. B. zwei Minuten lang nach Abb. 5.1 gehalten werden, entlüde sie sich schlimmstenfalls nur um etwa 0,00004 mAh (0,000015 A  $\times$  0,03 Std. = 0,00004 mAh). Das ist sogar bei einer der kleinsten Uhren-Knopfzellen von 12 mAh ein unbedeutender Verlust an Kapazität.

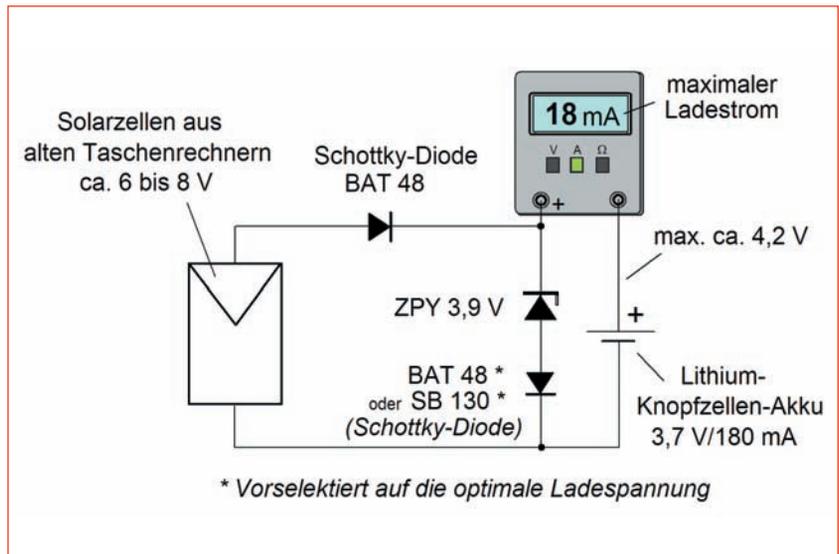


Abb. 5.2 – Solarelektrisches Laden eines Lithium-Knopfzellenakkus

jeweiligen Zellen-Kapazität nicht überschreiten und mit einem Milliampere-meter kontrolliert werden. Er wird allerdings bei der in unseren

Beispielen angegebenen Ladespannung automatisch während des Nachladens der Knopfzelle bis auf Null sinken.

## 6 Wiederaufladbare Akkus und Batterien

## 6 Wiederaufladbare Akkus und Batterien

Wir haben bereits in Kapitel 2 allgemeine Informationen über wiederaufladbare Akkus und Batterien gegeben und dabei u. a. erläutert, weshalb man diese Energiespeicher mal als *Akkus* und dann wieder als *Batterien* bezeichnet. Oft werden die Bezeichnungen *Akkus* und *Batterien* miteinander vermischt. Wir könnten zwar in diesem Kapitel auf die Bezeichnung *Batterie* ganz verzichten und alle wiederaufladbaren Energiespeicher einfach nur als *Akkus* bezeichnen. Das wird aber die irritieren, die das Buch nur auszugsweise lesen. Also bleiben wir bei diesen beiden Bezeichnungen, wo es zweckmäßig erscheint.

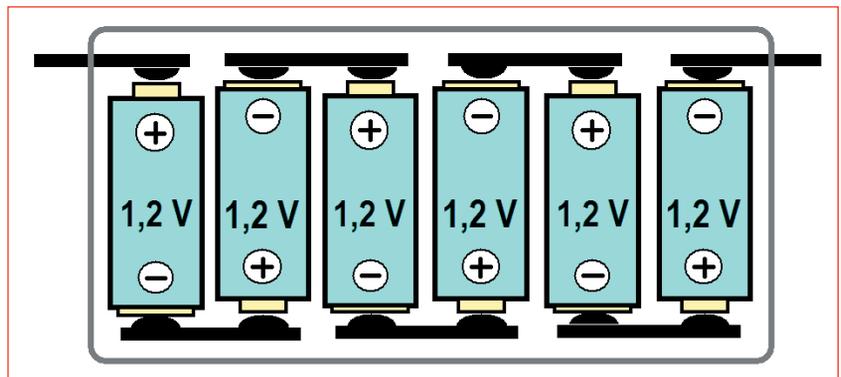
Wiederaufladbare Akkus sind in letzter Zeit in vielen Kleingeräten nicht mehr als universale Kleinakkus, sondern rein produktspezifisch ausgelegt. Sie können nur durch die gleichen speziellen Akkus ersetzt und zudem meist nur mit Ladegeräten geladen werden, die mit dem Gerät bereits mitgeliefert wurden. Diese Akkus weisen überwiegend eine *hohe Speicherdichte* auf. Sie können also bei kleinen Abmessungen viel Energie speichern. Hier muss es den Anwender nicht interessieren, wie der Akku konzipiert ist, über welche Eigenheiten er verfügt und welche speziellen Ansprüche er an das Laden/Nachladen stellt. An-

ders ist es bei Akkus, die z. B. als universale Rundakkus marken- und typenunabhängig austauschbar sind. Hier ist es gut zu wissen, worin sich die verschiedenen Akkus unterscheiden, was sie leisten und wie sie am besten geladen und gepflegt werden sollten.

In der Tabelle 2.5 (auf Seite 17) sind die Eigenschaften verschiedener Typen handelsüblicher Akkus (Sekundärzellen) aufgeführt. Aus der Tabelle geht hervor, dass die Nennspannungen der *Sekundärzellen* typenbezogen einheitlich sind. Einheitlich – und identisch – sind auch die Standardabmessungen der gängigsten NiCd- und NiMH-Akkus, die daher untereinander auswechselbar sind. In der Praxis werden ausgediente NiCd-Akkus bevorzugt durch baugleiche NiMH-Akkus ersetzt. Abgesehen

davon, dass die NiMH-Akkus nicht mehr den unangenehmen Memory-Effekt der NiCd-Akkus haben, sind sie auch frei von Giften und somit umweltfreundlich in Bezug auf ihre Entsorgung. Ansonsten weisen sie, im Vergleich mit den NiCd-Akkus, keine technischen Nachteile auf und sind sogar strapazierfähiger beim Nachladen.

Akkus der gleichen Ausführung und Größe können jedoch – wie Tabelle 3.2 (auf Seite 26) zeigt unterschiedliche Kapazitäten aufweisen, was sich auf den Preis niederschlägt. Die Selbstentladung wird in gängigen Datenblättern der Anbieter weder bei NiCd noch bei NiMH-Akkus aufgeführt und so bleibt dem Anwender meist nichts anderes übrig, als von etwa 30 % auszugehen. Da sich die in Prozent angegebene Selbstentladung nor-



**Abb. 6.1** – Akkus, die in einer Reihe zu einer *Batterie* zusammengesetzt werden, sollten bevorzugt für die gleiche Nennkapazität ausgelegt sein.

## 6 Wiederaufladbare Akkus und Batterien



**Abb. 6.2** – Bei den Kauf eines Akkus ist auf seine Type und seine Kapazität zu achten (Foto: Reichelt Elektronik).

malerweise auf die Zeitspanne von einem Monat bezieht, bedeutet es, dass ein Akku bei einer Selbstentladung von 30 % innerhalb von ca. drei Monaten fast leer ist, auch wenn aus ihm keine Energie bezogen wird. Dies geschieht ohne Rücksicht auf die eigentliche Kapazität. Falls solche Akkus in einem Gerät eingesetzt werden, in dem sie jeweils nur sehr kurz oder nur gelegentlich niedrigeren Strom liefern, müssen sie nicht zwingend für eine hohe Kapazität ausgelegt

sein. Der energetische Vorrat wird, da ohnehin nicht voll genutzt, nur von dem Akku durch Selbstentladung intern verbraucht.

Anders ist das natürlich bei Verwendung der Akkus für Geräte, die viel Strom benötigen und bei denen häufiges Nachladen unerwünscht ist. Hier kann man sich dann unter den Angeboten die Akkus mit der passenden Kapazität aussuchen.

Werden mehrere Akkus nach dem Beispiel aus Abb. 6.1 in Reihe zusammengesetzt, sollten hierzu bevorzugt Akkus derselben Type und mit der gleichen Kapazität verwendet werden. Andernfalls wird nur der Akku mit der niedrigsten Kapazität für die Kapazität der ganzen „Batterie“ bestimmend sein, da auch hier das Prinzip des schwächsten Glieds einer Kette gilt.

Sowohl NiCd- als auch NiMH-Akkus sind nicht nur in den universalen Standardabmessungen, sondern auch in Sondermaßen erhältlich. Dazu gehören z. B. *Sub-C-Einzelnzellen* für den Modellbau oder *Akkupacks*



**Abb. 6.3** – Die Spannungen und die Kapazitäten spezieller Akkupacks sind sehr unterschiedlich. Sie setzen sich bei NiCd- und NiMH-Akkus aus den 1,2-Volt-Spannungen der Einzelzellen zusammen.

## 6 Wiederaufladbare Akkus und Batterien

(Abb. 6.3) in verschiedensten Ausführungen. Die Nennspannungen der Akkupacks bauen sich in Schritten von 1,2 Volt (meist zwischen ca. 4,8 und 14,4 V) auf, die Kapazitäten hängen von denen der Einzelzellen ab.

Eine besondere Gattung spezieller kompakter Akkupacks wird gerne bei Akkuwerkzeugen oder Haushaltsgeräten verwendet: Der Akkupack ist als separates Teil des Gehäuses ausgelegt. Der Nachteil eines solchen Akkupacks ist, dass ein einfaches Ersetzen der Akkus eventuell nicht möglich ist. Es muss meist der ganze Pack samt Gehäuse neu gekauft werden – sofern er noch erhältlich ist.

In Akkupacks, die aus mehreren NiCd- oder NiMH-Einzelzellen bestehen, können bei etwas Handfertigkeit die ausgedienten Akkus durch neue Akkus ersetzt werden. Zu diesem Zweck eignen sich am besten einzelne Akkus mit Lötflähen. Sie lassen sich leicht nach Bedarf anordnen und in Reihe verlöten. Problemlos lässt sich ein solches Anliegen vor allem dann bewältigen, wenn die Akku-Packs aus wenigen Zellen bestehen. Schwieriger und teurer wird es dagegen, wenn der Akku-Pack aus zu vielen Einzelzellen besteht.

Wenn die Akkus eines noch intakten Werkzeugs ihren Dienst endgültig verweigern und eine Neuan-



**Abb. 6.4** – Ein Akkuschrauber, der seine Stromversorgung aus einem Li-Ion-Akku bezieht, ist auch nach einer längeren Ruhepause einsatzbereit (Foto: Westfalia).

## 6 Wiederaufladbare Akkus und Batterien

schaffung nicht mehr möglich ist oder unrentabel wäre, kann das Werkzeug für einen Netzbetrieb modifiziert werden. Die Akkus werden dann durch ein externes Netzteil mit der benötigten Ausgangsgleichspannung ersetzt (näheres zu diesem Thema finden Sie ab Seite 121).

Die weniger bekannten *Lithium-Ionen-Akkus* (Li-Ion-Akkus) setzten sich zunehmend vor allem bei kleineren Geräten durch, bei denen Energiespeicher mit kleinen Abmessungen, niedrigem Gewicht und möglichst hoher Kapazität (hoher Energiedichte) erwünscht sind. Die Nennspannung dieser Akkus beträgt typenbezogen meist 3,6 bis 3,7 Volt. Auch diese Akkus werden zu *Netzpacks* assembliert, deren Spannungen dann oft zwischen ca. 7,2 Volt (Kamera-Akkus) und

14,8 Volt (Notebook-Akkus) liegen. Zu den wichtigen Vorteilen dieser Akkus gehört auch ihre niedrige Selbstentladung. Sie beträgt typenabhängig nur etwa 1 bis 5 % (pro Monat). Ein solcher Akku entlädt sich bei längerem Lagern oder bei Geräten, die nur sporadisch genutzt werden, relativ gering.

*Bleiakkus*, die wir vor allem in der Form von Autobatterien kennen, finden ihren Einsatz auch in Motorrädern, Traktoren, Rollstühlen, als Energiespeicher für die Notbeleuchtung oder in der Photovoltaik. Die Nennspannung einer Bleiakkuzelle beträgt 2 Volt. Eine 12-Volt-Autobatterie besteht daher aus sechs Einzelzellen, die intern in Reihe (Serie) geschaltet sind. Herkömmliche Bleiakkus, die immer noch in den meisten Autos verwendet werden, sind mit verdünnter Schwefelsäure

**Modellbau Racing-Packs**

Konfektionierter Akku-Pack mit Schrumpfschlauch  
und Abschlusskappen  
Silikonkabel und Stecker mit Goldkontakten,  
Stecksystem: Tamiya-Stecker



Akku-Typ	Ausführung	Kapazität	Spannung	Abm. (L x B x H) mm	Gewicht	Hochstromfähig
NiCd, Sub-C	Conrad energy 1600	1600 mAh	7,2 V	133 x 45 x 22	275 g	nein
NiCd, Sub-C	Conrad energy 2000	2000 mAh	7,2 V	133 x 45 x 22	293 g	nein
NiCd, Sub-C	Conrad energy 2400	2400 mAh	7,2 V	133 x 45 x 23	300 g	nein
NiCd, Sub-C	Sanyo RC 2400	2400 mAh	7,2 V	133 x 45 x 24	373 g	ja
NiMH, Sub-C	Conrad energy 3000	3000 mAh	7,2 V	133 x 45 x 23	320 g	nein
NiMH, Sub-C	Conrad energy 3300	3300 mAh	7,2 V	132 x 45 x 22	333 g	nein
NiMH, Sub-C	GP 3300 SCHR	3300 mAh	7,2 V	135 x 48 x 25	397 g	ja
NiMH, Sub-C	Conrad energy 3600	3600 mAh	7,2 V	133 x 45 x 23	390 g	ja
NiMH, Sub-C	GP 3900 HR	3900 mAh	7,2 V	133 x 45 x 23	415 g	ja
NiMH, Sub-C	Conrad energy 4000	4000 mAh	7,2 V	133 x 45 x 23	440 g	ja
NiMH, Sub-C	Racing LRP-Pack	4000 mAh	7,2 V	133 x 45 x 23	417 g	ja
NiMH, Sub-C	Conrad energy 4200	4200 mAh	7,2 V	133 x 45 x 23	450 g	ja
NiMH, Sub-C	GP 4300 HR	4300 mAh	7,2 V	133 x 45 x 23	420 g	ja

**Abb. 6.5** – Akku-Packs, die im Modellbau für die Stromversorgung von Motorantrieben vorgesehen sind, sollten „hochstromfähig“ sein, denn ein Elektromotor bezieht beim Start einen sehr hohen Strom, der einen „nicht hochstromfähigen“ Akku-Pack zerstören kann (Auszug aus dem Katalog von Conrad Electronic)

## 6 Wiederaufladbare Akkus und Batterien

(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) gefüllt, die als flüssiger Elektrolyt beim Laden teilweise verdampft, wenn der Akku in der Endphase des Ladens „kocht“. Über den Dampf schwindet aus dem Elektrolyt jedoch nur das Wasser (nicht die Säure) und so müssen Akkus, bei denen der Elektrolyt-Spiegel zu tief gesunken ist, mit destilliertem Wasser nachgefüllt werden (siehe hierzu auch Kapitel 13.4).

Viele der moderneren Bleiakkus sind jedoch mit *gebundenem* Elektrolyt (Elektrolyt in Gelatineform) ausgelegt und gasdicht (luftdicht) verschlossen. Das Nachfüllen mit destilliertem Wasser entfällt, die Akkus gasen nicht während des Nachladens und können durch ihre Bauart in jeder Lage (auch auf dem Kopf stehend) betrieben werden. Diese Akkus weisen eine sehr gute Erholung nach einer Tiefentladung und eine niedrige Selbstentladung auf.

Viele Gel-Akkus gelten als wartungsfrei, was jedoch nur für Anwendungen gilt, bei denen sie regelmäßiger nachgeladen werden – was in Fahrzeugen automatisch erfolgt. Befindet sich solch ein wartungsfreier Akku z. B. in einem Rasentraktor, der während der kalten Jahreszeit ein halbes Jahr lang außer Betrieb ist, sollte er zwischendurch zumindest einmal mit einem Ladegerät nachgeladen werden.

Die tatsächlichen Eigenschaften und speziellen Vorteile werden üblicherweise in den technischen Daten oder Bedienungsanleitungen näher erklärt. Sinnvoll sind dabei nur konkrete Daten. So hat z. B. der Hinweis auf eine „geringe Selbstentladung“ für den Anwender nur dann einen praktischen Stellenwert, wenn sie konkret in Prozent pro Monat angegeben wird (näheres über dieses Thema finden Sie in Kapitel 13).

Wartungsfreie Vliestechnik-Bleiakkus				
Lagenunabhängig einsetzbar, Anwendung in Modellbau, Alarmanlagen, Notstromversorgung, Solaranlagen, Solarantrieben, Notleuchten etc.				
Anschluss	Spannung	Kapazität	Abm. (L x B x H) mm	Gewicht
5 mm Flachstecker	6 V	1,3 Ah	97 x 25 x 51	310 g
5 mm Flachstecker	6 V	3,2 Ah	134 x 34 x 60,5	710 g
5 mm Flachstecker	6 V	4,5 Ah	70 x 48 x 108	850 g
5 mm Flachstecker	6 V	7 Ah	151 x 34 x 94	1350 g
6,35 mm Flachstecker	6 V	10 Ah	151 x 50 x 94	2100 g
6,35 mm Flachstecker	6 V	12 Ah	151 x 50 x 94	2100 g
5 mm Flachstecker	12 V	1,2 Ah	97 x 48 x 52	610 g
5 mm Flachstecker	12 V	2,3 Ah	177 x 34 x 60	990 g
5 mm Flachstecker	12 V	3,2 Ah	134 x 67 x 61	1400 g
5 mm Flachstecker	12 V	7 Ah	151 x 65 x 95	2660 g
M5 Verschraubung	12 V	17 Ah	181 x 76 x 167	5700 g
M5 Verschraubung	12 V	24 Ah	175 x 167 x 125	9200 g

**Abb. 6.6** – Wartungsfreie Vliestechnik-Bleiakkus eignen sich hervorragend für diverse Selbstbau-Vorhaben oder für die Stromversorgung von Klein-geräten (Auszug aus dem Katalog von Conrad Electronic)

## 7 Solarbatterien

Viele Errichter netzunabhängiger Photovoltaik-Anlagen sind oft durch die Angebote spezieller Solarakkus verunsichert und überlegen, ob sie für ihr Vorhaben tatsächlich „echte“ (und meist sehr teure) Solarakkus benötigen. Die Antwort lautet: „Nein!“.

Einige Unternehmen haben sich auf die Entwicklung und Herstellung von Solarakkus spezialisiert, um diese Speicher der an sich teuer gewonnenen Energie so perfekt wie nur möglich zu konzipieren. Erstrebt werden dabei eine niedrige Selbstentladung, eine höhere Strapazierfähigkeit bezüglich der Tiefentladung, geringere

## 7 Solarbatterien

Empfindlichkeit gegen Frost und eine möglichst lange Lebensdauer. Die Hersteller von Autobatterien streben allerdings das Gleiche an, um als Zulieferanten der Autoindustrie bestehen zu können. Der größte Unterschied zwischen Autobatterien (Autoakku) und Solarakkus besteht daher in der Praxis vor allem darin, dass bei Solarakkus gezielt auf ihre „solartauglichen“ Vorteile hingewiesen wird, bei Autobatterien hingegen nicht.

Theoretisch beträgt die gesamte Impedanz von Starterbatterien nur ca.  $5 \text{ m}\Omega$  (Milliohm). Bei stationären Batterien kann sie herstellungstechnisch auf ca. 50 bis  $150 \text{ m}\Omega$  erhöht werden. Aus dieser Sicht ist es – wiederum nur theoretisch – möglich, stationäre und somit auch Solarbatterien so zu entwickeln, dass ihre Impedanz möglichst hoch und ihre Selbstentladung gering ist.

Oft wird die Selbstentladung bei den Solarakkus nicht in Prozent, sondern nur mit der Formulierung „niedrige Selbstentladung“ angegeben. Sie liegt dann in der Praxis (typenbezogen) zwischen ca. 3 und 5 %. Bei Autobatterien beträgt sie ca. 4 bis 8 %. Demnach haben einige der Solarakkus die gleiche Selbstentladung wie einige der „besseren“ Autobatterien. Obwohl die Selbstentladung nur einen der technischen Parameter darstellt, die



**Abb. 7.1** – Solarakkus sind meist als Bleiakku ausgelegt und unterscheiden sich von der Bauart her nicht von anderen Bleiakkus. Sie sind jedoch in Hinsicht auf eigene spezifische Parameter als Solarenergiespeicher gezielt ausgelegt (Anbieter: Conrad Electronic).

für die allgemeine Qualität eines Akkus bestimmend sind, sehen wir uns an einem praktischen Beispiel an, wie sich der Unterschied in der Selbstentladung bei einer Speicherbatterie einer photovoltaischen Anlage auswirkt.

Unser Vergleich erfolgt über das Beispiel der solarelektrischen Stromversorgung eines kleinen Schrebergarten-Hauses (Abb. 7.2): Der Unterschied im Nachladebedarf, der sich auf die Selbstentladungen eines „echten“ Solarakkus und einer normalen Autobatterie bezieht, ist in der Praxis recht gering. Eine zusätzliche halbe Stunde Sonnen-

schein in 14 Tagen gleicht im Durchschnitt die höhere Selbstentladung der Autobatterie aus. So bleibt es jedem Anwender überlassen, welche Wahl er bevorzugt. Nun stellt sich die Frage, weshalb ein echter Solarakku erheblich teurer ist als eine Autobatterie vergleichbarer Kapazität. Das dürfte vor allem darauf zurückzuführen sein, dass die Entwicklungs- und Herstellungskosten bei den Solarakkus für einen relativ kleinen Umsatz kalkuliert werden müssen.

Neben Bleiakkus können als Speicher der Solarenergie auch alle anderen wiederaufladbaren Akkus

verwendet werden, wenn der damit verbundene Aufpreis in Kauf genommen wird oder es sich um die Stromversorgung von Kleingeräten handelt. Der Gleichstrommotor eines Gleichstrom-Elektroantriebs einer Markise z. B. gibt sich mit einem Akku zufrieden, dessen Kapazität ungefähr mit der eines Akkuschraubers übereinstimmt. Für solche Zwecke gibt es keine speziellen Solarakkus, denn hier genügen als Energiespeicher einige NiMH-Rundzellen bzw. NiMH- oder Li-Ion-Akkupacks. Bei sehr kleinen elektronischen Geräten können als Solarenergiespeicher auch spezielle Speicherkondensatoren (Gold-Caps) verwendet werden (siehe hierzu Kapitel 9).

### Fazit

Der Qualitätsunterschied zwischen einer guten Autobatterie (Autoakku) und einem „echten“ Solarakku kann nur produktbezogen als Argument für den großen Preisunterschied zwischen diesen zwei Energiespeichern geltend gemacht werden. Unter den Autobatterien gibt es allerdings auch diverse Discount-Angebote, deren technische Parameter in den normalen Katalogen und Preislisten nicht aufgeführt sind und deren Qualität beim Kauf nicht nachvollziehbar ist. Ähnlich wie bei vielen anderen Discount-Produkten liegt dann die Qualität der Akkus zwischen „mangelhaft“ und „sehr gut“. Das kann aber oft erst im Nachhinein beurteilt werden – vorausgesetzt, man verfügt über die dafür erforderliche Vergleichsmöglichkeit. So dürfte es eine Frage des individuellen Ermessens bleiben, welcher Lösung man Vorrang gibt. Dabei sollten bei den „echten“ Solarakkus die technischen Daten nicht überbewertet werden. Sie sind zwar theoretisch eindrucksvoll, aber in der Praxis fallen sie kaum ins Gewicht oder sind nicht nachvollziehbar.

Zu den schwer nachvollziehbaren Eigenschaften gehören bei den Solarakkus die oft hervorgehobenen niedrigen Energieverluste beim Laden und die niedrige Selbstentladung. Der Verlauf eines solarelektrischen Ladens unterliegt jedoch in der Praxis zu großen Spannungs- und Stromschwankungen, um die tatsächlichen Energieverluste dabei ermitteln zu können. Die Selbstentladung versuchen auch die Hersteller der „normalen“ Autobatterien so niedrig wie möglich zu halten. Kommt es dennoch vor, dass z. B. die Selbstentladung einer preiswerten Autobatterie um 2 % höher ist als die eines „echten“ Solarakkus, bedeutet das, dass eine billige Autobatterie monatlich 2 % mehr ihrer gespeicherten Energie verliert als ein guter Solarakku. Da jedoch bei Anwendungen in der Photovoltaik nicht die Perfektion der Technik, sondern die Launen der Natur das Sagen haben, spielen hier die technischen Feinheiten nur eine untergeordnete Rolle.

## 7 Solarbatterien

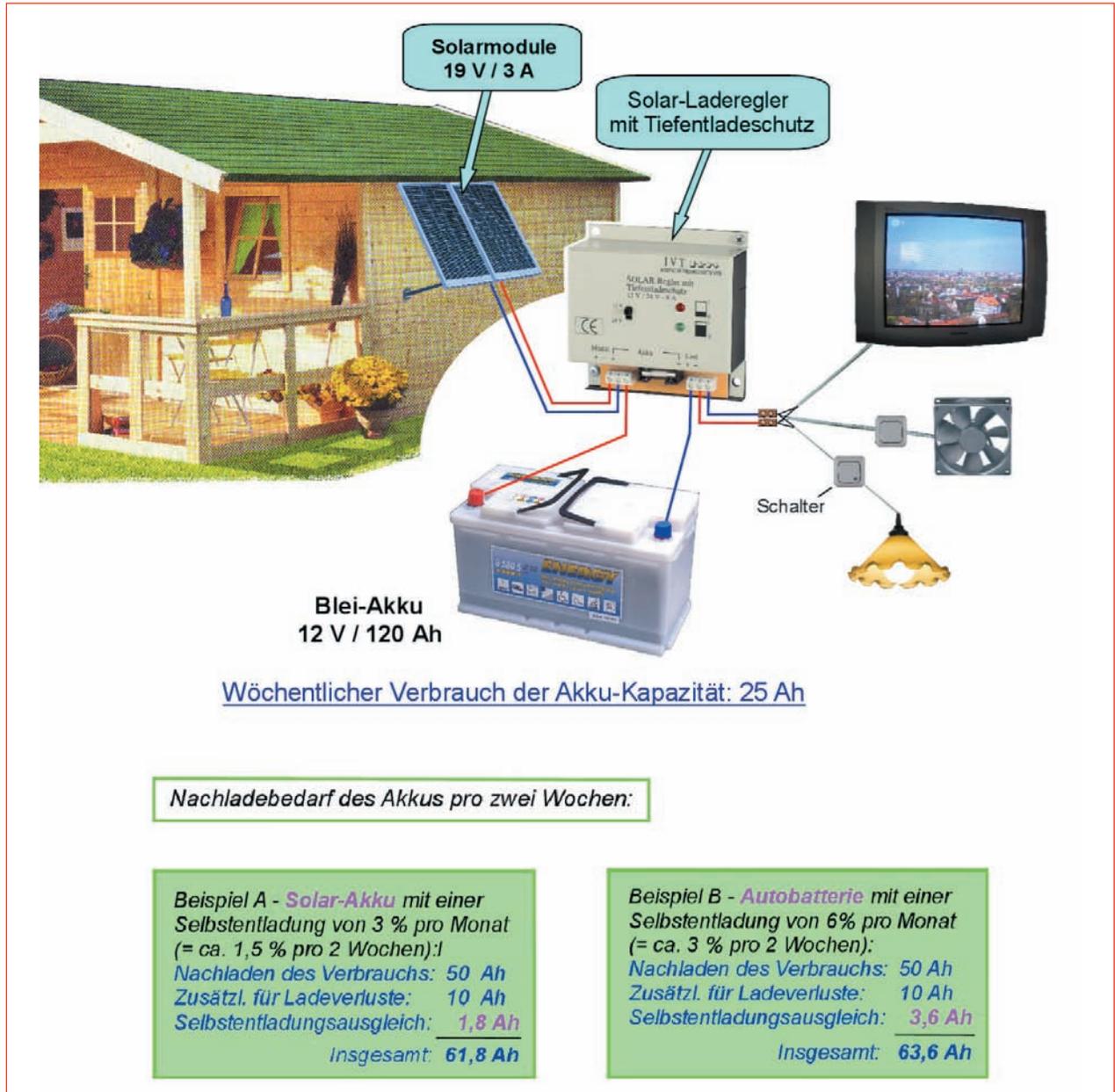


Abb. 7.2 – Solartechnische Stromversorgung eines Gartenhauses

# 8 Akkupacks und Spezialbatterien

## 8 Akkupacks und Spezialbatterien

Viele der Akkupacks oder Spezialbatterien für Handys, Hörgeräte, Spezialgeräte und Spezial- sind produktspezifisch entwickelt und können nur durch die gleiche Type ersetzt werden. Auch das Laden solcher Energiespeicher kann in der Regel nur über das mitgelieferte Ladegerät vorgenommen werden.

Kommt es vor, dass das Original-Ladegerät seinen Dienst quittiert, kann einfaches Nachladen notfalls mit einer Ersatz-Gleichspannungsquelle erfolgen, die in Kapitel 13 beschrieben wird. Wenn der Akku hingegen defekt ist, stellt man oft fest, dass ein neuer Akku mehr als ein vergleichbares neues Akkuwerkzeug kostet. Hier bietet es sich als preisgünstige Lösung an, das Werkzeug für den Netzbetrieb umzufunktionieren (mehr darüber erfahren Sie aus Kapitel 15).

Großer Beliebtheit erfreuen sich vor allem im Modellbau zunehmend die „neuen“ *Lithium-Polymer-(LiPo-) Akkus*. Sie haben eine enorm hohe Energiedichte (Kapazität) bei sehr kleinen Abmessungen und sehr niedrigem Gewicht.



Abb. 8.1 – Ausführungsbeispiel eines universalen Ladegeräts für Li-Ion-Akkupacks.

### Lithium-Polymer-Akkus als Akku-Packs



Zellenzahl	Spannung	Kapazität	Abmessungen	Gewicht
2	7,4 V	450 mAh	30 x 7,6 x 48 mm	24 g
2	7,4 V	750 mAh	30 x 14 x 48 mm	47 g
3	11,4 V	750 mAh	30 x 21 x 48 mm	69 g
2	7,4 V	1500 mAh	34 x 12 x 96 mm	87 g
2	7,4 V	2000 mAh	35 x 12 x 135 mm	125 g
2	7,4 V	3200 mAh	35 x 15 x 135 mm	167 g
3	11,1 V	3900 mAh	49 x 24 x 150 mm	324 g
3	11,1 V	4900 mAh	44 x 30 x 157 mm	384 g

Tabella 8.1 – Einblick in die technischen Parameter einiger Lithium-Polymer-Akkus

## 9 Gold-Caps als Energiespeicher

**G**old-Caps (Super-Caps) sind Miniaturkondensatoren mit einer hohen Kapazität (momentan bis zu ca. 22 Farad), die sich die extrem hohe Ladungsdichte elektrochemischer Doppelschichten zunutze machen. Diese Kondensatoren wurden ursprünglich als Energiespeicher für Überbrückungsstromversorgung in elektronischen Geräten entwickelt, in denen Daten auch nach dem Abschalten des Geräts möglichst lange erhalten werden sollen. Sie eignen sich jedoch auch hervorragend z. B. als Energiespeicher für solarelektrische Kleingeräte mit niedrigem Stromverbrauch.

## 9 Gold-Caps als Energiespeicher

Im Vergleich mit Batterien entstehen beim Nachladen der Gold-Caps keine Ladeverluste und ihre Lebenserwartung ist im Allgemeinen wesentlich höher als die von Akkus.

Der Gold-Cap kann zwar eine Batterie ersetzen, aber er sollte dabei so angewendet werden, dass er zumindest ab und zu nachgeladen wird.

Als Energiequelle für das Nachladen des Gold-Caps, der in einem Gerät oder in einer Vorrichtung sozusagen als Notstromspeicher dient, kann eine passende Gleichspannung angewendet werden, die ihm nach Abb. 9.1 zur Verfügung steht. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass sich ein voll entladener Gold-Cap beim Zuschalten auf die Spannungsquelle quasi wie ein Kurzschluss verhalten würde, wenn er nicht einen Schutzvorwiderstand nach Abb. 9.1a erhält, der den Einschaltstromstoß verringert. Andernfalls könnte ein zu hoher Stromstoß sowohl die Spannungsquelle als auch den Gold-Cap beschädigen oder vernichten. Je höher der ohmsche Wert des Vorwiderstands ist, desto schonender verläuft zwar der Ladevorgang aber desto länger dauert es wiederum, bis der Gold-Cap voll aufgeladen ist.

Ein Ladevorwiderstand darf entfallen, wenn als Spannungsquelle Solarzellen/kleine Solarmodule (Mikropaneels) verwendet werden.

<b>Gold-Cap</b>			
<b>Kapazität</b>	<b>Nennspannung</b>	<b>Abmessungen</b>	<b>Rastermaß</b>
<b>0,1 F</b>	<b>5,5 V</b>	<b>φ 11,5 x 5,5 mm</b>	<b>10 mm</b>
<b>0,1 F</b>	<b>5,5 V</b>	<b>φ 21,5 x 10 mm</b>	<b>5 mm</b>
<b>0,47 F</b>	<b>5,5 V</b>	<b>φ 21,5 x 10 mm</b>	<b>5 mm</b>
<b>1 F</b>	<b>2,5 V</b>	<b>φ 8 x 22 mm</b>	<b>3,5 mm</b>
<b>1 F</b>	<b>5,5 V</b>	<b>φ 21,5 x 10 mm</b>	<b>5 mm</b>
<b>3,3 F</b>	<b>2,5 V</b>	<b>φ 12,5 x 23 mm</b>	<b>5 mm</b>
<b>10 F</b>	<b>2,5 V</b>	<b>φ 18 x 35 mm</b>	<b>7,5 mm</b>
<b>22 F</b>	<b>2,3 V</b>	<b>φ 18 x 35 mm</b>	<b>7,5 mm</b>

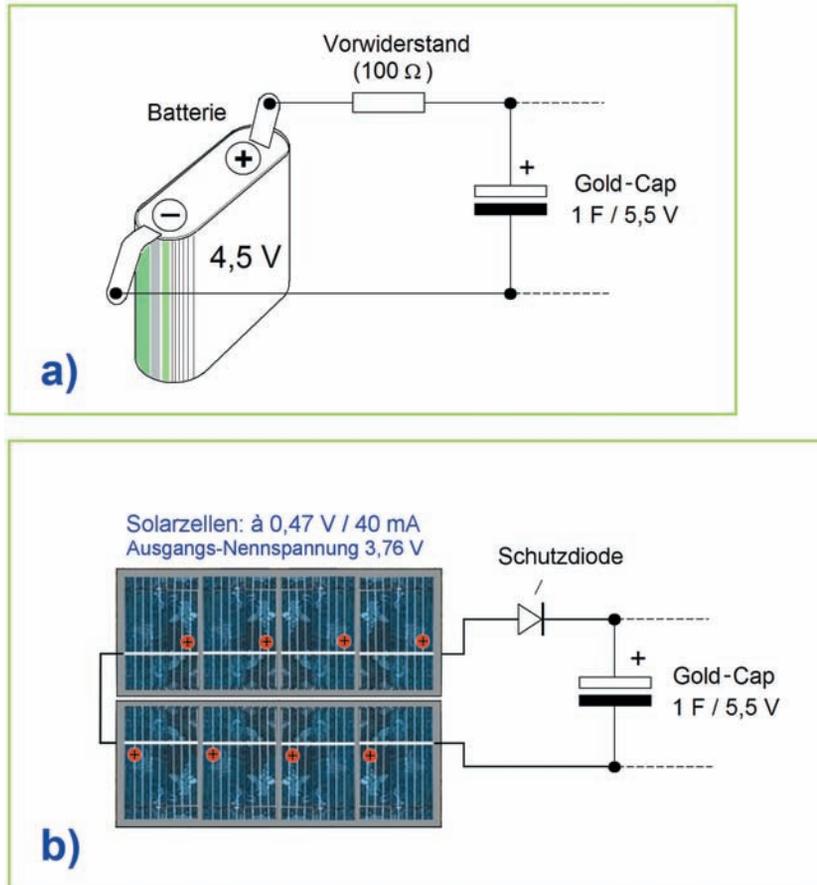
**Tabelle 9.1** – Daten der momentan gängigsten handelsüblichen Gold-Caps (Auszug aus den Katalogen von *Conrad Electronic* und *Reichelt Elektronik*).

Die für den Gold-Cap maximal zulässige Spannung darf beim Laden nicht überschritten werden. Dies ließe sich vermeiden, wenn die Nennspannung der angewendeten solarelektrischen Spannungsquelle die maximal zulässige Spannung des Gold-Caps nicht überschreitet. Dabei dürfte nicht von der photovoltaischen Nennspannung des „Solargenerators“ ausgegangen werden, sondern von seiner Leerlaufspannung, die ca. 20 % höher ist. Eine solche Vorbedingung wäre

bei einer Lösung nach Abb. 9.1b gegeben. Sie hat jedoch den Nachteil, dass die im Gold-Cap gespeicherte Spannung wetterabhängig zu sehr variieren würde. Das kann zwar unter Umständen akzeptabel sein, eignet sich aber nicht für die Spannungsversorgung elektronischer Geräte, die für eine ganz bestimmte Versorgungsspannung ausgelegt sind.

Um auch bei schwankenden Wetterbedingungen eine ausreichend hohe Ladespannung für den

## 9 Gold-Caps als Energiespeicher



**Abb. 9.1** – Prinzip des Ladens eines Gold-Caps: **a)** von einer Batterie oder einer anderen konstanten Gleichspannungsquelle; **b)** von Solarzellen.

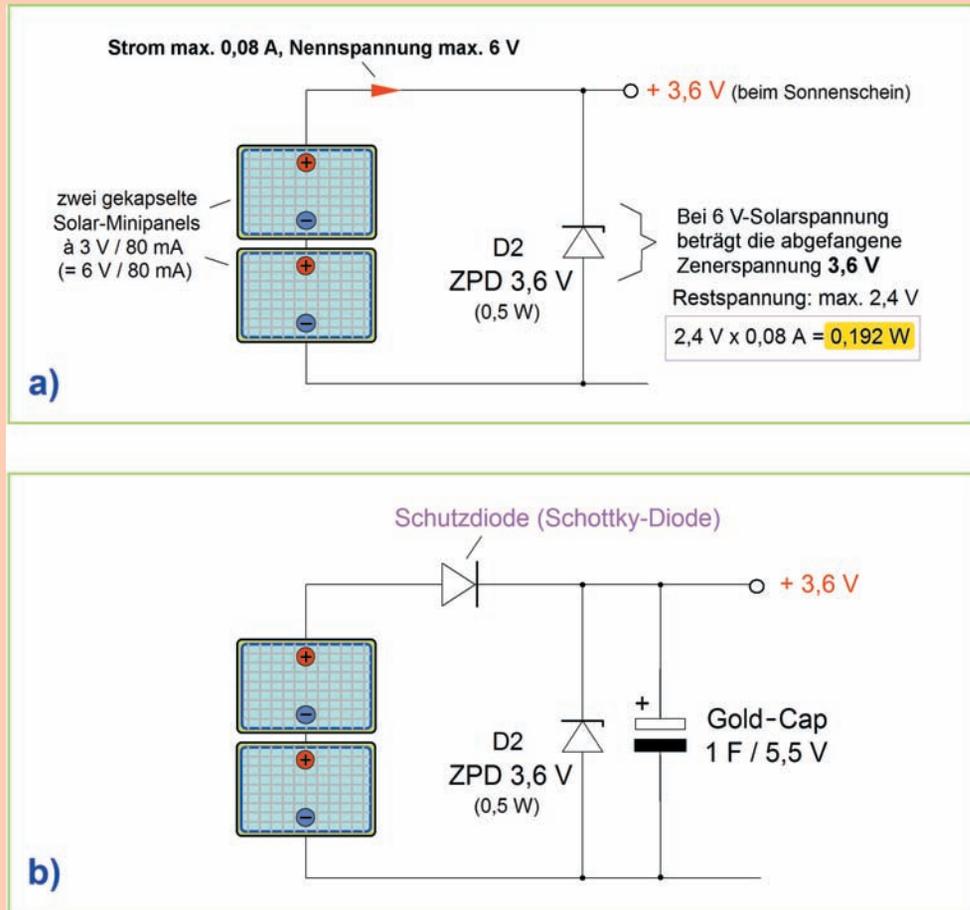
Gold-Cap zu erhalten, wird daher in der Praxis die Solarnennspannung großzügig höher gewählt. Eine Zenerdiode, die nach Abb. 9.2 parallel zum Gold-Cap angeschlossen wird, hält dann die ihr zugeführte Spannung auf einer konstanten Maximalhöhe, die ihrer Zenerspannung entspricht – vorausgesetzt, das solarelektrische Laden ist optimal dimensioniert. Darunter ist zu verstehen, dass eine Zenerdiode die ihr zugeführte Gleichspannung zwar reduzieren, nicht aber erhöhen kann.

Im Beispiel in Abb. 9.2 wurde eine 3,6-Volt-Zenerdiode verwendet, um eine Spannungsversorgung für ein elektronisches Gerät zu gewährleisten, das für eine Arbeitsspannung von 3,6 Volt ausgelegt ist. Wird eine andere Versorgungsspannung benötigt, muss eine andere (passende) Zenerdiode oder ein Spannungsregler (Abb. 9.3) verwendet werden.

Handelsübliche Zenerdioden sind im unteren Bereich wahlweise für

## 9 Gold-Caps als Energiespeicher

Wichtig



**Abb. 9.2** – Die verwendete Zenerdiode muss in der Lage sein, die überschüssige Leistung (Spannung  $\times$  Strom) in Wärme umzuwandeln, ohne dabei zu verbrennen: **a)** Die theoretische Spannungsverteilung und die daraus resultierende Leistung, die die Zenerdiode verkraften muss. **b)** Eine Schutzdiode darf zwischen den Solarzellen und dem Gold Cap nicht fehlen, da er sich sonst über inaktive Solarzellen (bei wenig Sonnenschein) entladen würde.

## 9 Gold-Caps als Energiespeicher

Zenerspannungen ausgelegt, die folgendermaßen abgestuft sind:

1 V; 1,5 V; 1,7 V; 2,7 V; 3 V; 3,3 V;  
3,6 V; 3,9 V; 4,3 V; 4,7 V; 5,1 V; 5,6 V;  
6,2 V; 6,8 V; 7,5 V; 8,2 V; 9,1 V;  
10 V usw.

Achten Sie bei der Anschaffung einer Zenerdiode auch auf ihre Nennleistung, die in den Katalogen z. B. in Leistungsgruppen von 250 mW, 400 mW, 500 mW, 1 W oder 1,3 W usw. eingeteilt sind.

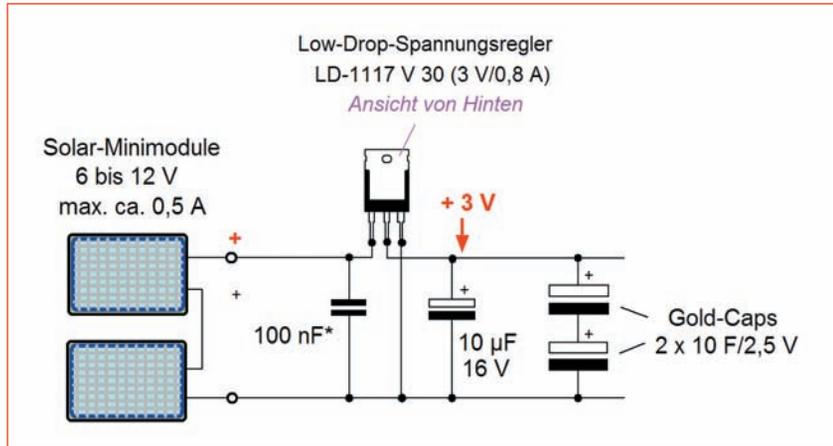


Abb. 9.3 – Spannungsversorgung mit Spannungsregler

### Wichtig

Eine Zenerdiode kann die Spannungsdifferenz zwischen der ihr zugeführten Spannung und der Zenerspannung nicht auf irgendeine Weise sperren, sondern muss die überschüssige elektrische Leistung in Wärme umwandeln und diese an die Umgebung abgeben. In dieser Hinsicht fungiert die Zenerdiode gewissermaßen als ein kleiner Heizkörper. Inwieweit sie sich aufheizt, hängt vom Leistungsüberschuss ab, den sie in Wärme umwandeln muss.

Wie hoch die elektrische Leistung [in Watt] ist, die eine Zenerdiode in Wärme umwandeln muss, errechnet sich nach der Formel

Überschüssige **Spannung [V] × Strom [A]** der durch den ganzen Kreislauf fließt.

Am einfachsten verdeutlicht die Situation das Beispiel aus Abb. 9.2: Die eigentliche Energiequelle bilden hier zwei gekapselte Solar-Minipaneele, die unter optimalen Bedingungen (bei starkem Sonnenschein) einen Strom von maximal 80 mA (0,08 A) liefern können. Dieser Strom wird also schlimmstenfalls durch die Zenerdiode „ZPD 3,6 V“ fließen. Die Solarspannung wird unter optimalen Bedingungen und bei voller Belastung der Solarzellen höchstens 6 Volt (2 × 3 Volt) betragen.

Die Zenerdiode aus Abb. 9.2 fängt von der maximalen 6-Volt-Solarspannung ihre 3,6 Volt als Zenerspannung ab. Die überschüssige Spannung von 2,4 Volt (6 – 3,6 V) muss die Zenerdiode durch den Kreislauf weiterleiten. Wenn dabei der Solarstrom volle 0,08 A beträgt, ergibt sich daraus eine Leistung von  $2,4 \times 0,08 \text{ A} = 0,19 \text{ Watt}$ , die die Zenerdiode unter Umständen in Wärme umwandeln muss, ohne dabei zu verbrennen. Im Beispiel wurde eine 0,5-Watt(500-mW)-Zenerdiode verwendet, die für diese Bedingungen ausreichend dimensioniert ist.

## 9.1 Funk-Türglocke mit Gold-Cap

**F**unk-Türglocken – oder zumindest ihre Sender (Klingeltaster) – sind üblicherweise für Batteriebetrieb ausgelegt. Diese Art der Stromversorgung ist zwar bei dem Senderteil nicht teuer, denn der Batterie-Wechsel muss nur etwa alle zwei Jahre vorgenommen werden, aber einen Nachteil hat diese Lösung dennoch: Oft bemerkt man erst, dass die Batterie leer ist, wenn Besucher vergeblich geläutet haben und dies wissen lassen oder der Paketbote einen Benachrichtigungsschein einwirft.

Die Sender der Türglocken sind typenabhängig für Batterien ausgelegt, deren Spannung zwischen ca. 3

und 12 Volt liegt. Je niedriger die vorgesehene Batteriespannung ist, desto leichter kann die Batterie durch einen solarelektrisch geladenen Gold-Cap ersetzt werden, da in dem Fall nur wenige Solarzellen/kleinere Solar-Minipaneels als Quellen für das solarelektrische Laden erforderlich sind. Wird noch vor dem Kauf einer Funk-Türglocke eine solarelektrische Stromversorgung in die Planungsüberlegungen einbezogen, sollte man darauf achten, dass das Senderteil (die eigentliche Funk-Türklingel) für eine Batteriespannung von (nur) 3 Volt ausgelegt ist. Anstelle der Batterie wird dann in den Sender ein Gold-Cap eingesetzt, der z. B. nach

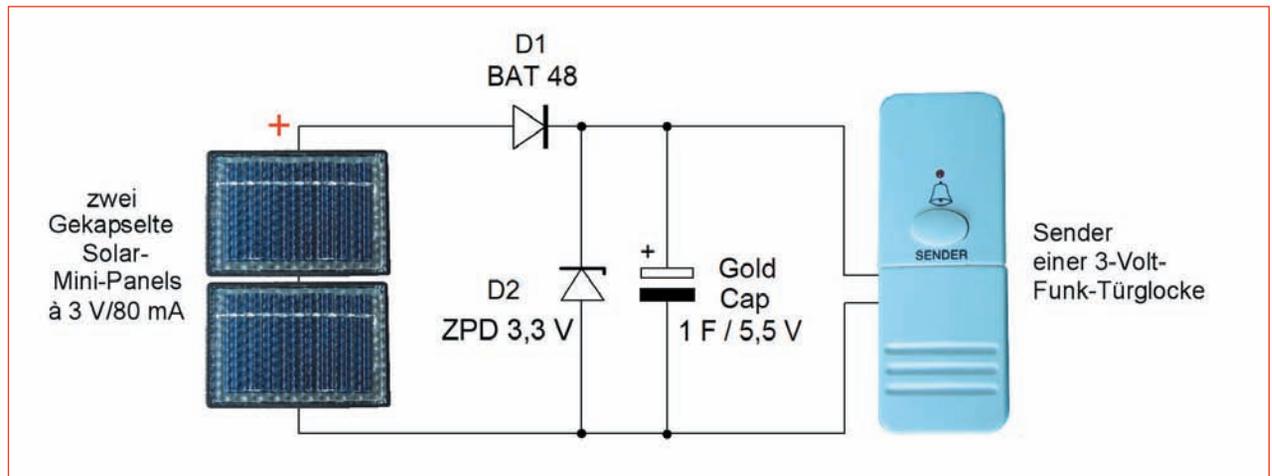
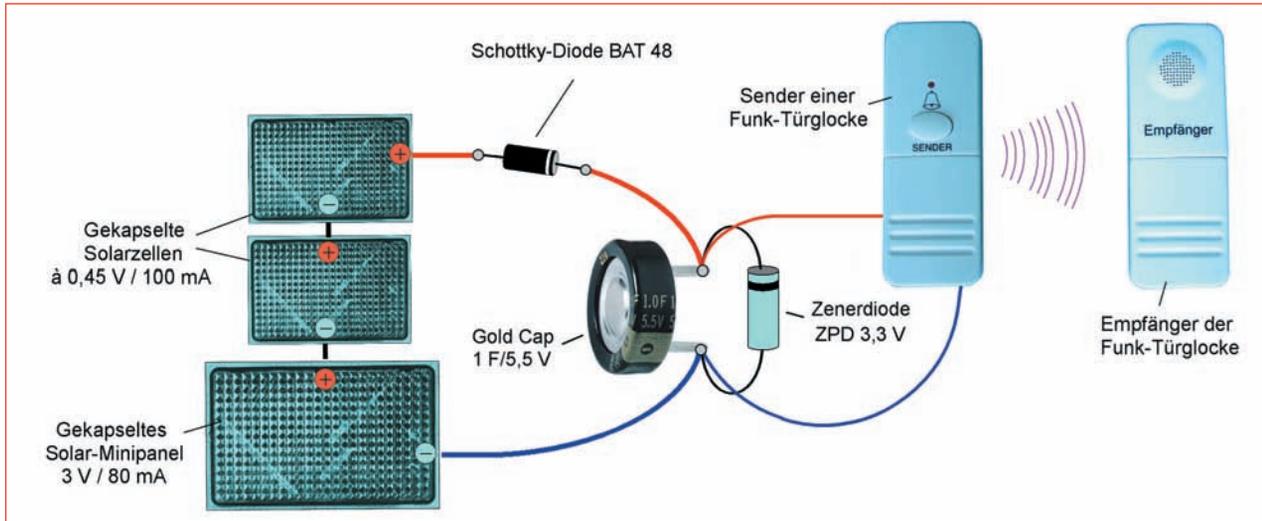


Abb. 9.4 – Schaltung eines solarbetriebenen Funk-Türglockensenders.

## 9.1 Funk-Türglocke mit Gold-Cap



**Abb. 9.5** – Schaltung eines solarbetriebenen Funk-Türglockensenders mit drei Solar-Minipaneln. Um auch dem weniger erfahrenen Tüftler den Nachbau zu erleichtern, wurden hier alle Bausteine zeichnerisch dargestellt.

Abb. 9.4/9.5 von Solarzellen nachgeladen wird.

In Abb. 9.5 wurden als *Arbeitsspannung* für den Gold-Cap nicht die offiziellen 3 Volt, sondern 3,3 Volt gewählt, was sich auf die Senderleistung unterstützend auswirkt. Durch eine derartig geringe Erhöhung der Versorgungsspannung wird kein Batteriegerät überstrapaziert, da auch der Hersteller davon ausgeht, dass eine neue, voll aufgeladene 3-Volt-Batterie eine höhere Spannung hat, als es der offiziellen Nennspannung entspricht.

### Tipp

Für das laufende Nachladen von Gold-Caps, die für die Stromversorgung kleiner Geräte mit wenig Stromverbrauch vorgesehen sind, können Solarzellen aus ausgedienten Taschenrechnern (Abb. 9.6) verwendet werden. Die maximale Solarspannung einer solchen Zellenfläche (mit vier sichtbaren Einzelzellen) liegt bei ca. 1,8 bis 1,9 V. Je nach Spannungsbedarf können beliebig viele solcher Mini-Solarmodule in Reihe geschaltet werden.



**Abb. 9.6** – Dünnschicht-Solarzellen aus ausgedienten Taschenrechnern können für das Nachladen von Gold-Caps verwendet werden, die Kleingeräte mit niedrigem Energieverbrauch versorgen.

## 9.2 Solaruhr mit Gold-Cap

**B**atteriebetriebene Uhren haben einen sehr niedrigen Energieverbrauch. Daher kann auch ein kleiner Gold-Cap als solargeladener Energiespeicher eine Wand- oder Tischuhr anstelle einer Batterie wartungsfrei mit der benötigten Energie versorgen – vorausgesetzt die Lichtverhältnisse erlauben es. Die Ansprüche an die Lichtverhältnisse sind hier jedoch ähnlich bescheiden wie bei einem Solar-Taschenrechner: Die Solarzellen beanspruchen kein volles Sonnenlicht, sondern einfach nur eine Kombination diffusen Lichts oder Kunstlichts, das automatisch vorhanden ist, sobald der Raum beleuchtet wird. Da bei der Stromversorgung einer Wand- oder Tischuhr der Gold-Cap täglichen Nachladebedarf in der Größenordnung von nur etwa 0,0014 Ah hat, macht er sich auch den geringsten Ladestrom zunutze, den gering belastete Solarzellen auch bei sehr wenig Licht liefern. Befindet sich eine solarbetriebene Uhr in einem hellen Raum, können Solarzellen, die nach Abb. 9.8 einen Gold-Cap laden, die ursprüngliche Batterie endgültig ersetzen.

Die Solarzellen können nach Abb. 9.7 auch oberhalb oder neben der Uhr angebracht werden.

### Wichtig

Bevor Sie den Gold-Cap in eine neu modifizierte Solaruhr einlöten, sollten Sie ihn erst extern auf die erforderliche Spannung aufladen. Dies kann entweder nach dem Prinzip aus Abb. 9.8a/b erfolgen oder Sie richten die Solarzellen samt Zubehör erst für einige Tage optimal gegen die Sonne aus.



Abb. 9.7 – Eine solarbetriebene Uhr im Wintergarten.

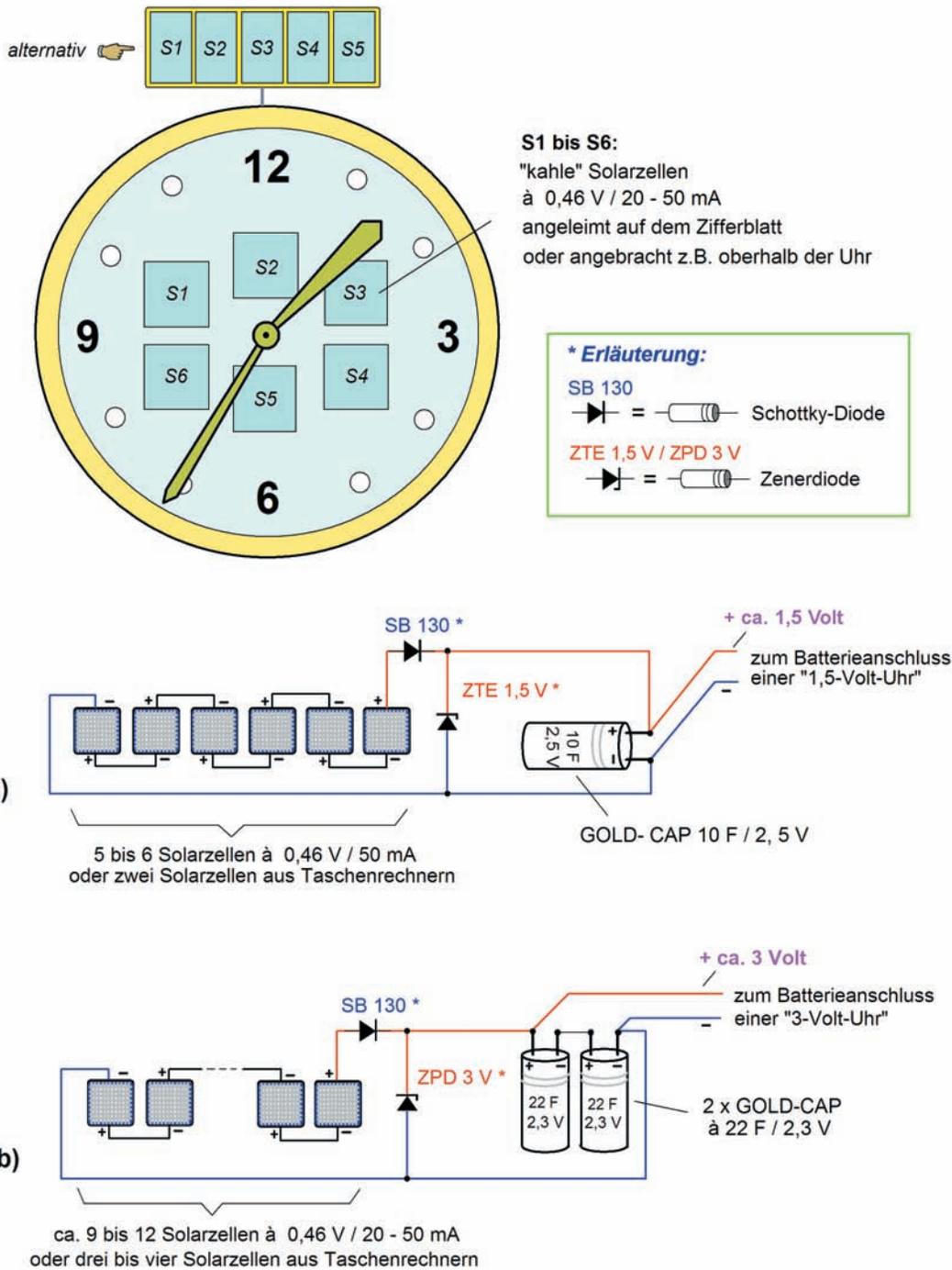


Abb. 9.8 – Solarbetriebene Funkuhr: Die Zahl der verwendeten Solarzellen richtet sich nach der Versorgungsspannung, die bei den meisten Uhren 1,5 oder 3 V beträgt.

## 9.3 Funksender einer Wetterstation mit Gold-Cap

Ähnlich wie bei der vorher beschriebenen Uhr kann auch z. B. bei einem Funk-Temperatursensor einer Wetterstation (Abb. 9.9) die Stromversorgung mithilfe eines solarelektrisch geladenen Gold-Caps erfolgen. Dadurch erübrigt sich das Auswechseln der Batterien. Im Vergleich mit der Uhr haben viele Funksender einen etwas höheren Stromverbrauch. Daher empfiehlt es sich, die Kapazität des Gold-Caps angemessen zu erhöhen. Wir haben bei unseren Experimenten zu diesem Thema zwei in Reihe geschaltete Gold-Caps nach Abb. 9.10 verwendet. Durch die Reihenschaltung der zwei Gold-Caps à 2,3 Volt/22 Farad verdoppelt sich (annähernd) die maximal zulässige Betriebsspannung auf ca. 4,6 Volt und halbiert sich die Kapazität des Energiespeichers auf 11 Farad. Auf Grund der Herstellungstreuung können die zwei verwendeten Gold-Caps etwas unterschiedliche Kapazitäten haben, wodurch auch die Spannungsverteilung in Mitleidenschaft gezogen wird. Da wir den zwei Kondensatoren in Serie nur eine Spannung von maximal 3 Volt zumuten, ist nicht zu befürchten, dass auf einen von ihnen eine zu hohe Spannung entfällt.

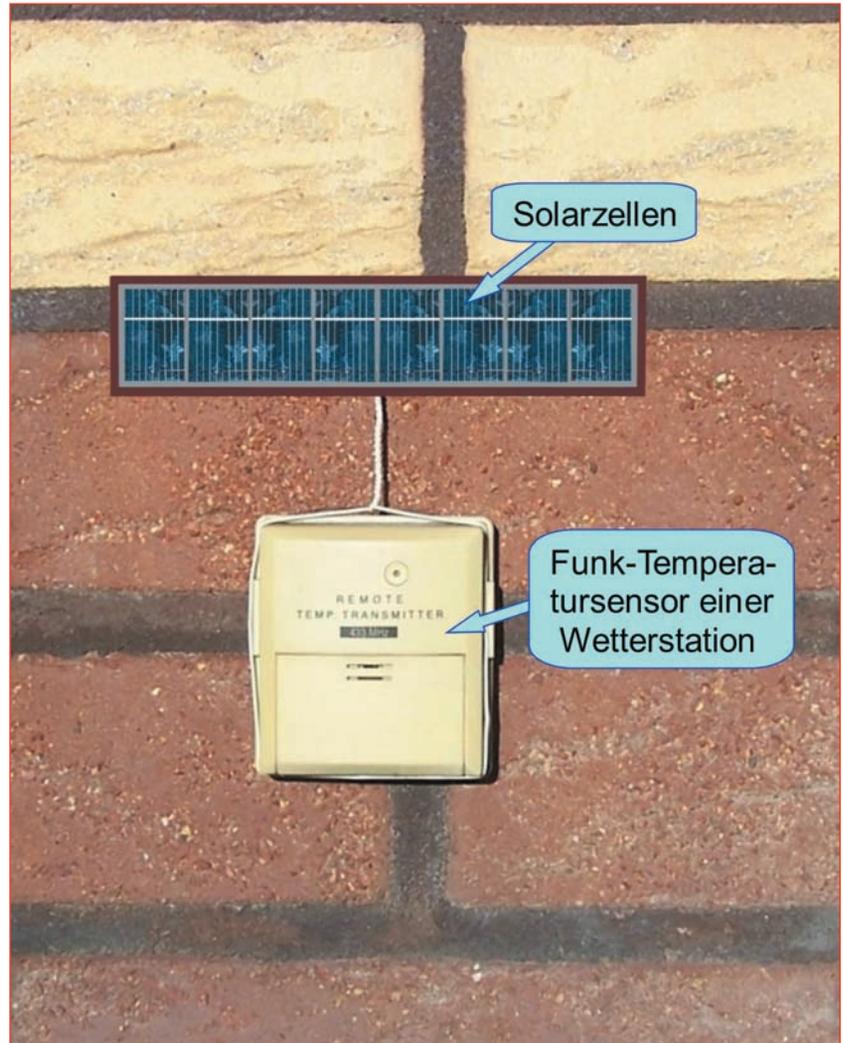
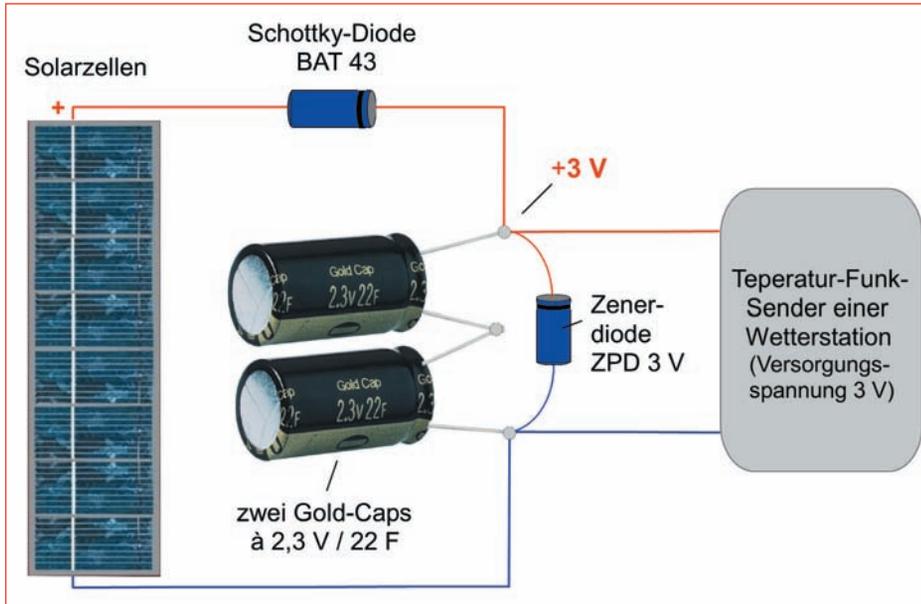
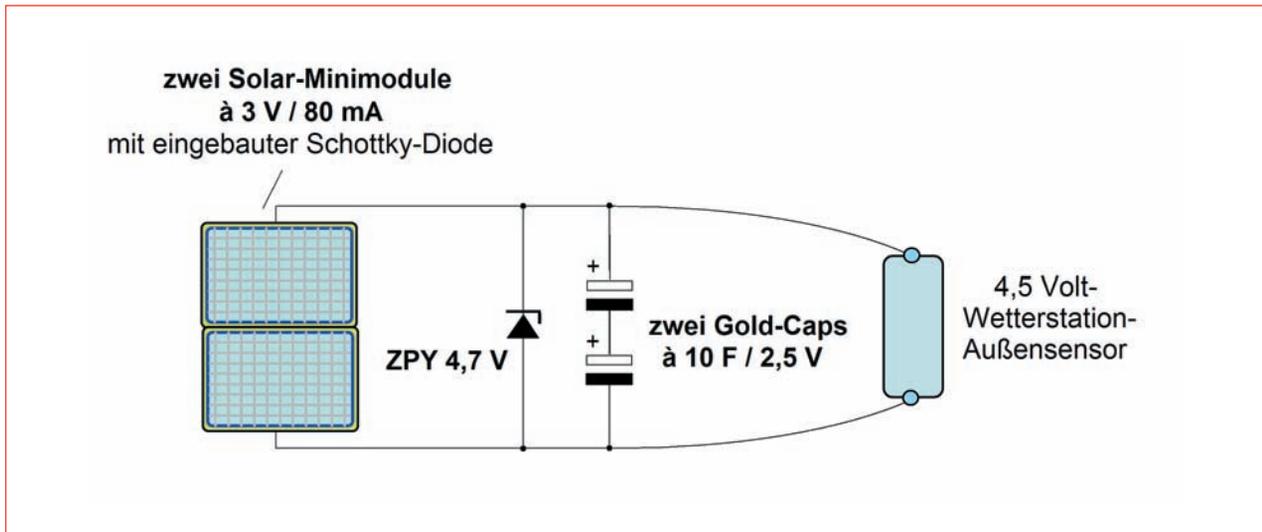


Abb. 9.9 – Solarbetriebener Funk-Tempersensor mit Gold-Caps statt Batterien.

## 9.3 Funksender einer Wetterstation mit Gold-Cap



**Abb. 9.10** – Schaltung des solarbetriebenen Funk-Temperatursensors aus der vorhergehenden Abbildung.



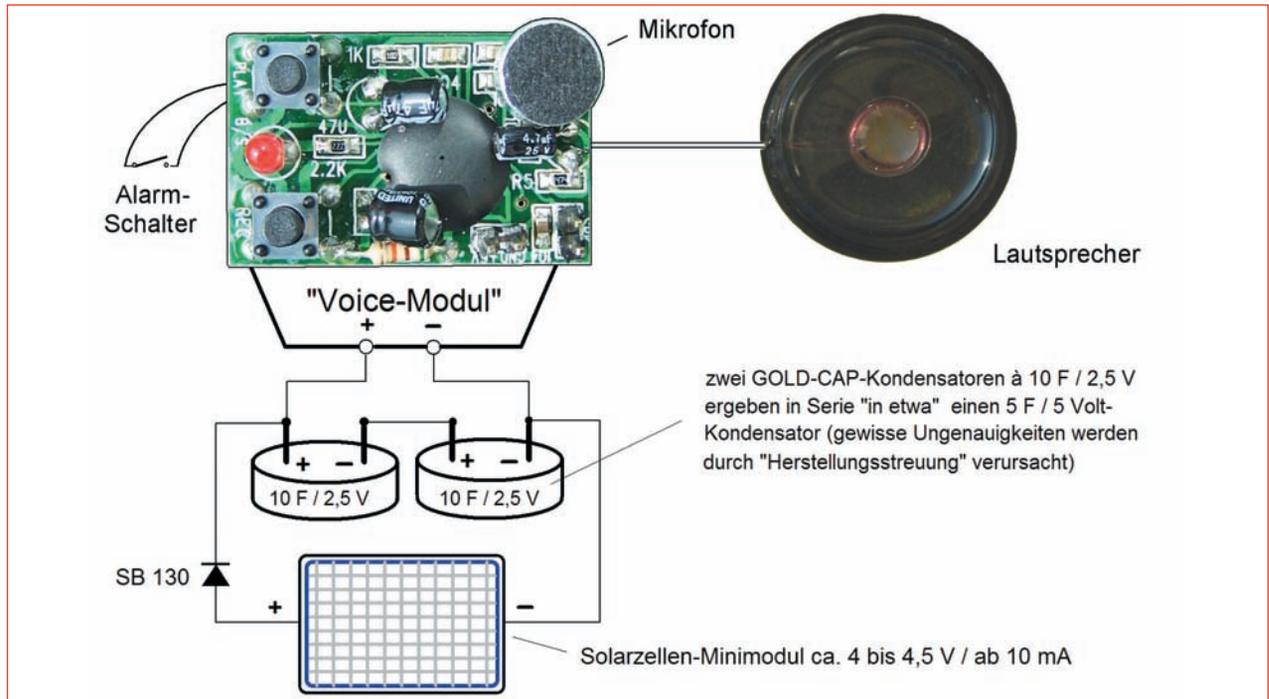
**Abb. 9.11**– Solarelektrische Spannungsversorgung eines 4,5-Volt-Wetterstation-Außensensors (eine geringfügig erhöhte Versorgungsspannung ist nicht hinderlich, da neue (voll aufgeladene) Batterien oft eine etwas höhere Spannung als die 1,5 V pro Zelle haben)

## 9.4 Einbruchschutz-Warngerät mit Gold-Cap

**A**ls vorteilhaft kann sich ein Gold-Cap auch in Einbruchschutzgeräten erweisen, die z. B. im Außenbereich installiert sind und darauf warten, zum Einsatz zu kommen. Abb. 9.12 zeigt die Stromversorgung eines Voice-Moduls mit zwei in Reihe geschalteten Gold-Caps. In einem solchen Kleinmodul kann z. B. eine gesprochene Warnung gespeichert werden, die von einem Alarmkontakt aktiviert wird.

Bei unseren Experimenten für dieses Buch stellte sich heraus, dass ein vollgeladener 5-Farad-Gold-Cap etwa 100-mal eine ca. 10-sekündige Warnung des Voice-Moduls in voller Lautstärke wiedergeben kann, bevor er nachgeladen werden muss. Andere Klein-

geräte mit niedrigem oder nur gelegentlichem Strombedarf können auf die gleiche Weise ihre Stromversorgung aus einem Gold-Cap-Kondensator beziehen, der solarelektrisch geladen wird. Solche Geräte überwachen das unbefugte Betreten eines Grundstücks oder Einbruchversuche. Sie können vorprogrammierte Wahrnehmungen – wie z. B. die Betätigung eines Alarmschalters am Türgriff der Garage – weiterleiten (ins Haus funken) und vorgegebene Einschaltvorgänge oder Meldungen auslösen. Als Alarmschalter können ein Mikro-, Neigungs-, Stolper- oder Zungenschalter sowie eine Kontakttrittmatte dienen.



**Abb. 9.12** – Beispiel der Energieversorgung eines Voice-Moduls mithilfe eines Gold-Caps (Anbieter der Voice-Module: Conrad Electronic).

## 10 Batterien seriell und parallel betreiben

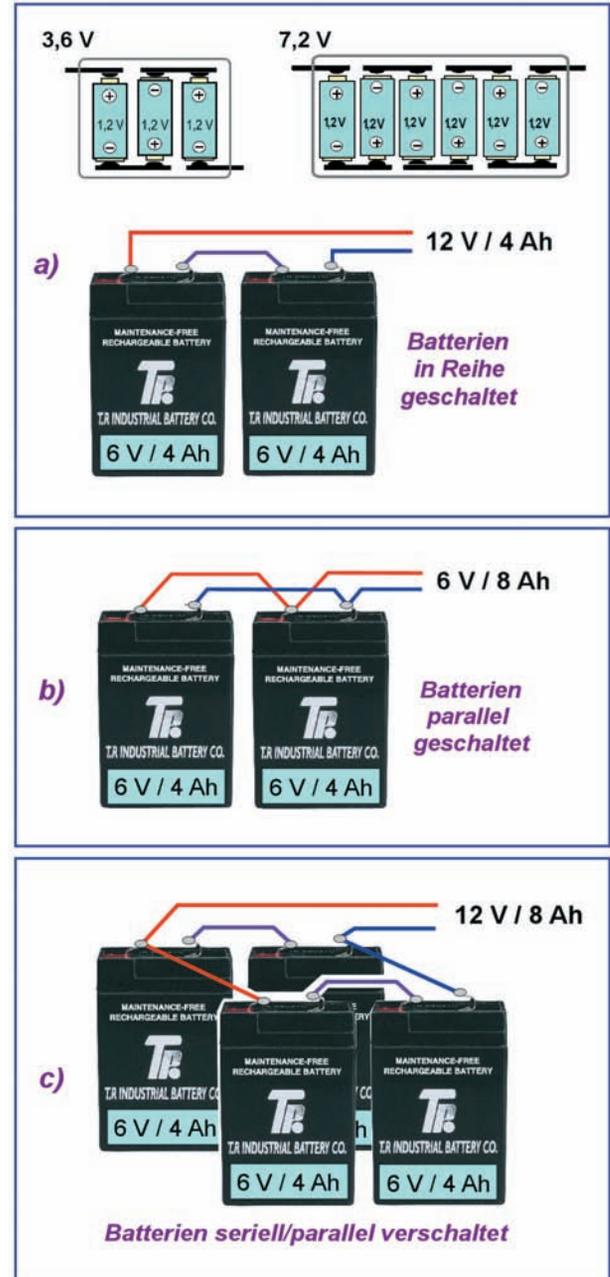
Das Grundprinzip des seriellen oder parallelen Betriebs von Batterien ist bekannt und leicht nachvollziehbar. Am häufigsten wird bei batteriebetriebenen Gebrauchsgegenständen der serielle Batteriebetrieb verwendet. Die Spannung einer einzelnen Zelle, die bei Einweg-Rundbatterien 1,5 Volt und bei wiederaufladbaren herkömmlichen Rundakkus 1,2 Volt beträgt, reicht

## 10 Batterien seriell und parallel betreiben

für die Spannungsversorgung nur selten aus. Glücklicherweise addiert sich die Spannung der in Reihe (seriell) geschalteten Zellen nach Abb. 10.1a und so kann bei einem batteriebetriebenen Gerät problemlos die erforderliche Versorgungsspannung durch die Länge der Batteriekette bestimmt werden.

Bei Selbstbauprojekten werden oft mehrere größere Bleiakkus parallel geschaltet, um eine höhere Kapazität zu erhalten. Erforderlich ist diese Lösung z. B. bei netzunabhängiger solarelektrischer Stromversorgung größerer Objekte (z. B. Schrebergartenhaus) oder bei Fahrzeugen, in denen verschiedene zusätzliche elektrische Verbraucher die Fahrzeugbatterie überfordern würden. Werden mehrere Batterien/Akkus miteinander verschaltet – egal ob in Reihe oder parallel –, sollten sie grundsätzlich typenidentisch sein. Andernfalls verläuft vor allem das Nachladen nicht zufriedenstellend ausgewogen. Genaugenommen müssten in dem Fall auch beide/alle Akkus möglichst die gleiche „Kondition“ haben. Ist einer der Akkus zwar von gleicher Bauart und Type, aber schon wesentlich älter als die anderen Akkus, könnte sein Lade- und Entladeverhalten „aus der Reihe tanzen“ und die Funktion des (oder der) parallel angeschlossenen Akkus beeinträchtigen. Unter Umständen könnte so ein „lebensmüder“ Akku auf die restlichen Akkus wie ein Energiesauger wirken.

**Abb. 10.1** – Batterien können seriell (in Reihe) oder parallel geschaltet werden: **a)** Bei einer seriellen Schaltung addieren sich die Spannungen einzelner Zellen. **b)** Bei paralleler Schaltung addieren sich die Kapazitäten (die Energievorräte) der einzelnen Zellen/Batterien. **c)** Eine seriell-parallele Verschaltung ist ebenfalls möglich, wird jedoch in der Praxis nur bei größeren Batterien angewendet.



## 10 Batterien seriell und parallel betreiben

In der Praxis kann bei Bedarf auf folgende Weise experimentell ermittelt werden, ob die Akkus, die parallel miteinander arbeiten, dazu auch tatsächlich geeignet sind:

- a) Laden Sie einen der Akkus voll auf. Nachdem Sie das Ladegerät abgeschaltet haben, messen Sie mit einem Voltmeter (Multimeter) seine Spannung und notieren sich den ermittelten Wert.
- b) Schließen Sie unmittelbar nach Beendigung des Ladens einen Verbraucher (Autolampe) für eine Zeitspanne an den Akku an, während der er theoretisch etwa die Hälfte der Akkukapazität verbrauchen müsste.

### Beispiel

Wenn Sie eine 15-Watt-Autolampe an eine 12-V/60-Ah-Autobatterie anschließen, wird sie einen Strom von ca. 1,25 Ampere pro Stunde beziehen, denn  $15 \text{ Watt} : 12 \text{ Volt} = 1,25 \text{ Ampere}$ . Die Autolampe wird demzufolge von der Batterie theoretisch 1,25 Ah (Amperestunden) pro Stunde beziehen und die Hälfte ihrer Kapazität somit innerhalb von ca. 24 Stunden verbrauchen ( $30 \text{ Ah} : 1,25 \text{ Ah} = 24 \text{ Std.}$ ).

- c) Kontrollieren Sie nach Ablauf der 24 Stunden, wie sich die Stromabnahme der Autolampe auf die Spannung des Akkus ausgewirkt hat und notieren

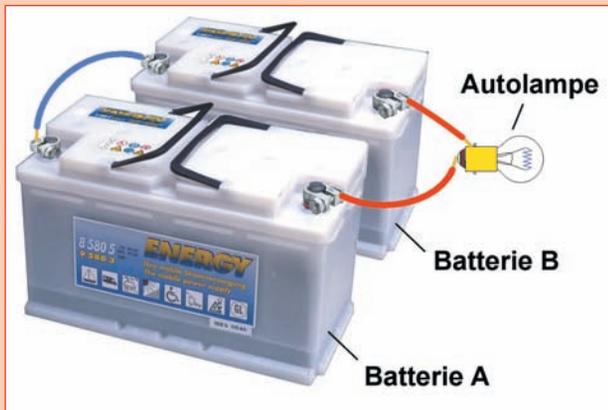
Sie alles – auch die genaue Dauer des Testvorgangs, der in diesem Fall anstelle von 24 auch z. B. 30 Stunden dauern kann. Diese Zeitspanne gilt jedoch nur für das Beispiel mit der 15-Watt-Autolampe. Falls Sie anstelle der 15-Watt-Autolampe an den getesteten Akku z. B. ein 30-Watt-Autoheizkissen anschließen, verkürzt sich die Testzeit auf die Hälfte.

- d) Lassen Sie danach den Akku ca. zwei bis vier Tage ruhen und messen dann seine Spannung (die Zeitspanne der Ruhe und die Spannung notieren Sie sich ebenfalls genau).
- e) Wiederholen Sie denselben Vorgang mit dem Zweitakku, notieren Sie ebenfalls alles genau und vergleichen anschließend die Ergebnisse. Wenn die ermittelten Spannungsunterschiede bei den Akkus mehr als ca. 5 % betragen, ist eine parallele Verbindung bedenklich. Falls einer der Akkus wesentlich älter ist als der andere, dürfte eine Kontrolle der Dichte des Elektrolyts bzw. ein Nachfüllen der Schwefelsäure (in einer Kfz-Werkstatt) vorgenommen werden (sowohl vor den Experimenten als auch erst im Nachhinein). Dies geht allerdings nur bei Bleiakkus, die mit einem flüssigen Elektrolyt gefüllt sind. Andernfalls käme noch ein Auffrischen des Akkus infrage, was ebenfalls in der Kfz-Werkstatt vorgenommen werden kann. Manchmal kann ein Blei-Akku auch durch zwei- oder dreimal wiederholtes Laden und Entladen (auf ca. 10,5 bis 11 V) etwas aufgefrischt werden.

## 10 Batterien seriell und parallel betreiben

### Wichtig

Bevor zwei oder mehrere Batterien miteinander parallel verbunden werden, sollten ihre Spannungen möglichst gleich hoch sein. Andernfalls kann es zur Beschädigung der Batterien kommen. Ein separates vorhergehendes Nachladen aller Batterien auf die gleiche Spannung ist erforderlich. Zudem ist es von Vorteil, wenn nach einer anschließenden Spannungskontrolle die Batterien miteinander nicht gleich direkt leitend, sondern erst z. B. für einen halben Tag z. B. über eine Autoglühlampe nach Abb. 10.2 verbunden werden, damit sich ihre Spannungen sanft angleichen können.



**Abb. 10.2** – Auf diese Weise können zwei Batterien über eine Autoglühlampe (oder über einen anderen 12-Volt-Verbraucher) für einen halben Tag miteinander verbunden werden, damit sich ihre Spannungen sanft angleichen können

## 11 Die Lebensdauer einer Batterie/eines Akkus

Zu den bekanntesten Akkus gehören Auto-Akkus (Autobatterien) und Werkzeugakkus. Viele der herkömmlichen Akkuwerkzeuge lassen sich oft bereits nach zwei oder drei Jahren nicht mehr (zufriedenstellend) nachladen. Die Ursache liegt hier im sogenannten Memory-Effekt („Gedächtnis“-Effekt): Wird der Akku nicht oft genug voll aufge- und entladen, wird er „faul“ und stellt sich darauf

## 11 Die Lebensdauer einer Batterie/eines Akkus

ein, dass ihm wenig abverlangt wird. Dieses Verhalten zeigt sich z. B. bei den Werkzeugakkus, indem ihre Kapazität nach einiger Zeit auffallend zu sinken beginnt und irgendwann gar keine Energie mehr speichern.

Theoretisch kann man dieser speziellen Eigenheit der NiCd-Akkus damit vorbeugen, dass sie alle drei Monate voll aufgeladen und danach tief entladen werden. In der Praxis funktioniert eine solche Pflege nur bedingt oder gar nicht. Der NiCd-Akku manch neu gekauften Werkzeugs fristet möglicherweise schon ein Jahr lang sein Dasein im Lagerregal, ohne dass ihn jemand gepflegt hätte. Dazu kommt, dass man die Pflege in der Praxis zu vergessen neigt – vor allem dann, wenn man das Gerät nur selten in Gebrauch hat.

Glücklicherweise werden die wesentlich besseren NiMH- und Lithium-Ionen-Akkus (Li-Ion-Akkus) bezahlbar, und die Hersteller steigen zunehmend auf diese Akkus um. NiMH-Akkus leiden im Vergleich zu NiCd-Akkus nicht mehr unter dem Memory-Effekt und halten somit länger durch – allerdings mit dem Nachteil, dass ihre Selbstentladung (typenbezogen) bis über 30 % (pro Monat) beträgt. In dieser Hinsicht sind Li-Ion-Akkus unschlagbar, denn ihre Selbstentladung liegt bei besseren Produkten unterhalb von ca. 1 % pro Monat, bei preiswerteren Ausführungen immerhin noch bei ca. 5 % pro Monat.

Die Lebensdauer aller Akkus hängt von ihrer Qualität, der Art und Häufigkeit des Nachladens sowie der jeweiligen Stromabnahme ab. Konkret lässt sich das an der Autobatterie erläutern: Wenn beispielsweise der Anlasser das Fahrzeug nicht startet, weil der Kontakt des Verteilers verschlissen ist, sollte man nach jedem neuen Startversuch jeweils mindestens bis 10 zählen, bevor man einen weiteren Startversuch vornimmt. Die Batterie braucht mindestens zehn Sekunden, um sich

von dem Stromstoß, den sie beim Starten erhält, zu erholen. Gönnst man ihr diese kleine Erholungspause nicht, verkürzt es ihre Lebenserwartung. Würde ein solcher Starvorgang so lange wiederholt, bis die Autobatterie ganz geleert ist, würde sie zu tief entladen und könnte danach weitere Dienste entweder ganz versagen oder durch erhöhte Selbstentladung ihren Betrieb nur noch dürftig fortzusetzen.

Schwefelsäuren-Bleiakkus, die umständehalber während der Wintermonate in einem Fahrzeug auch bei Temperaturen unter Null überleben sollen, sollten grundsätzlich gut (= möglichst voll) und ununterbrochen aufgeladen sein.

Das gilt sowohl für Fahrzeuge und Maschinen, die während der Wintermonate außer Betrieb sind, als auch für Fahrzeuge, die im Winter draußen stehen. Je besser ein Schwefelsäuren-Bleiakku aufgeladen ist, desto geringer ist die Gefahr, dass bei starkem Frost sein Elektrolyt einfriert und beim Auftauen das Akkugehäuse auseinanderreißt.

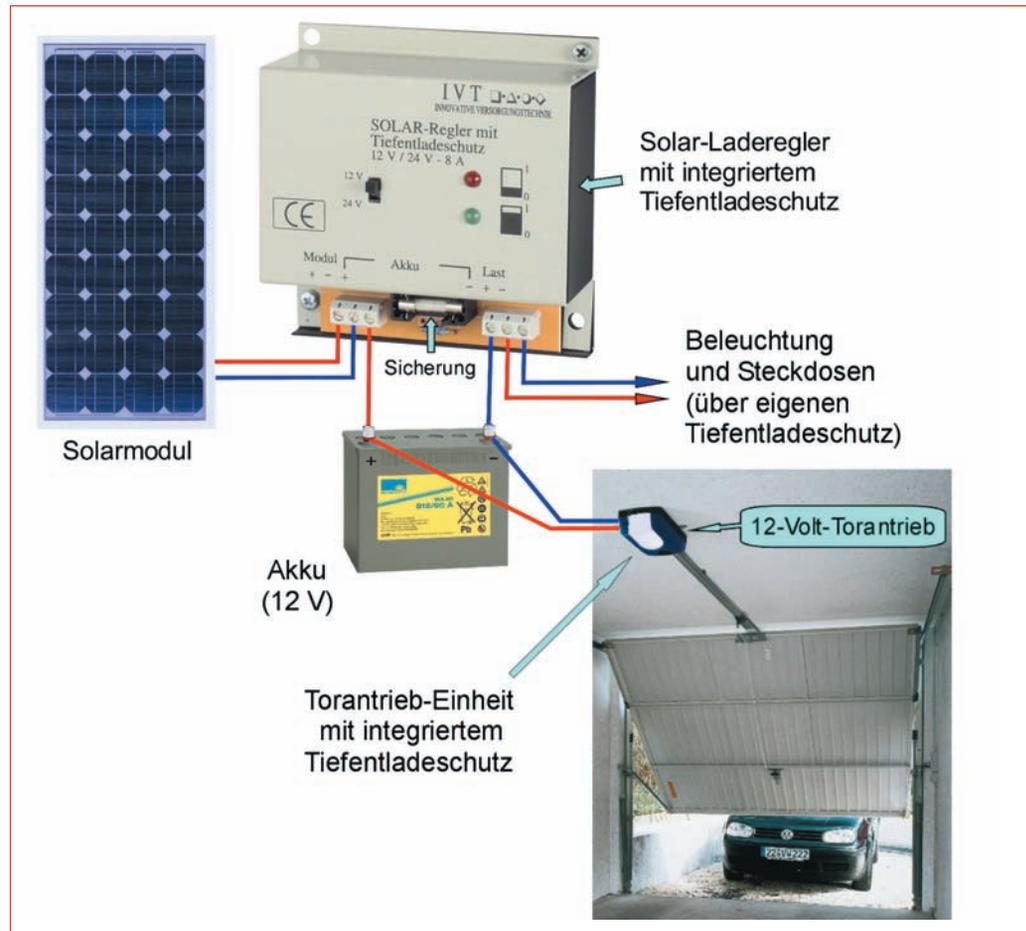
Auch frostunempfindliche Fahrzeugakkus sollten während der kälteren Jahreszeit öfter mit einem externen Ladegerät nachgeladen werden. Im Winter ist bekanntlich die Viskosität der Schmiermittel durch die Kälte schwer in Mitleidenschaft gezogen: Sie sind bei Frost hart und der Anlasser muss aus der Autobatterie eine kräftigere Leistung beziehen, um den Motor in Bewegung zu bringen. Da zudem die Autoleuchten im Winter während der Fahrt fast durchgehend eingeschaltet sind, benötigt die Lichtmaschine zum Nachladen der Autobatterie etwas mehr Zeit als während der wärmeren Jahreszeit. Für das Nachladen mit einem externen Ladegerät genügt dann in der Regel eines, das für einen maximalen Ladestrom von ca. 3 bis 4 Ampere ausgelegt ist (siehe hierzu auch Kapitel 13 *Das Laden*).

# 12 Der Tiefentladeschutz

## 12 Der Tiefentladeschutz

**B**leiakkus schätzen zu tiefe Entladungen (typenabhängig auf eine Spannung, die zwischen etwa 13 und 20 % der offiziellen Nennspannung des Bleiakkus liegt) nicht. Bei einer Autobatterie liegt somit die sogenannte *Tiefentladeschwelle* zwischen ca. 10,5 und 9,6 Volt. Wird diese Schwelle durch einen zu hohen Verbrauch unterschritten, kann der Akku beschädigt oder sogar vernichtet werden.

Ein Tiefentladeschutz-Gerät schafft zwar Abhilfe, ist aber für Kraftfahrzeug-Bleiakkus weder geeignet noch erlaubt. Das hat seine Berechtigung, da dieses Gerät den Akku vor einer Tiefentladung schützt, indem es die Verbindung zu den angeschlossenen Verbrauchern unterbricht, sobald die Akkuspannung in die Nähe der Tiefentladeschwelle sinkt. Ein Fahrzeug bliebe in einem solchen Fall einfach stehen oder seine Lichter würden



**Abb. 12.1 –** Beispiel einer mit Solarstrom versorgten Garage, deren elektrische Verbraucher an den Solarakku über zwei unabhängige Tiefentladeschutz-Geräte angeschlossen sind.

## 12 Der Tiefentladeschutz

während der Fahrt abgeschaltet. Für stationäre Anlagen oder Zweit-Bleiakkus, die in einem Fahrzeug nicht für den Anlasser und die Beleuchtung, sondern nur für zusätzliche elektrische Verbraucher vorgesehen sind, ist dagegen ein zusätzlicher Tiefentladeschutz sinnvoll.

Mit Vorliebe wird ein Tiefentladeschutz bei Batterien verwendet, die als Energiespeicher von Photovoltaikanlagen dienen. Da die Stromversorgung in unserem Land lückenlos gegeben ist, werden Batterien als Energiespeicher nur bei netzunabhängigen Photovoltaikanlagen angewendet. Bei netzgekoppelten Photovoltaikanlagen wird der erzeugte Solarstrom voll ins öffentliche Netz durchverkauft. Der eigene Strombedarf wird mit dem kostengünstigeren Strom aus dem öffentlichen Netz gedeckt, wodurch sich hier kein Bedarf ergibt, die Solarenergie zu speichern (das wäre zu teuer).

Bei stationären Anlagen ist dagegen der Tiefentladeschutz wichtig, denn er schützt den Anlagenakku vor Vernichtung durch Tiefentladung. Daher ist es wichtig, möglichst alle elektrischen Verbraucher einer

selbstständig arbeitenden Photovoltaikanlage über einen Tiefentladeschutz an die Batterie anzuschließen. Dies ist vor allem bei solarelektrisch betriebenen Systemen wichtig, deren „Hauptverbraucher“ über einen eigenen (internen) Tiefentladeschutz verfügen. Als Beispiel sei hier eine Garage genannt, in deren Solar-Torantriebeinheit bereits ein Tiefentladeschutz integriert ist. Werden an den Speicherakku einer solchen Garage z. B. weitere Leuchtkörper (Innen- und Außenbeleuchtung) oder Geräte (Einbruchsschutz, Steckdosen für Auto-Heizbezüge) angeschlossen, sollten sie ein zusätzliches Tiefentladeschutz-Gerät erhalten.

In der Praxis wird in solchen Fällen meist ein Tiefentladeschutz-Gerät angewendet, das im Solar-Laderegler integriert ist. Die eigentliche Torantriebeinheit, die bereits über ihren eigenen Tiefentladeschutz verfügt, wird dann nach Abb. 12.1 direkt an die Klemmen der Batterie und die Sektionen der Beleuchtung an die Anschlussklemmen des Tiefentladeschutzausgangs am Laderegler angeschlossen.



**Abb. 12.2** – Auch der Akku einer solarelektrischen Carport-Beleuchtung benötigt einen Tiefentladeschutz; ist die Solaranlage ausreichend großzügig dimensioniert, können im Winter auch die Auto-Heizkissen mit Solarstrom vorgewärmt werden.

## 12.1 Tiefentladeschutz-Geräte für Zweitbatterien im Pkw

Wer sich eine leistungsstarke Musikanlage im Pkw installiert, kann die Erfahrung machen, dass die Autobatterie nach kurzer Zeit erneuert werden muss. Es kommt vor allem dann vor, wenn die Musikanlage bei einem abgestellten Fahrzeug über längere Zeit aufgedreht wird und dabei der Autobatterie zu viel Energie entzieht. Angenommen, an eine 60-Ah-Autobatterie (Bleiakku) wird ein Verstärker mit einer Sinusleistung von 2 x 240 Watt angeschlossen und auf höchster Lautstärke betrieben. Wenn der Verstärker der 12-Volt-

Autobatterie eine Stunde lang eine Leistung von 400 Watt bezieht, kann man nachrechnen, wie hoch hier der Verbrauch ist. Mit der Leistung (in Watt) : Spannung (in Volt) = Strom (in Ampere) ergibt sich:

$$400 \text{ Watt} : 12 \text{ Volt} = 33,33 \text{ Ampere}$$

Ein derart kräftiger Verstärker würde die 60-Ah-Autobatterie innerhalb von 2 Stunden so tief entladen, dass sie dadurch höchstwahrscheinlich vernichtet

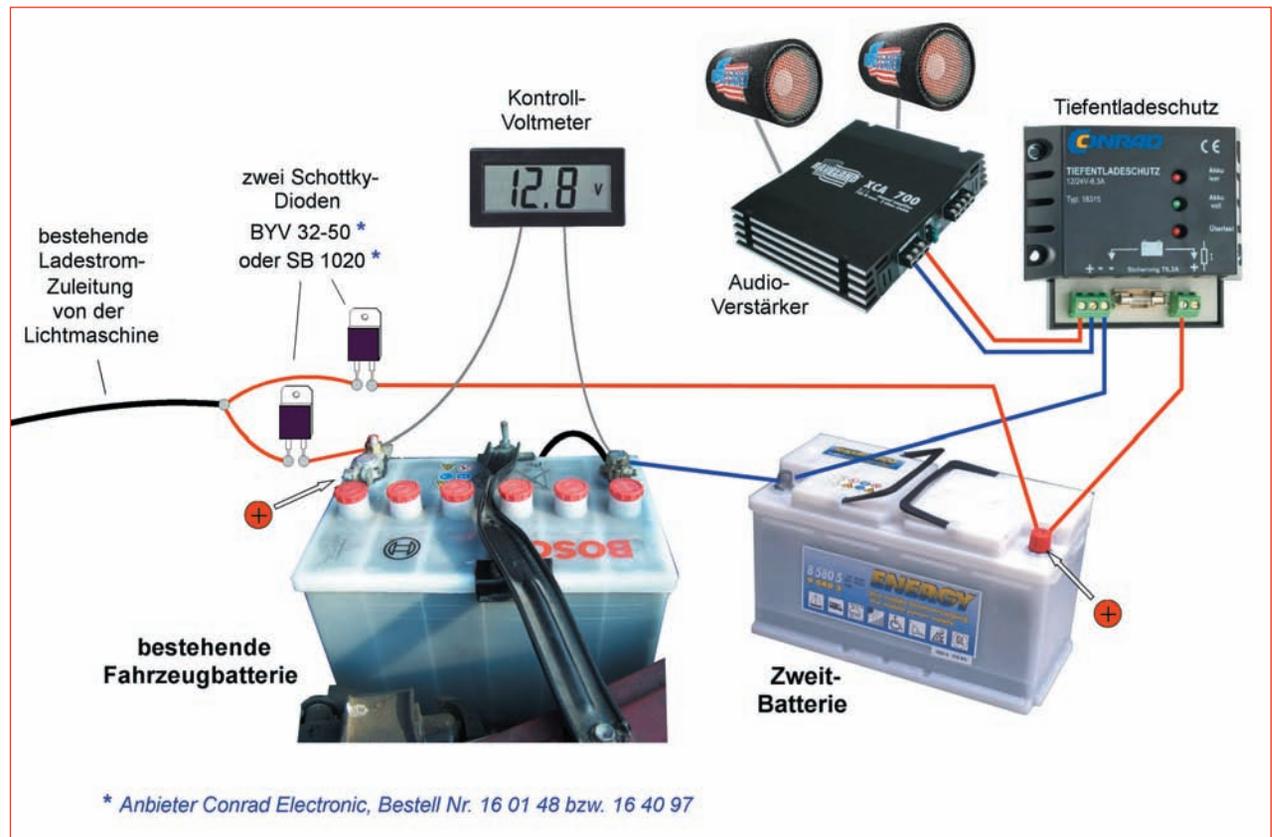


Abb. 12.3 – Zweitbatterie im Auto.

## 12.1 Tiefentladeschutz-Geräte für Zweitbatterien im Pkw

wäre. Nicht die offizielle Nennleistung des verwendeten Verstärkers, sondern seine jeweils bezogene Abnahmeleistung ist jedoch für den Energieverbrauch bestimmend. Je lauter die Klangwiedergabe ist, desto höher ist der Energieverbrauch des Verstärkers in Watt, die als Musikleistung beansprucht werden.

Ähnlich dem angesprochenen Audioverstärker zehren auch diverse weitere Verbraucher von einer Autobatterie. Zuverlässige Abhilfe bietet in solchen Fällen eine Zweitbatterie, die nach Abb. 12.3 einen zusätzlichen Tiefentladeschutz erhalten sollte.

Bei einem Fahrzeug, dessen Anlasser und Lichter die Lichtmaschine nicht allzu sehr beanspruchen, kann die Zweitbatterie das Nachladen zumindest größtenteils übernehmen. Zwei zusätzliche Maßnahmen sind dabei erforderlich:

- Zwei Schutzdioden (Schottky-Dioden) müssen die eigentliche Fahrzeugbatterie nach Abb. 12.3 vor dem Entladen durch die weiteren Verbraucher schützen.
- Ein eventuell zusätzlich eingebautes Kontrollvoltmeter sollte eine laufende Kontrolle der Fahrzeugbatterie ermöglichen. Falls die Lichtmaschine das kontinuierliche Nachladen beider Batterien nicht verkraftet, muss die Zweitbatterie zumindest ab und zu von einem externen Ladegerät nachgeladen werden. Da in diesem Fall die zwei Schutzdioden eine elektrische Sperre bilden, die dem Ladestrom nur einen „Einrichtungsverkehr“ erlaubt, kann die Zweitbatterie beim Nachladen durch ein externes Ladegerät (Abb. 12.4) unverändert an die Autobatterie angeschlossen bleiben.

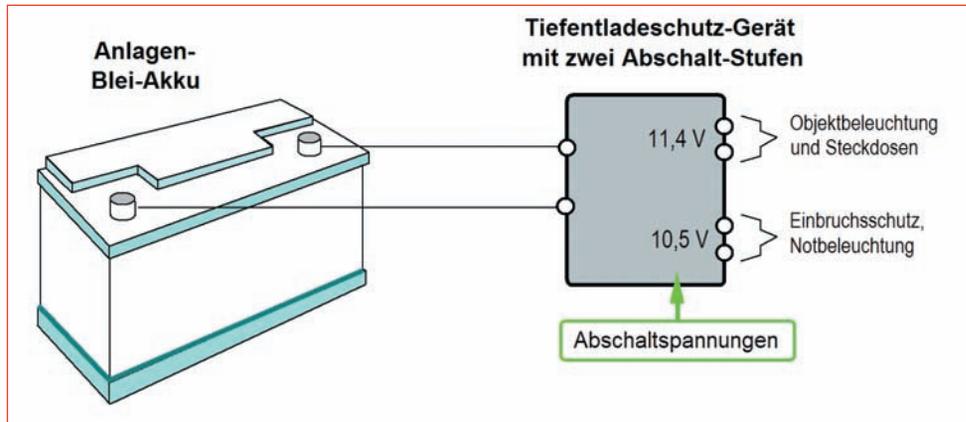


**Abb. 12.4** – Die zusätzliche Batterie aus Abbildung 12.2 kann bei Bedarf durch ein externes Netzladegerät geladen werden, wobei sie an die Autobatterie angeschlossen bleiben darf.

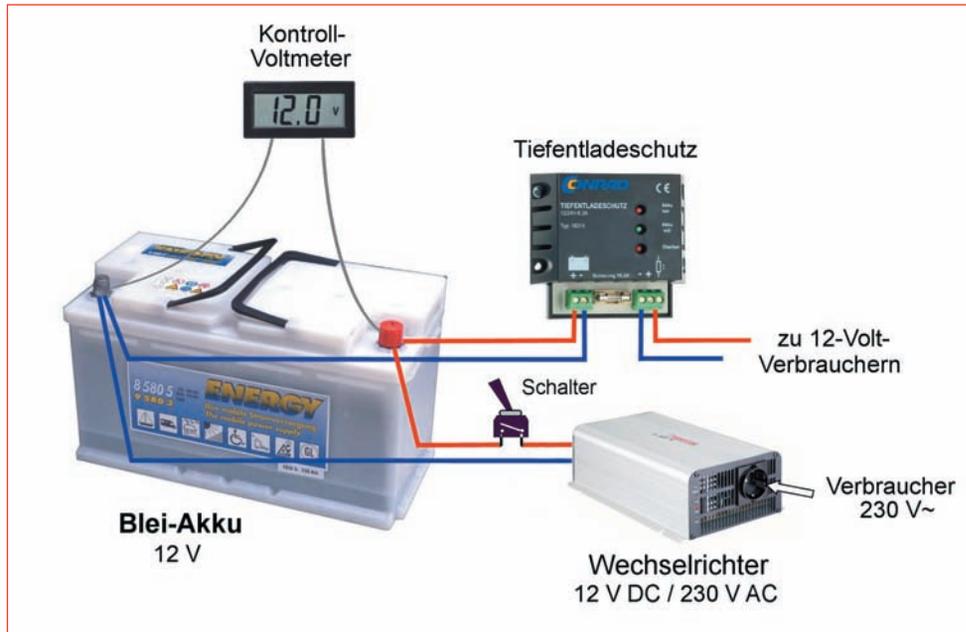
## 12.2 Tiefentladeschutz-Geräte für stationäre Anlagen

**B**leiakkus, die für die Stromversorgung stationärer Anlagen dienen, sollten ausgangsseitig mit einem Tiefentladeschutz versehen werden. Die meisten Tiefentladeschutz-Geräte sind für eine fest vorgegebene

*Tiefentlade-Abschalt- und -Rückschaltspannung* ausgelegt, bei einigen dieser Geräte kann die *Tiefentlade-Abschaltspannung* individuell eingestellt und auf die Parameter des verwendeten Akkus angepasst werden.



**Abb. 12.5** – Einige Tiefentladeschutz-Geräte verfügen über zwei separat einstellbare Tiefentlade-Abschaltsschwellen.



**Abb. 12.6** – Ein Wechselrichter, dessen Stromabnahme den maximal zulässigen (und oft auch durch eine Sicherung geschützten) Strom des Tiefentladeschutz-Geräts überschreitet, muss direkt an den Anlagenakku angeschlossen werden: Eine laufende Spannungs-kontrolle ist erforderlich.

## 12.2 Tiefentladeschutz-Geräte für stationäre Anlagen

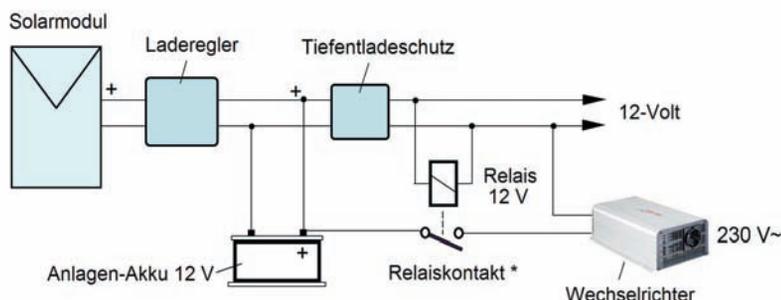
Einige Tiefentladeschutz-Geräte verfügen (Abb. 12.5) über zwei unterschiedlich eingestellte (bzw. einstellbare) *Tiefentlade-Abschaltschwellen*. Auf diese Weise können Verbraucher mit einem höheren Strombedarf vom Akku eher abgeschaltet werden als z. B. Verbraucher deren Betrieb einen erhöhten Stellenwert hat und zudem nur wenig Energie verbraucht.

Zu den wichtigsten elektrischen Parametern eines Tiefentladeschutz-Geräts gehören die eigentliche Arbeitsspannung (meist 12 oder 24 Volt) und der maximal zulässige Laststrom, der über das Gerät bezogen werden darf und bei den gängigsten Geräten typenabhängig zwischen ca. 6 und 30 A liegt.

### Wichtig

Bei stationären Anlagen wird neben der eigentlichen Anlagenbatteriespannung (von 12 oder 24 Volt) oft auch noch eine 230-Volt-Wechselspannung benötigt, die über einen zusätzlichen Wechselrichter bezogen wird. Hier ist darauf zu achten, dass die vom Wechselrichter bezogene Leistung meist recht hoch ist und daher bestenfalls nur ein sehr kleiner Wechselrichter an den Akku über ein Tiefentladeschutz-Gerät angeschlossen werden darf. Ist beispielsweise das Tiefentladeschutz-Gerät für einen maximalen Laststrom von 30 A ausgelegt, ergibt sich daraus bei einem 12-V-Akku eine theoretische Maximumleistung von 360 W bzw. 360 VA ( $30 \text{ A} \times 12 \text{ V} = 360 \text{ W/VA}$ ). In der Praxis dürfte zwar an das Tiefentladeschutz-Gerät z. B. auch ein 600-Watt-Wechselrichter angeschlossen werden, aber die eigentliche Abnahmeleistung des über den Wechselrichter betriebenen elektrischen Verbrauchers dürfte nicht mehr als ca. 250 Watt betragen. Andernfalls würde das Tiefentladeschutz-Gerät überlastet und vernichtet. Hier bleibt oft nur, den Wechselrichter direkt an den Bleiakku anzuschließen, wobei die Akkuspannung unbedingt z. B. mithilfe eines zusätzlichen Voltmeters (Abb. 12.6) kontrolliert werden sollte. Falls der angewendete Wechselrichter über keinen eigenen Hauptschalter verfügt, sollte er in Hinsicht auf seinen Stand-by-Stromverbrauch primär über einen zusätzlichen Schalter an den Akku angeschlossen werden, mit dem er nur bei Bedarf zugeschaltet wird.

**Abb. 12.7** – Über den Schaltkontakt eines zusätzlichen elektromagnetischen Relais kann ein größerer Wechselrichter an den Anlagen-Akku ohne die Gefahr angeschlossen werden, dass er ihn zu tief entladen könnte: Der Tiefentladeschutz schaltet somit bei zu tiefer Entladung das Relais – und damit auch den Wechselrichter – ab.

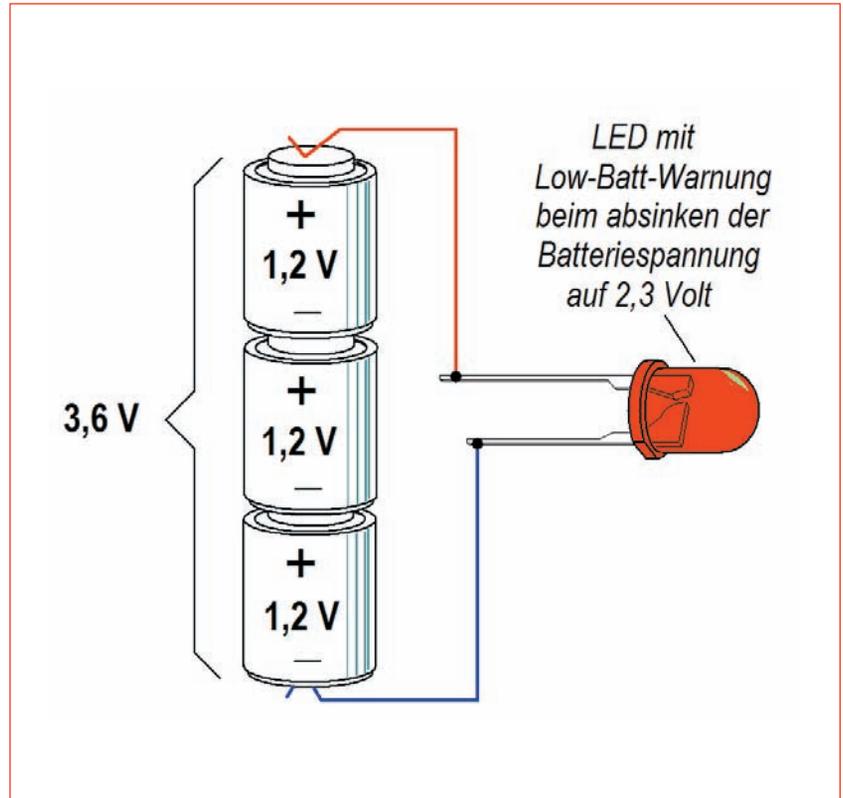


\* Der Relaiskontakt muss in Hinsicht auf die Stromabnahme des Wechselrichters ausreichend dimensioniert werden (geht aus den technischen Daten jedes Relais hervor). Die Relaisspule sollte möglichst wenig Strom beziehen und daher für einen ausreichend hohen ohmschen Widerstand (ab ca. 240 Ohm) ausgelegt sein.

## 12.3 Leuchtdioden mit Low-Batt-Warnung

Als Spannungsüberwachung können unter Umständen auch speziell für diesen Zweck konzipierte Leuchtdioden (LEDs) mit Unterspannungswarnung (Low-Batt-Warnung) verwendet werden. Sie leuchten, dank internem CMOS-Chip, auf, sobald die Spannung auf einen vorgegebenen Pegel sinkt.

Das handelsübliche Angebot an solchen Leuchtdioden (LEDs mit Low-Batt-Warnung) ist begrenzt. Conrad Electronic führt seit etlichen Jahren eine solche LED, die bei Absinken der Betriebsspannung auf ca. 2,3 Volt zu leuchten anfängt. Der Stand-by-Strom dieser LED beträgt nur 5  $\mu\text{A}$ , damit die überwachte Batterie oder der Akku nicht entladen wird. Die Leuchtdiode ist rot und sie darf ohne eine vorgeschaltete Zenerdiode an eine Spannung von maximal 10 Volt (direkt) angeschlossen werden.



**Abb. 12.8** – Leuchtdiode mit Unterspannungswarnung (Anbieter Conrad Electronic).

## 12.3 Leuchtdioden mit Low-Batt-Warnung

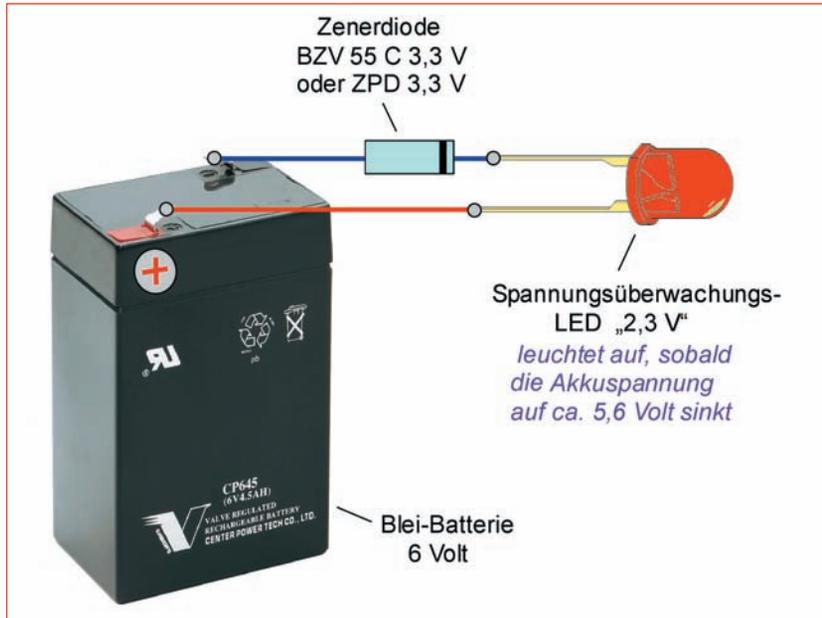


Abb. 12.9 – LED-Spannungsüberwachung an einem 6-Volt-Akku.

Zwei Anwendungsbeispiele mit dieser Leuchtdiode zeigen die Abb. 12.8 und 12.9. In Hinsicht auf die Streuung bei handelsüblichen Zenerdioden sollte beim Nachbau der von uns entwickelten Schaltungsbeispiele jeweils überprüft werden, bei welcher Spannungsschwelle die LED tatsächlich aufleuchtet. Eine einfache Überprüfung der Funktion kann z. B. nach Abb. 12.10 vorgenommen werden.

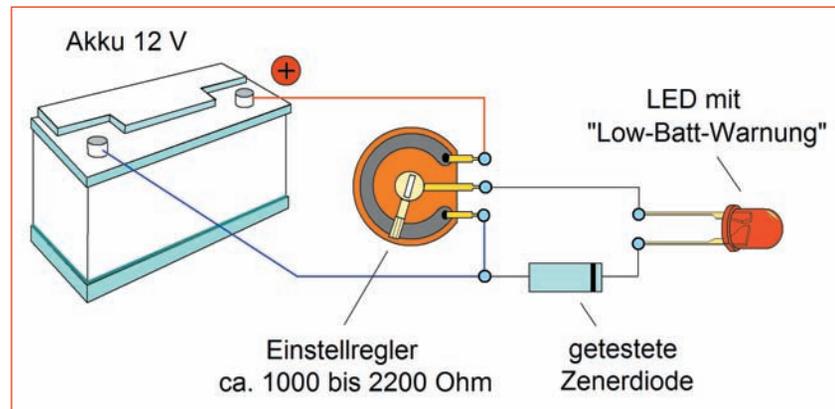


Abb. 12.10 – Testschaltung für die Funktionskontrolle der LED-Spannungsüberwachung.

## 12.4 Schutz gegen Tiefentladung und Sulfatablagerung bei Bleiakkus

An den Bleiplatten (Elektroden) von Bleiakkus, die nicht regelmäßig benutzt und nachgeladen werden, bilden sich Sulfatablagerungen, die eine oft schlechende Verringerung der Akkukapazität und eine vorzeitige Alterung dieser Energiespeicher zu Folge haben. Eine unregelmäßige Nutzung kommt am häufigsten bei Bleiakkus vor, die in landwirtschaftlichen Maschinen, Gartengeräten oder Motorrädern ihren „Winterschlaf“ halten.

Einfache und zudem meist preiswerte Kleingeräte, die z. B. unter den Bezeichnung *Batterietrainer*, Akku-Refresher oder Batterie-Aktivatoren erhältlich sind, können während der „Winterschlafperiode“ die Bleiakkus laufend funktionsfähig halten. Dies geschieht durch unterschiedlich dosierte Lade- und Entlade-Impulse, durch die der Gasaustauschprozess im Akku in Gang gehalten wird. Die Sulfatablagerung an den Bleiplatten des Akkus wird dadurch verhindert und die Lebenserwartung des Akkus maßgeblich verlängert. Diese Kleingeräte können als Mini-Ladegeräte betrachtet werden, die vollautomatisch diverse zusätzliche Aufgaben erfüllen, die den Akku aktiv halten. Man kann z. B. das Fahrzeug an sie anschließen, ähnlich wie an ein normales Ladegerät, und danach bis zum Frühjahr unbeaufsichtigt arbeiten lassen. Ihr Energieverbrauch ist meist sehr gering, denn sie laden den Akku nur in längeren Zeitabständen nach. Je nach dem individuellen Gerätekonzept wird der Akku auch nur sporadisch in einem technisch sinnvollen Umfang mit Lade- und Entladezyklen aktiviert. Die meisten dieser Geräte können auch teilgeschädigte Bleiakkus wieder aktivieren und ihre Nutzungsdauer etwas verlängern (siehe hierzu auch Kapitel 13.5).

Die tatsächlichen Kapazitätsverluste von Bleiakkus können z. B. bei länger abgestellten Fahrzeugen durch die Selbstentladung recht hoch werden, wenn zwi-

schendurch überhaupt kein Nachladen erfolgt. Kleine Solarzellenmodule (Abb. 12.11b) können die Selbstentladung zwar nicht immer vollständig, meist aber dennoch ausreichend kompensieren.



**Abb. 12.11** – Als Schutz gegen die Tiefentladung von Bleiakkus, die über einen längeren Zeitraum nicht benutzt werden, eignen sich am besten kleine netzbetriebene „Nachladegeräte“ oder passende solarelektrische Lademodule: **a)** Der Batterie-Trainer von HP ist für Bleiakkus von 10 bis 250 Ah konzipiert. **b)** Kleine Solarzellenmodule „trainieren“ zwar nicht den Bleiakku, können aber während seines „Winterschlafs“ Selbstentladungsverluste abfangen.

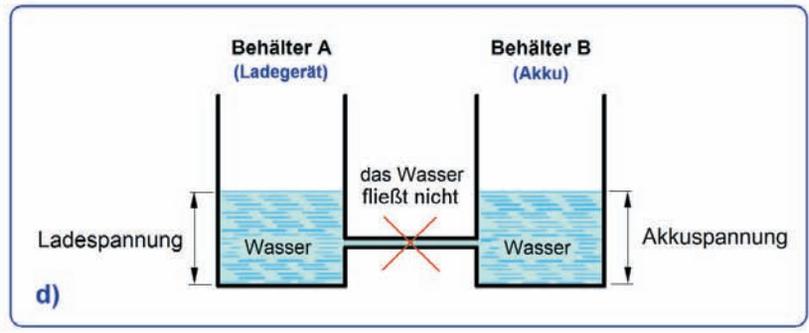
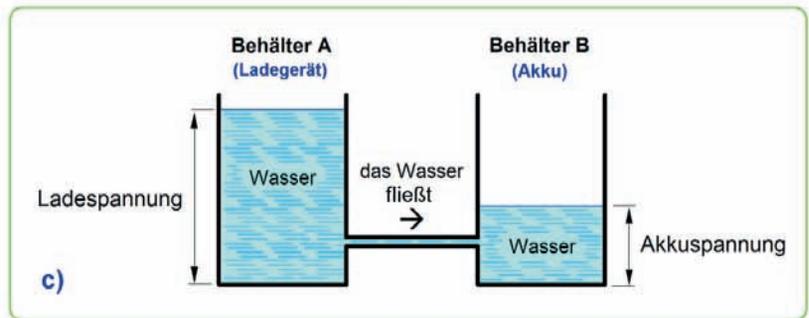
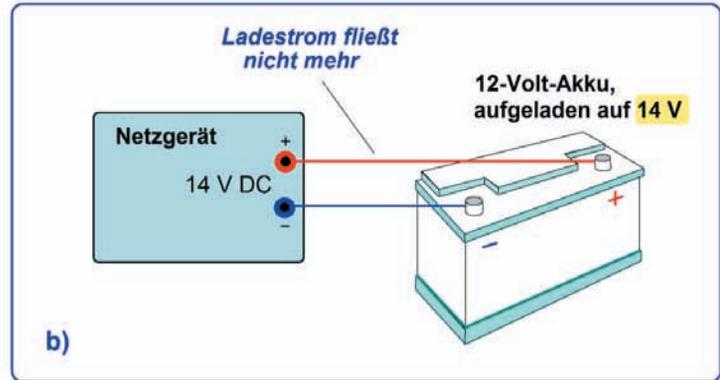
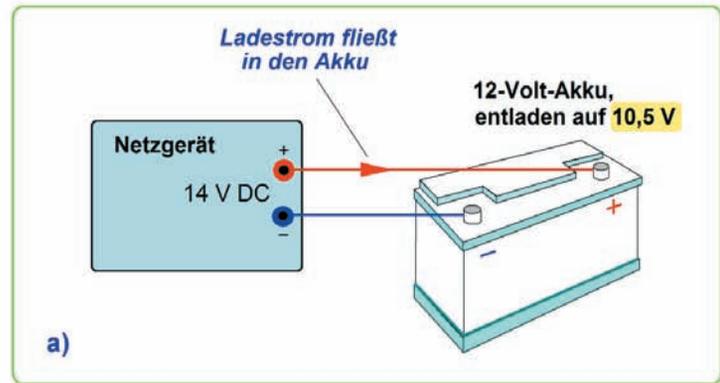
# 13 Das Laden

## 13 Das Laden

Ein großer Teil der Akkugeräte wird bereits mit einem Ladegerät verkauft. Der Anwender braucht sich dann mit der Problematik des Ladens gar nicht zu befassen, denn er kann darauf ohnehin keinen Einfluss nehmen. Das Gleiche gilt auch für Geräte, bei denen optional ein Ladegerät als Zubehör erhältlich ist. Dem Kunden stehen beim Kauf solcher Geräte meist keine Informationen über die Qualität der produktspezifischen Ladegeräte zur Verfügung. Welcher Besitzer eines Akkuschaubers führt schon Buch darüber, wann und wie lange er jeweils geschraubt hat, wie oft er das Akkuwerkzeug nachgeladen hat bzw. wie gut der interne oder externe Ladeadapter den Akku tatsächlich nachgeladen hat? Wenn das Gerät nach geraumer Zeit nicht mehr arbeitet, wirft man es weg, denn oft ist eine Reparatur zu kostspielig. Für einen neuen Akkupack muss man oft mehr bezahlen, als ein neues Gerät kostet.

Glücklicherweise gibt es auch noch Geräte und Vorrichtungen mit

**Abb. 13.1** – Ladestrom (wie Wasser) kann von der „Quelle“ aus nur dann fließen, wenn die Ebenen der Spannungen (oder Wasserstände) unterschiedlich sind.

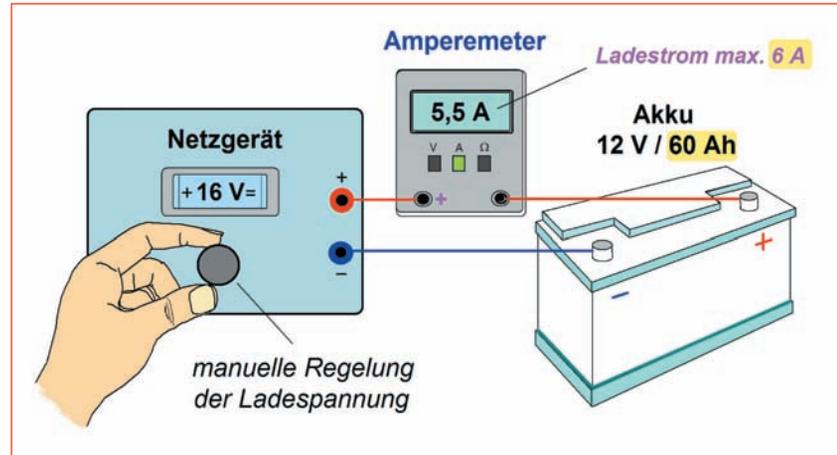


## 13 Das Laden

auswechselbaren universalen Akkus, die der Anwender separat laden und pflegen kann. Wie er dabei vorgeht bzw. welches Ladegerät er zu diesem Zweck verwendet, wird ihm überlassen. Dann ist es von Vorteil, wenn er etwas genauer im Bilde darüber ist, worum es geht und worauf es ankommt.

Das eigentliche Prinzip des Ladens eines Akkus ist einfach: Ein entladener Akku kann z. B. nach Abb. 13.1a an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen werden, deren Spannung etwa 15 bis 16 % höher ist als die des Akkus. Nach einer Weile ist der Akku wieder voll aufgeladen.

Sobald die Akkuspannung auf die Spannung der Ladequelle (des Netzgeräts) angestiegen ist, hört der Ladestrom auf zu fließen, denn die Ladespannung ist nicht mehr höher als die Akkuspannung (Abb. 13.1b). Noch greifbarer verdeutlichen einen Ladevorgang Abbildungen 13.1c/d, in denen der elektrische Strom durch Wasser ersetzt wird. Ein großer Unterschied zwischen strömendem Wasser und strömendem elektrischen Strom besteht jedoch bei den physikalisch bedingten „Beweggründen“, durch die sich diese beiden „fließenden Materien“ unterscheiden. Hier hilft uns ein einfaches Beispiel aus der Hausinstallation: Die Stärke des



**Abb. 13.2** – Das Laden eines Akkus kann bei Bedarf auch mithilfe einer regelbaren Spannungsquelle nur rein manuell vorgenommen werden.

Wasserflusses können wir ein Stück weit damit bestimmen, wie weit wir den Wasserhahn aufdrehen. Die Menge des elektrischen Stroms, die ein Verbraucher aus einer Steckdose oder Batterie bezieht, bestimmt der Verbraucher selbst. Wir können zwar bei einigen Verbrauchern die Stufe der Stromabnahme durch einen Regler (Lichtdimmer bei Leuchten oder Lautstärkeregelung bei Audiogeräten) beeinflussen, aber das nur sehr begrenzt. Im Prinzip bestimmt nur der *Innenwiderstand* (die *Impedanz* des Verbrauchers) die Stromabnahme.

Der in Abb. 13.1 bildhaft dargestellte Vergleich dient daher nur zur Verdeutlichung des physikalischen

Phänomens: Der elektrische Strom kann beim Laden nur so lange strömen, wie es einen Spannungsunterschied zwischen der Ladespannungsquelle und der Akkuspannung gibt. Sobald die Spannung des Akkus auf die der Ladequelle ansteigt, bezieht der Akku keinen Strom mehr.

Die in Abb. 13.1 a/b dargestellte Art des Ladens wird bei einfacheren Steckerladegeräten ähnlich gehandhabt. Sie hat jedoch den Nachteil, dass das Nachladen sehr lange dauert. Die Differenz zwischen der Spannung der Ladespannungsquelle (= der Ladegeräts) und der Akkuspannung ist zu gering. Demzufolge ist hier auch der Lade-

## 13 Das Laden

strom zu niedrig und sinkt außerdem während des Nachladens des Akkus bis in die Nähe von Null.

Prinzipiell verläuft das Nachladen einer Batterie ähnlich wie z. B. das Einlassen des Wassers in eine Badewanne: Je nachdem wie weit der Wasserhahn aufgedreht wurde, dauert es kürzer oder länger, bis sich die Wanne gefüllt hat. Wollte man dieses Prinzip z. B. bei manuell geregeltem Laden eines Akkus anwenden, müsste die Ladespannung regelbar sein – was z. B. nach Abb. 13.2 machbar wäre.

Durch angemessenes „Aufdrehen“ der Ladespannung kann am Anfang des Ladens der Ladestrom auf einen Wert eingestellt werden, der für das Laden einer Autobatterie oder eines NiCd-Akkus höchstens 10 % der Akkukapazität betragen darf. Da während des Ladens die Akkuspannung steigt, würde bei einer fest eingestellten Ladespannung der Ladestrom kontinuierlich sinken.

Bei einer regelbaren Spannungsquelle (Abb. 13.2) könnten wir jedoch die Ladespannung ebenfalls kontinuierlich (bzw. stufenweise) so erhöhen, dass der Ladestrom während der Hauptladephase konstant bleibt.

Der Ladestrom müsste in diesem Fall mithilfe eines Amperemeters (Multimeters) eingestellt und kontrolliert werden. Erst wenn sich in der Lade-Endphase die Akkuspannung ihrem sogenannten *maximalen Ladeschlussspannungswert* nähert, müsste die Ladespannung an der Quelle auf diesen Wert herabgedreht werden. Andernfalls käme es zu einer Überladung des Akkus, was ihn zerstören würde.

Ein Akku verhält sich beim Laden wie jeder andere elektrische Verbraucher auch. Er bestimmt, wie viel Strom er jeweils bezieht. Der Einfachheit halber kann man sich einen geladenen Akku als ohmschen Widerstand vorstellen, der nach Abb. 13.3 an die Ladestrom-/Ladespannungs-Quelle angeschlossen ist.

Der innere Widerstand des Akkus (bzw. seine Impedanz) und das elektrochemische Verhalten bestimmen

### Wichtig

Die **maximale** Ladeschlussspannung beträgt bei Bleiakkus ca. 2,35 Volt, bei NiCd- und NiMH-Akkus ca. 1,55 Volt pro Zelle. Herstellerabhängig können die hier angegebenen Spannungshöchstgrenzen geringfügig variieren. Beim Laden mit Selbstbau-Ladegeräten oder Ladevorrichtungen (die z. B. bei solarelektrischem Laden von Kleinakkus individuell entworfen und erstellt werden) ist zwingend darauf zu achten, dass diese Schwellwerte nicht überschritten werden. Bei Zweifeln (bzw. bei Anwendung ungenauer Messgeräte) ist eine angemessene Unterschreitung der Ladeschlussspannung zu empfehlen. Dabei wird der Akku nur auf etwa 90 oder 95 % und nicht auf volle 100 % auf- bzw. nachgeladen, was jedoch vor allem bei Akkus, die z. B. „durchlaufend“ solarelektrisch nachgeladen werden, nicht viel ausmacht.

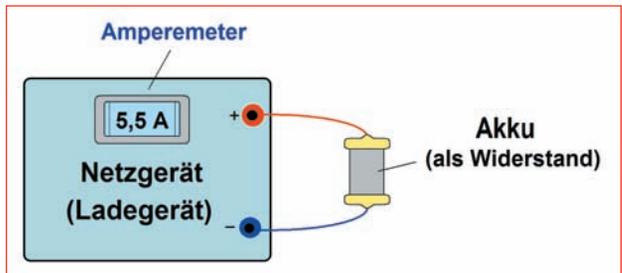


Abb. 13.3 – Einen geladenen Akku kann man sich als ohmschen Widerstand vorstellen.

die jeweilige Ladestromabnahme. Mit zunehmender Größe des Akkus sinkt sein fiktiver ohmscher Widerstand. Dadurch steigt die Ladestromabnahme mit der Kapazität des Akkus. Selbstverständlich ist auch die Bauart des Akkus für seinen inneren Widerstand und somit für seine Stromabnahme mitbestimmend.

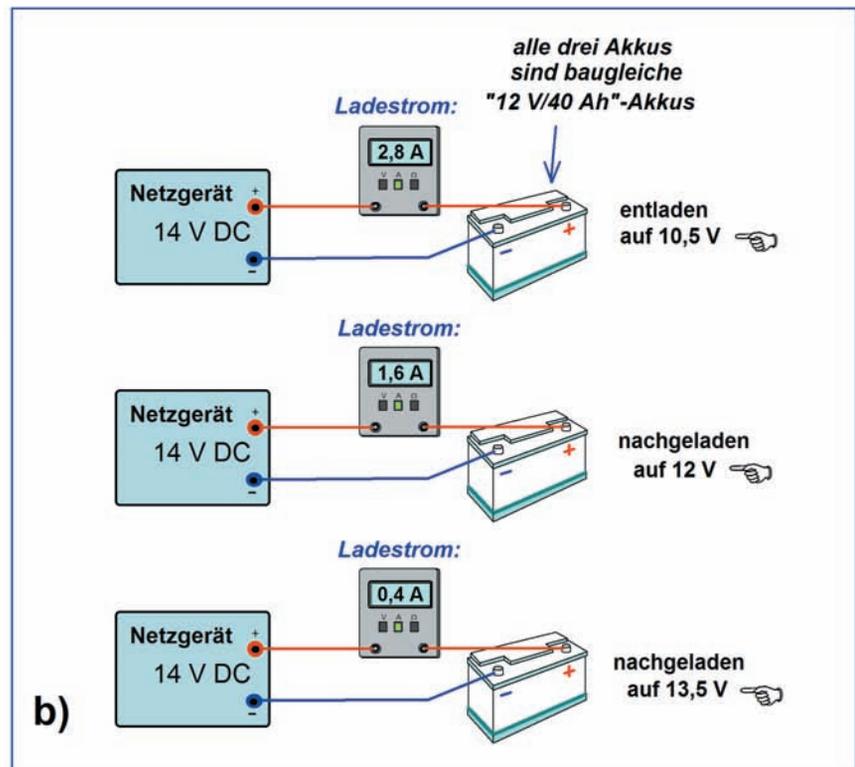
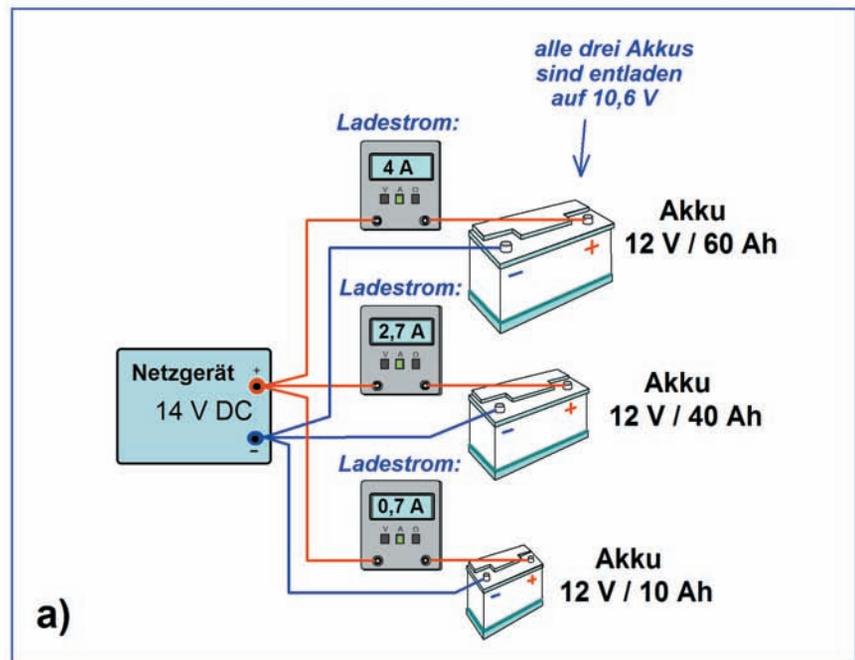
## 13 Das Laden

Die Zusammenhänge der Vorgänge im Innenleben eines Akkus sind zwar ziemlich komplex, hat man jedoch nicht vor, neue Akkus zu entwickeln und herzustellen, genügt es völlig, sich die Akkus im Zusammenhang mit dem Laden einfach als ohmsche Widerstände vorzustellen – wie es auch in *Abb. 13.3* leicht verständlich dargestellt ist.

Der „ohmsche Wert“ des jeweiligen Akkus variiert zwar etwas während des Ladens, aber das dürfen wir negieren und den geladenen – oder für das Laden vorgesehenen – Akkus schlicht als einen Widerstand betrachten, dessen ohmscher Wert für den Ladestrom bestimmend ist.

Daraus resultiert, dass z. B. von einer Festspannungsquelle ein Akku mit niedriger Kapazität

**Abb. 13.4** – Der Ladestrom, den ein Akku bezieht, hängt von seinem Innenwiderstand und von der Spannungsdifferenz zwischen der Ladespannung und der jeweiligen Akkuspannung ab: **a)** Je größer die Kapazität eines Akkus ist, desto niedriger ist im Allgemeinen sein Innenwiderstand. **b)** Wenn während des Ladens die Spannung des geladenen Akkus steigt, wird die Spannungsdifferenz zwischen einer festen Ladespannung und der Akkuspannung kleiner, was zur Folge hat, dass der Ladestrom gleitend sinkt.



## 13 Das Laden

einen niedrigeren Ladestrom bezieht als ein Akku mit hoher Kapazität. Nach der Formel  $\text{Strom [A]} = \frac{\text{Spannung [U]} : \text{Widerstand [\Omega]}}{\text{Widerstand [\Omega]}}$  sinkt der Ladestrom kontinuierlich, während bei konstanter Ladespannung die Akkuspannung während des Ladens steigt. (Bei der vorhergehenden Formel bezieht sich der Parameter Strom auf den Ladestrom, die Spannung auf die jeweilige Spannungsdifferenz zwischen der Ladespannung und der jeweiligen Akkuspannung und der Widerstand auf den Innenwiderstand des Akkus.)

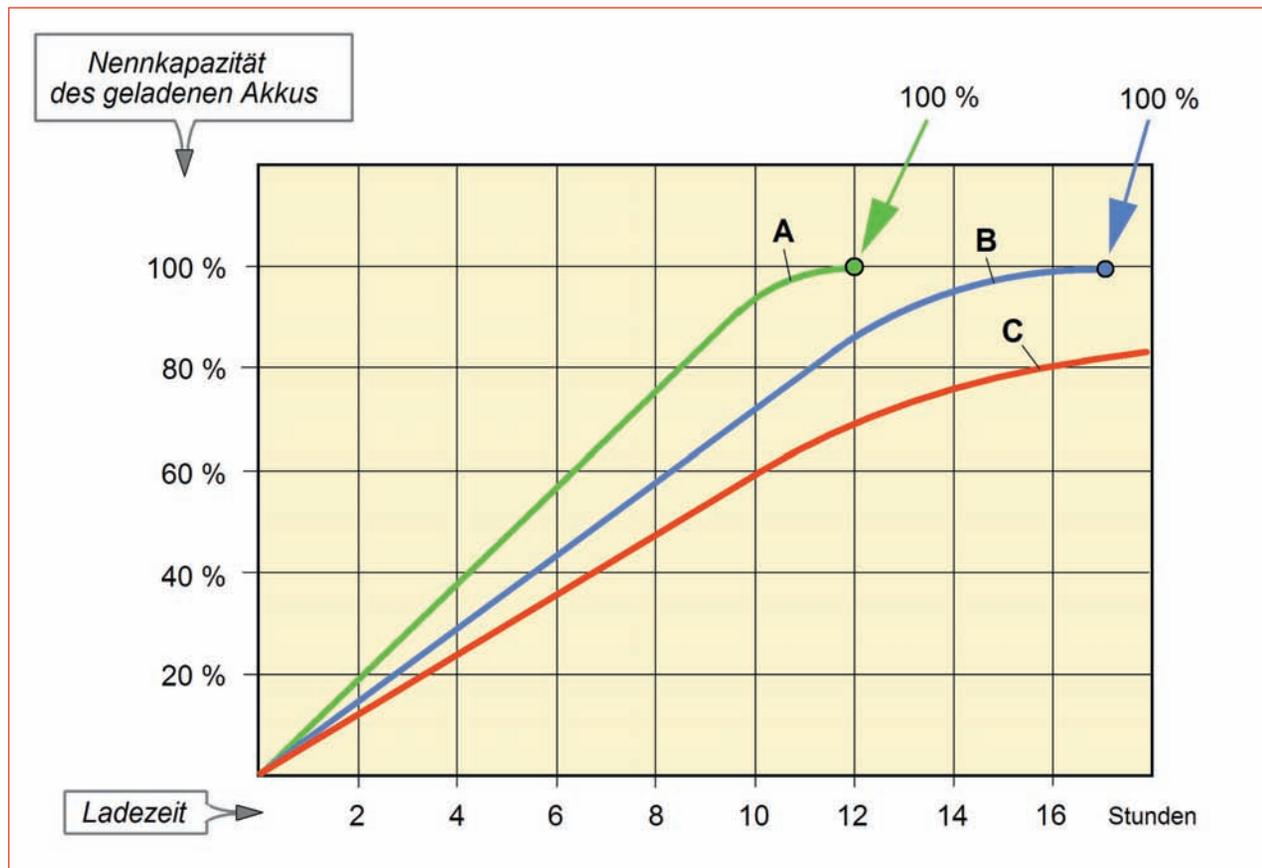
Abb. 13.4a verdeutlicht, wie unterschiedlich der vom Akku bezogene Ladestrom aus derselben Ladequelle sein kann. Abb. 13.4b zeigt, wie der Ladestrom (gleitend) sinkt, wenn der Spannungsunterschied zwischen der Ladespannung und der Akkuspannung während des Nachladens des Akkus immer kleiner wird. Ein „intelligentes“ Ladegerät muss daher imstande sein, durch eine gezielte Regelung der Ladespannung den Ladestrom während des Ladens in der Hauptladephase auf optimaler Höhe zu halten. Erst in der Lade-Endphase muss die Ladespannung angemessen sinken, damit sie letztendlich nicht höher wird als die maximal zulässige Spannung, die ein voll aufgeladener Akku haben darf. Ein solcher Strom-/Spannungsverlauf wird bei Ladegeräten als IU-Ladecharakteristik oder als IU-Kennlinie bezeichnet. Grafisch dargestellt kann dann das Laden eines Akkus z. B. nach Abb. 13.5 verlaufen. Je „intelligenter“ ein Ladegerät ist, desto optimaler passen sich der Ladestrom und die Ladespannung an die Bedürfnisse des geladenen Akkus an und laden ihn schnell und dennoch schonend auf. Sensibilität muss

ein gutes Ladegerät vor allem in der Lade-Endphase aufweisen, um die Gasungsgrenze nicht gefährlich zu überschreiten.

Der Ladestrom und die Ladespannung müssen in dieser Phase angemessen reduziert werden, um den Akku nur noch „sanft“ aufladen zu können. So kann der grünen Kurve (A) in Abb. 13.5 entnommen werden, dass nach etwa 10 Stunden Ladezeit der Akku nur noch schonend nachgeladen wird, wodurch seine Kapazität wesentlich langsamer steigt als zuvor. Der gleiche Vorgang wiederholt sich bei der blau eingezeichneten Kurve (B) nach ca. 12 Ladestunden. Hier nimmt das volle Aufladen des Akkus etwa 17 Stunden in Anspruch. Die rot eingezeichnete Ladekurve (C) weist darauf hin, dass bei diesem Laden nur nachgeladen wird. Diese Art des Nachladens wird meist nur bei einfachen Ladeadaptoren oder Ladegeräten angewendet, die z. B. für einfachere akkubetriebene Geräte (meist als Zubehör) vorgesehen sind.

Handelsübliche Ladegeräte sind in großer Auswahl erhältlich. Die meisten eignen sich nur für das Laden einer einzigen Akkutype. Für Kleinakkus gibt es ebenfalls verschiedenste Akkuladestationen, die über mehrere Ladeschächte für verschiedene Körperformen und Größen der gängigsten NiCd- und NiMH-Akkus verfügen. Nach Ladeart und -technik können Ladegeräte in drei Hauptgruppen eingeteilt werden: einfache (Standard-)Ladegeräte, teilgesteuerte Ladegeräte und „intelligente“, mit Mikroprozessor gesteuerte Ladegeräte und -stationen.

## 13 Das Laden



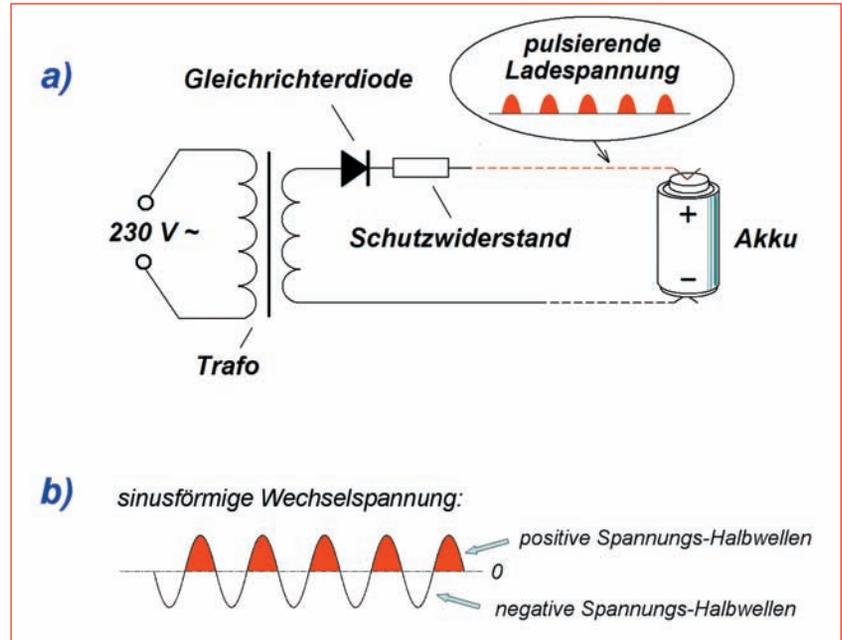
**Abb. 13.5** – Grafische Darstellung drei unterschiedlicher Ladevorgänge: **a)** Intelligente Ladegeräte laden den Akku innerhalb von ca. 12 Stunden voll auf (Kurve A). **b)** Ladegeräte mit einer vereinfachten Laderegulierung benötigen zum Aufladen eine längere Zeitspanne (Kurve B). **c)** Einfache Ladegeräte benötigen oft eine längere Zeitspanne zum Aufladen eines Akkus bzw. laden ihn zwar nach, aber nicht ganz voll auf (Kurve C).

## 13 Das Laden

Abgesehen davon gibt es beim Laden von Säuren-Bleiakkus das Phänomen des kräftigeren Gasens, zu dem es in der Lade-Endphase kommt. Ein gutes Ladegerät kann das unterbinden und den Akku dennoch voll aufladen. Einfachere Ladegeräte können das Gasen ebenfalls verhindern, aber oft nur um den Preis, den Akku nicht voll aufzuladen, sondern abzubrechen, sobald der Akku „fast voll“ ist bzw. bevor seine Spannung an die offizielle Nachlade-Obergrenze (Ladeschlussspannung) ansteigt. Gegen diese Art des Ladens ist grundsätzlich nichts einzuwenden, wenn es sich dabei um Akkus handelt, die laufend nachgeladen werden oder mit einer Ladevorrichtung fest verbunden sind, wie es z. B. bei Speicherakkus netzunabhängiger Photovoltaikanlagen oder Anlasserakkus von Kraftfahrzeugen üblich ist.

### Einfache Ladegeräte

Einfache Ladegeräte, die oft als „Standardladegeräte“ bezeichnet werden, laden den Akku unabhängig von seiner Kapazität mit einem vom Hersteller vorbestimmten maximalen Ladestrom und einer ebenfalls vorgegebenen Ladespannung. Eine individuelle Anpassung des Ladestroms ist (bis auf seltene Ausnahmen) nicht möglich. Der Ladestrom sinkt jedoch während des

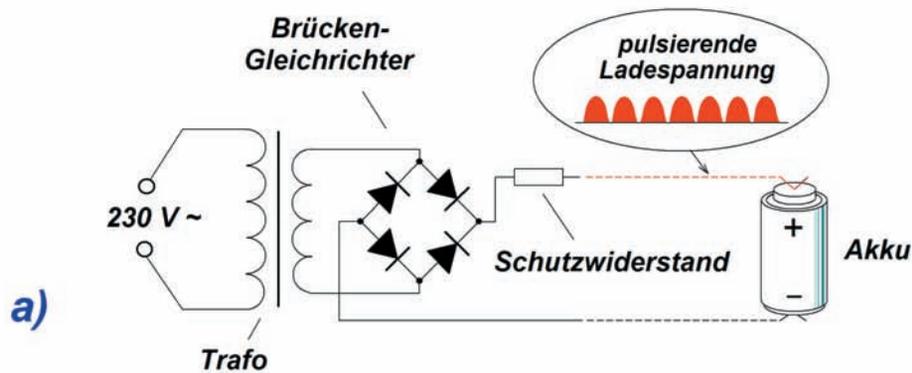


**Abb. 13.6** – Die preiswertesten Ladeadapter und Ladegeräte, die festes Zubehör kleinerer Geräte sind, machen verfügen oft nur eine einfache Eindioden-Laderegung.

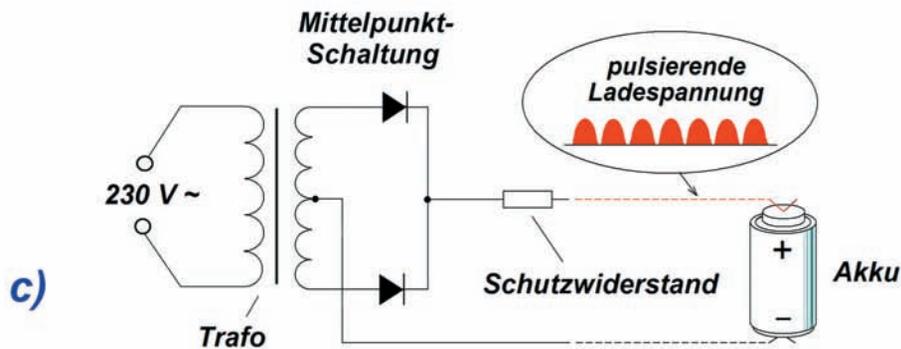
Nachladens des Akkus bis auf Null oder zumindest auf ein Minimum, das bei einem voll aufgeladenen Akku nahe Null liegt.

Einige dieser Ladegeräte signalisieren nur optisch (z. B. mit einer zweifarbigem Leuchtdiode), dass der Ladevorgang beendet ist. Sie schalten sich üblicherweise nach beendeter Ladung nicht selbst aus, sondern müssen manuell abgeschaltet werden. Viele dieser Geräte laden den Akku nicht optimal, sondern nur „so gut wie voll“ auf.

Die einfachsten (und billigsten) Ladeadapter sind sehr einfach konzipiert (Abb. 13.6) und werden bei Geräten verwendet, bei denen nur gelegentlicher Betrieb vorgesehen ist – wie z. B. einem Akku-Handstaubsauger. Die Schaltung in Abb. 13.6a zeigt, dass hier nur mittels einer einzigen Gleichrichterdiode die Wechselspannung in Gleichspannungsimpulse umgewandelt wird, mit denen der Akku auf einfachste Weise geladen wird. Abb. 13.6b verdeutlicht, weshalb zwischen



Der Brücken-Gleichrichter polt die negativen Halbwellen der Wechselspannung in positive Halbwellen um (dreht sie „um die Achse nach oben“). Dadurch besteht die pulsierende Ladespannung aus positiven Spannungsimpulsen, zwischen denen keine Lücken sind:



Bei einer Mittelpunkt-Schaltung werden ebenfalls die negativen Halbwellen der Wechselspannung zu positiven Halbwellen „umgedreht“. Im Gegensatz zu der Schaltung mit einem Brückengleichrichter halbieren sich hier die Spannungs- und Leistungsverluste, die in den Gleichrichterdioden entstehen.

Abb. 13.7 – Grundsaltung einfacher Ladeadapter: a) mit einem Brückengleichrichter, b) mit einer Mittelpunkt-Schaltung des Gleichrichterteils.

## 13 Das Laden

### Brückengleichrichter kontra Mittelpunktschaltung?

Für das Gleichrichten einer Wechselspannung wurde ursprünglich, als preiswerte Gleichrichterdiode noch nicht bekannt waren, die Mittelpunktschaltung verwendet. Der Grund dafür lag in der Kosteneinsparung: Eine zweite Sekundärwicklung am Transformator war preiswerter als zwei zusätzliche Röhren- oder Selengleichrichter (eine Brückenschaltung besteht aus vier Gleichrichtern).

Als preiswerte Gleichrichterdiode den Halbleiter-Markt eroberten, war wiederum die Verwendung eines Silizium-Brückengleichrichters eine kostengünstigere Lösung als die Alternative mit zwei Sekundärwicklungen am Transformator. Es handelte sich dabei jedoch nur um eine vorübergehende Kosteneinsparung. Durch Rationalisierungen bei der modernen Herstellung von Transformatoren wurde der Unterschied zwischen den Herstellungskosten eines Transformators mit einer einzigen „dickeren“ Sekundärwicklung und zwei „dünnen“ Sekundärwicklungen sehr gering. Aus diesem Grund werden in der Regel Transformatoren der gleichen Leistung, aber mit einer oder zwei Sekundärwicklungen meist für denselben Preis angeboten. Das begünstigt wiederum das Comeback der Mittelpunktschaltung, die auch energiesparender als die Brückenschaltung arbeitet. Der Grund liegt in dem Spannungsverlust, der an den Gleichrichterdiode entsteht und bei normalen Siliziumdiode ca. 0,7 bis 1 Volt pro Diode beträgt. Ein Brückengleichrichter hat daher einen erhöhten Leistungsverlust (Spannungsverlust in der Diode  $\times$  Strom, der durch die Diode fließt) in der Schaltung zur Folge. Vor allem bei niedrigeren Sekundärspannungen entsteht bei einer Brückenschaltung ein unnötig hoher prozentualer Leistungsverlust, der normalerweise keine technisch vertretbaren Vorteile bietet.

den einzelnen Ladeimpulsen Lücken sind.

Bei einer Lösung nach Abb. 13.7 werden sowohl die positiven als auch die negativen Spannungsimpulse der Wechselspannung genutzt, wie in Abb. 13.7b grafisch dargestellt ist. Dies geschieht entweder mithilfe eines Brückengleichrichters (Abb. 13.7a) oder mittels einer sogenannten *Mittelpunktschaltung* (Abb. 13.7c). Die zwei Lösungen (Abb. 13.7a und 13.7.c) zeigen einen unterschiedlichen Weg zum selben Ziel.

Die Funktionsweise der eingezeichneten „Schutzwiderstände“ (Ladewiderstände) aus Abb. 13.6/13.7 regeln in einem geringeren Umfang auch die Ladespannung und den Ladestrom: Solange der Akku weitgehend leer und die Spannungsdifferenz zwischen Spannungsquelle (Gleichrichter) und Akkuspannung groß ist, versucht der Akku einen höheren Ladestrom zu beziehen. Damit entsteht jedoch in dem Schutzwider-



stand ein höherer Spannungsverlust, der den Ladestrom drosselt. Steigt danach während des Nachladens des Akkus seine Spannung, sinkt dadurch der von ihm bezogene Ladestrom, die Verlustspannung an dem Schutzwiderstand wird geringer und der Ladestrom steigt automatisch etwas an. In gewissen Grenzen gelingt es dieser einfachen Schaltung also, den Ladestrom etwas zu regeln und den Akku zufriedenstellend nachzuladen. Kritisch wird hier das Laden in der Lade-Endphase, denn hier hängt es nur von der Präzision der Trafowicklung (und der Genauigkeit der Netzspannung im öffentlichen Netz) ab, wie gut der Akku nachgeladen wird oder ob die jeweilige Ladespannung nicht höher ist, als der Akku verkraftet. Wird der Akku überlastet, heizt er sich zu sehr auf und seine Lebenserwartung sinkt. Rechtzeitiges Abschalten des Ladestroms muss bei diesen Geräten der Anwender meist selbst überwachen.

Einige dieser Geräte sind zwar mit Leuchtdioden (rot/grün) versehen, aber wenn das Laden vergessen wird, ist eine optische Anzeige nur dann sinnvoll, wenn dabei die Ladevorrichtung auch den Ladestrom abschaltet. Inwieweit dies tatsächlich geschieht, geht aus den meisten Bedienungsanleitungen nicht hervor. Hier hilft „Handauflegen“ um zu prüfen, ob sich der Akku abkühlt, nachdem der Ladeadapter ein Ende des Ladevorgangs signalisiert hat. Ist der Akku im Ladeadapter nach einem halben Tag in der Steckdose abgekühlt, weist das darauf hin, dass der Ladeadapter den Ladestrom automatisch abgeschaltet hat. Ist der Akku hingegen dann immer noch warm, pumpt der Ladeadapter weiterhin Ladestrom hinein, obwohl der Ladevorgang bereits abgeschlossen ist. Viele Akku-geräten sind leider so ausgelegt.

**Abb. 13.8** – Einige Akkuwerkzeuge sind mit einem abnehmbaren Akkuteil ausgelegt.

## 13.2 Teilgesteuerte Ladegeräte

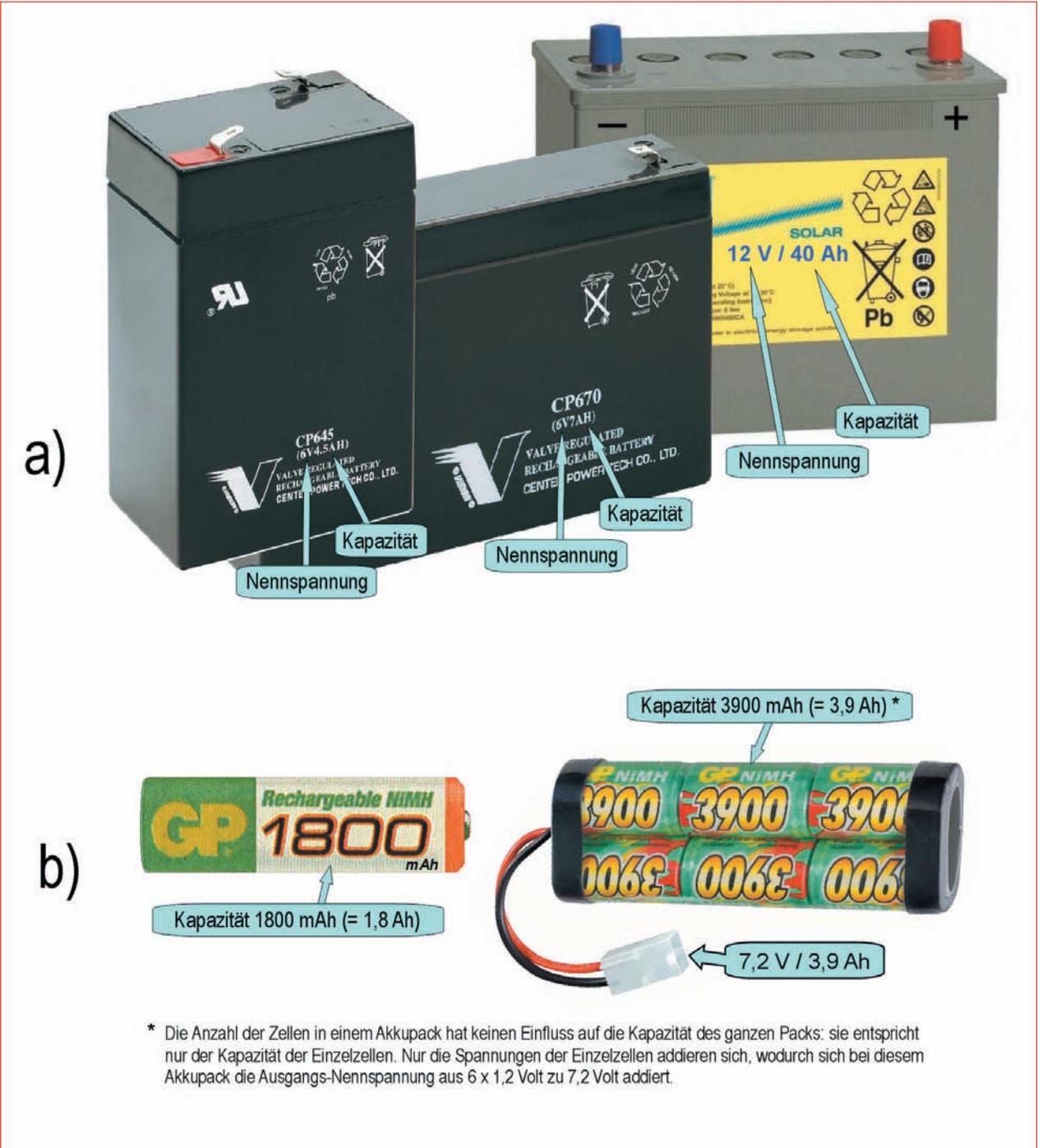
In die Kategorie der „teilgesteuerten Ladegeräte“ fallen all die Ladegeräte, die nicht vollautomatisch alle Aufgaben übernehmen. Viele dieser Geräte sind z. B. nur mit einem Zeitschalter (Timer) gesteuert und übernehmen die Abschaltung des Ladestroms, der für die jeweilige typenbezogene Akkugröße herstellerseitig voreingestellt ist. Eine optimale Anpassung des Ladestroms auf die tatsächliche Kapazität des geladenen Akkus ist allerdings nicht möglich, denn wie Tabelle 2.2 (Seite 15) zeigt, sind Akkus der gleichen Größe für unterschiedliche Kapazitäten ausgelegt. Der Ladestrom eines solchen „universalen“ Ladegeräts ist dann meist auf den niedrigsten Ladestrom abgestimmt, der einem Akku mit der handelsüblich niedrigsten Kapazität zugemutet werden darf.

Daraus ergibt sich in der Praxis das Problem, dass bei einer mit Zeitschalter gesteuerten Ladestromabschaltung z. B. ein Mignon(AA)-Akku mit niedriger Kapazität (von 1,3 Ah) perfekt, aber ein Mignon(AA)-Akku mit einer hohen Kapazität (von 2,7 Ah) nur dürftig geladen wird. Es gibt jedoch auch unter den preiswerten „teilgesteuerten Ladegeräten“ solche, bei denen der Ladestrom gesteuert und automatisch reduziert wird, sobald die Ladeschlussspannung des Akkus erreicht ist. Einige davon verfügen über eine Überladeschutzfunktion, die Beschädigungen des Akkus durch Überladung unterbindet. Manche dieser Geräte arbeiten schonend und können sogar für eine Dauerladung verwendet werden (sie können an den Akku laufend angeschlossen bleiben).

Als teilweise gesteuert kann auch ein Ladevorgang betrachtet werden, bei dem Sie ein einfaches Ladegerät an die Steckdose über eine Schaltzeituhr anschließen. Als Ladegerät können Sie dabei z. B. auch das geregelt

Netzteil aus *Abb. 15.5* verwenden. Sie brauchen nur auf das Einhalten folgender Regeln zu achten:

- a) Drehen Sie die Ausgangsspannung des Netzteiles auf das erzielbare Minimum (von ca. 1,25 Volt) herunter und schließen Sie danach zwischen dem Plus-Pol des Netzteiles und dem Plus-Pol des Akkus (Akku-Packs) ein Amperemeter (Multimeter) an. Schalten Sie das Netzteil ein und erhöhen die „Ladespannung mit dem Potentiometer „P“ ganz langsam und vorsichtig so lange, bis der angeschlossene Akku einen Ladestrom von 10% seiner Kapazität bezieht. Bei NiMH-Akkus dürfte der Ladestrom sogar bis zu 20 % der Akku-Kapazität betragen. **Zu beachten:** Bei Akku-Packs gilt für die Einstellung des Ladestroms die Kapazität eines seiner Glieder.
- b) Nach einigen Ladestunden werden Sie die Ladespannung noch etwas höher aufdrehen müssen, denn der Ladestrom wird mit zunehmendem Nachladen des Akkus sinken. Zu diesem Zeitpunkt können Sie die Strommessung vorübergehend unterbrechen, um mit dem Multimeter die Ladespannung zu kontrollieren.
- c) Sobald Sie den Brechpunkt erreichen, an dem Sie die Ladespannung auf 110 % des Nennwertes der Akkuspannung aufdrehen können, ohne dass der Ladestrom die erlaubten 10 % (bei NiMH-Akkus 20 %) der Akku-Kapazität überschreitet, kann das Laden ohne weitere Eingriffe fortfahren, bis in den Akku kein Ladestrom mehr fließt (was mithilfe des Multimeters gemessen wird). Danach ist der Akku aufgeladen.



**Abb. 13.9 – a)** Auf größeren Akkus sind sowohl die Spannung als auch die Kapazität angegeben. **b)** Bei kleineren Rundakkus und Akkupacks, die aus Rundakkus zusammengesetzt sind, ist oft nur die Kapazität, nicht aber die Nennspannung aufgeführt (diese beträgt bei wiederaufladbaren NiCd- und NiMH-Rundakkus 1,2 Volt pro Zelle).

## 13.3 Mit Mikroprozessor gesteuerte Ladegeräte

Mikroprozessor- oder mikrocontrollergesteuerte Ladegeräte, die als „intelligente Ladegeräte“ bezeichnet werden, sind so konzipiert, dass sich der Anwender keine Gedanken über den eigentlichen Ladevorgang machen muss. Er legt nur den (oder die) Akku(s) in das Ladegerät, schaltet das Gerät ein und das Ladegerät übernimmt den Rest.

Die meisten dieser Geräte erkennen automatisch den Akkutyp, seinen jeweiligen Ladezustand/ Nachladebedarf und passen den Ladestrom an die individuell ermittelten Bedürfnisse des Akkus an. Die Akkus werden von diesen Ladegeräten immer optimal (zu 100 %) aufgeladen und dennoch niemals überladen. Das verlängert die Lebenserwartung der Akkus und

rechnet sich vor allem dann, wenn ausreichend viele Akkus regelmäßig geladen werden.

Einige dieser Ladegeräte – zu denen auch die Ladegeräte aus Abb. 13.10/13.11 gehören – sind oft für beschleunigtes, schnelles oder sogar sehr schnelles Laden ausgelegt und/oder verfügen über zusätzliche Akkupflegeprogramme (Auto-Refresh-Programme). Diese



**Abb. 13.10** – Ausführungsbeispiel eines Mikroprozessor-Steckerladegeräts UFC-15, das für zwei bis vier NiCd- oder NiMH-Akkus ausgelegt ist und diese innerhalb von ca. 5 Stunden auflädt (Anbieter Conrad Electronic).



**Abb. 13.11** – Das Powerline LCD-Ladegerät verfügt über eine LCD-Ladezustandsanzeige. Es ist zwar als ein 230-V-~Tischlader ausgelegt, kann aber wahlweise an die Steckdose oder an den Zigarettenanzünder im Auto (an die 12-Volt-Autobatterie) angeschlossen werden.

## 13.3 Mit Mikroprozessor gesteuerte Ladegeräte

können defekte Akkus erkennen und melden. Mit Mikroprozessor gesteuerte Ladestationen gehobener Preisklassen verfügen zusätzlich über ein Display, das detaillierte Daten der Akkus anzeigt, die sich in einzelnen Ladeschächten befinden: Spannung, Kapazität, Ladestrom, die vorgesehene restliche Ladedauer und evtl. weitere technische Auskünfte.

Ladegeräte und Ladestationen gibt es in großer Auswahl und in unterschiedlichen Preisklassen. Teurere Ladegeräte sind meist für eine größere Vielfalt unterschiedlicher Akkutypen ausgelegt und verfügen zudem noch über verschiedene Zusatzfunktionen, zu denen auch schnelles Laden gehört.

Ein Beispiel für eine Ladestation gehobener Preisklasse ist die „Akkuladestation Charge Manager 2020“ aus Abb. 13.12: Sie verfügt über zehn Ladeschächte, in denen bis zu acht Micro-/Mignon-/Baby-/Mono- und zwei 9-Volt-Block-Akkus beschleunigt geladen werden können. Acht 2.200-mAh-Mignon-Akkus werden hier z. B. innerhalb einer Stunde zu 100 % aufgeladen. Ein Überladeschutz sorgt dafür, dass die Akkus nicht überladen werden. Der integrierte Mikrocontroller ermöglicht eine Vielzahl von Programmen zur Akkupflege: Entladen, Laden, Check usw. Das vierzeilige LCD-Display ermöglicht einen schnellen Überblick über den jeweiligen Zustand der geladenen oder aufgeladenen

Akkus. Eine serielle Schnittstelle am Gerät ermöglicht das Übertragen der Daten auf den PC.

Bei der Wahl eines Ladegeräts oder einer Ladestation liegt es im Ermessen des Anwenders, wie vielseitig sein Ladegerät sein sollte. Es geht dabei nicht nur um den Preis eines solchen Geräts, sondern auch um die Häufigkeit der Anwendung und um die Frage des Bedienungskomforts.

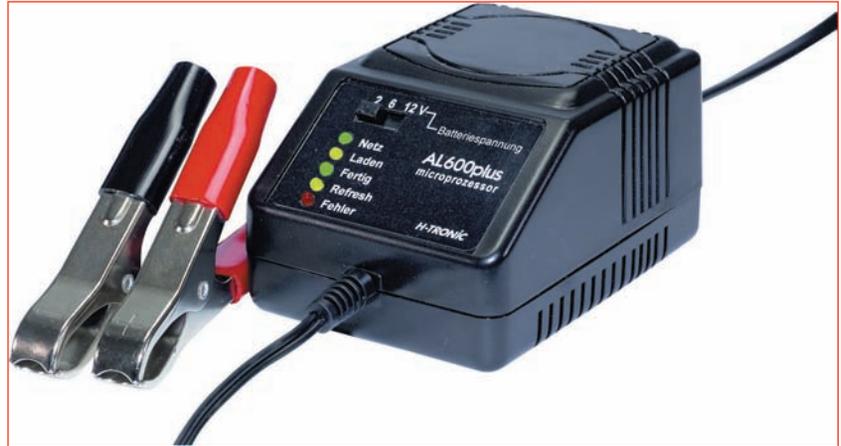


**Abb. 13.12** – Die Akkuladestation „Charge Manager 2020“ ist für das automatische Laden aller gängigen Typen der NiCd- und NiMH-Rundakkus sowie auch für 9-Volt-Blockakkus ausgelegt (Anbieter *Conrad Electronic*).

## 13.4 Ladegeräte für Bleiakkus

Die meisten Bleiakkus sind Autoakkus (Autobatterien), bei denen normalerweise die Lichtmaschine des Fahrzeugs für die Ladung zuständig ist. Es handelt sich dabei in der Regel um einen Wechselstromgenerator (Alternator), der vom laufenden Automotor ununterbrochen angetrieben wird. Die von der Lichtmaschine erzeugte Wechselspannung wird zusätzlich gleichgerichtet und lädt über eine Laderegulierung ebenfalls laufend die Autobatterie nach. Wenn aus der Autobatterie nicht mehr Strom bezogen wird, als es normalerweise üblich ist, muss man sie nicht separat mit einem externen Ladegerät nachladen. Wenn die Autobatterie aber beispielsweise im Winter beim Anlassen des kalten Motors kräftiger beansprucht wird oder die Parklichter beim abgestellten Wagen länger eingeschaltet bleiben, kann der Energieverbrauch höher sein, als die Lichtmaschine in der Lage ist nachzuladen. Ist zudem der Verteiler verschlissen oder sind die Zündkerzen veraltet (wodurch der Motor mehrmals angelassen werden muss), ist ein zusätzliches externes Nachladen der Autobatterie sinnvoll.

Ein externes Ladegerät für die Autobatterie wird nur sporadisch oder in Notfällen benutzt. Daher genügt es, wenn es einfach und



**Abb. 13.13** – Ausführungsbeispiel des Ladegeräts AL 600 PLUS für das Laden praktisch aller Sorten von Bleiakkus mit Nennspannungen von 2, 6 und 12 Volt und mit einem Ladestrom von maximal 0,6 A: Das Gerät verfügt über Diagnosefunktion, Defekterkennung und Überladeschutz und ist auch für Erhaltungsladung von Akkus vorgesehen, die z. B. im Winter außer Betrieb sind (Foto/Anbieter: Reichelt Electronic).

preiswert ist. Darauf hat sich auch der Handel eingestellt, das Angebot ist entsprechend groß. Viele der kostengünstigen Autobatterie-Ladegeräte können zwar den Ladestrom nicht optimal regeln, da hier aber das zusätzliche Laden nur gelegentlich erforderlich ist, darf man sich mit der einfachen Ausführung zufriedengeben. Perfektes Laden/Nachladen des Akkus übernimmt die Lichtmaschine.

Von Vorteil ist es, wenn das Autobatterie-Ladegerät über ein Amperemeter (Abb. 13.14) verfügt, an dem abgelesen werden kann, wie hoch jeweils der Ladestrom ist. Bezieht sie einen hohen

Ladestrom, der nahe am Maximum dessen liegt, was das Ladegerät liefern kann, deutet es auf eine stark entladene Batterie hin. Sinkt nach einigen Stunden des Ladens der Ladestrom z. B. unterhalb von 0,5 A, zeigt das, dass die Batterie bereits weitgehend aufgeladen ist und man den Ladevorgang abbrechen kann (den Rest kann die Lichtmaschine des Fahrzeugs übernehmen).

Wird Wert darauf gelegt, dass das Nachladen der Autobatterie möglichst schnell erfolgt, muss das Ladegerät einen Ladestrom von 10 % der Batteriekapazität liefern. Ein Ladegerät, das eine 60-Ah-Au-

## 13.4 Ladegeräte für Bleiakkus



**Abb. 13.14** – Es ist von Vorteil, wenn das Autobatterie-Ladegerät über einen Amperemeter verfügt, der eine laufende Kontrolle des Ladestroms ermöglicht: Das hier abgebildete Gerät ist zudem umschaltbar für langsames oder schnelles Laden (Foto/Anbieter: Reichelt Elektronik).

tobatterie schnell (ca. 12 Std.) aufladen kann, müsste also einen Ladestrom von 6 Ampere liefern können. Davon entfallen zehn Ladestunden auf das eigentliche Nachfüllen der Kapazität und zwei Stunden auf die gängigen Ladeverluste. In der Praxis kann jedoch auch ein 4-Ampere-Ladegerät für das gelegentliche Nachladen einer 60-Ah-Autobatterie verwendet werden. Dadurch verlängert sich zwar theoretisch die Ladezeit, aber

in der Praxis genügt es meist, wenn die Autobatterie z. B. nur ca. 8 bis 10 Stunden bei Nacht um 25 bis 30 Ah nachgeladen wird. Das Auto kann dann problemlos starten und die Lichtmaschine lädt den Rest.

Autobatterie-Ladegeräte gehobener Preisklassen verfügen in der Regel über zusätzliche Funktionen, die für eine Autowerkstatt wichtig und für gelegentliche private Anwendungen von Vorteil sein können. So prüft z. B. ein interner

Batterietester des Autobatterie-Ladegeräts *BCV 12-15* (Abb. 13.15) die Autobatterie auf Defekte und ihre Einsatzbereitschaft: Solange sie nicht ausreichend nachgeladen ist, darf sie den Anlasser nicht starten, denn sie würde dabei zu tief entladen und möglicherweise vernichtet.

Bei der Wahl eines Ladegeräts für die Batterien von Fahrzeugen ist vor allem darauf zu achten, dass sein maximaler Ladestrom nicht höher liegt als 10 % der Kapazität der zu ladenden Batterie. Von Vorteil ist dabei, wenn das Ladegerät über ein Amperemeter verfügt, damit der Verlauf des Ladens/der jeweilige Nachladebedarf der Autobatterie unter Kontrolle bleibt. Ein Voltmeter im Gerät selbst wäre zwar praktisch, aber die gelegentliche Spannungsmessung (z. B. am Anfang und Ende des Ladens) kann nur mit einem zusätzlichen Multimeter erfolgen.

Höhere Ansprüche werden dagegen an Ladegeräte von Bleiakkus (Blei-Säure-, Blei-Gel- und Blei-Vlies-Akkus) gestellt, die ihren Ladestrom ausschließlich von den Ladegeräten beziehen. Solche Ladegeräte sollten gut geregelt „intelligent“ und batterieschonend laden. Wird Wert darauf gelegt, dass der Akku möglichst schnell geladen wird, hat ein *Konstantstrom-Ladegerät* Vorrang

## 13.4 Ladegeräte für Bleiakkus



**Abb. 13.15** – Das Autobatterie-Ladegerät BCV 12-15 verfügt über einen internen Batterietester, der die Batterie auf ihre Einsatzbereitschaft prüft (Foto: Conrad Electronic).

vor einem Ladegerät mit U/I-Kennlinie, bei dem der Ladestrom mit zunehmendem Nachladen des Akkus sinkt. Bei Dreistufen-Konstantstrom-Ladegeräten erfolgt das Laden in drei Stufen:

**Stufe 1:** Der Blei-Akku wird auf eine Ladeschlussspannung aufgeladen, die bei 12-Volt-Akkus 14,7 Volt und bei 6-Volt-Akkus ca. 7,3 Volt beträgt.

**Stufe 2:** Das Ladegerät wechselt in einen Timer-Modus, bei dem die Batterie eine Stunde lang mit stetig sinkendem Strom geladen wird.

**Stufe 3:** Das Ladegerät schaltet in Stand-by-Modus und leitet nur eine Erhaltungsladung ein, die bei 12-Volt-Akkus 13,8 V und bei 6-Volt-Akkus 6,9 Volt beträgt.

Während des Ladens und in der Lade-Endphase kontrollieren die

### Wichtig

Einige dieser Dreistufen-Konstantstrom-Ladegeräte verfügen über die Möglichkeit einer manuellen Anpassung der Ladespannung. Dies ist wichtig, wenn Blei-Gel- oder Blei-Vlies-Akkus geladen werden, bei denen der Hersteller (z. B. Exide) nur eine maximale Ladeschlussspannung von 2,35 Volt pro Zelle erlaubt. Ein 12-Volt-Akku dürfte somit in der 1. Stufe höchstens auf eine Spannung 14,1 Volt (6 Zellen à 2,35 V) und ein 6-Volt-Akku auf maximal 7,05 Volt aufgeladen werden. Dieser Anspruch an eine etwas niedrigere Ladeschlussspannung gilt jedoch nicht automatisch für alle Blei-Gel- oder Blei-Vlies-Akkus. Achten Sie aber bitte auf diese Höchstgrenze der Ladeschlussspannung sowohl bei der Anschaffung eines neuen Bleiakkus als auch bei der Anschaffung eines passenden Ladegeräts. Ein unpassendes Ladegerät könnte andernfalls den Akku durch Überladen vernichten.

Ladegeräte den Ladestrom hinsichtlich 100 %igen Aufladens des Akkus bis auf seine maximale Kapazität und verfügen in der Regel über einen zuverlässigen Überladeschutz.

## 13.4 Ladegeräte für Bleiakkus

Der Ladestrom verdient bei der Wahl des Ladegeräts für einen Bleiakku besondere Aufmerksamkeit, denn er bestimmt weitgehend den Preis des Geräts. Dass sich bei einem niedrigeren Ladestrom die Dauer des Ladens/Nachladens entsprechend verlängert, spielt bei privaten Anwendungen meist nur eine untergeordnete Rolle. Dennoch sollte man sich fragen, ob man die Zeitspanne, die für das Nachladen des Akkus erforderlich ist, in Kauf nehmen möchte.

### Sicherheitshinweise:

Beim Umgang mit Bleiakkus, deren Elektrolyt flüssige Schwefelsäure bildet, ist auf zwei Gefahrenquellen zu achten:

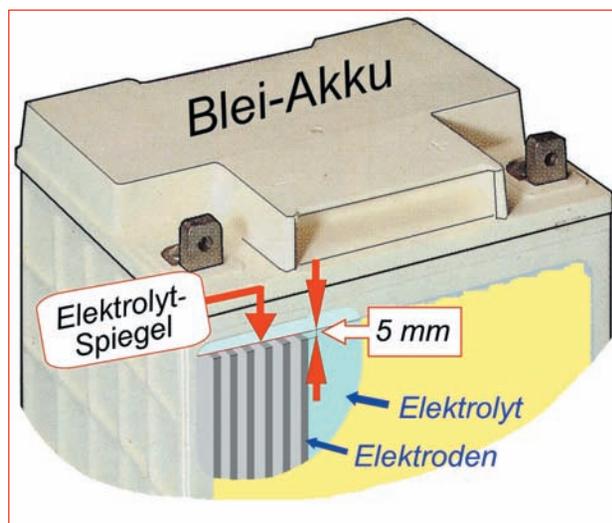
- a) Ihre Haut und vor allem Ihre Augen sollten nicht mit Schwefelsäure in Berührung kommen, denn sie

wirkt auch als verdünnter Batterie-Elektrolyt ätzend. Kommt sie dennoch mit der Haut in Berührung, hilft schnelles Abwaschen. Bei Berührung mit den Augen sollten Sie die Augen ebenfalls auswaschen, danach aber möglichst einen Augenarzt oder die Notaufnahme im Krankenhaus aufsuchen. Es droht eine irreparable Beschädigung des Auges.

- b) Beim Gasen eines Bleiakkus entstehen Dämpfe, die explosiv sind. Daher sollte das Laden grundsätzlich nur in einem ausreichend großen und gut belüfteten Raum erfolgen. Rauchen ist lebensgefährlich und auch jegliche andere Bildung von Funken ist zu vermeiden. Daher ist u. a. darauf zu achten, dass das Anschließen und Entfernen der Ladestromzuleitung grundsätzlich nur bei abgeschaltetem Ladegerät erfolgt.

### Nicht vergessen

Der Elektrolyt-Pegel sollte bei einer Säure-Blei-Batterie regelmäßig kontrolliert werden, da er im Laufe der Zeit durch geringfügiges Verdampfen des Wassers sinkt. Sofern der Akkuhersteller am Akku keine Markierung der optimalen Höhe des Elektrolyt-Spiegels hat, sollte darauf geachtet werden, dass dieser ca. 5 mm oberhalb der Akku-Elektroden (Abb. 13.16) steht. Gelegentliches Nachfüllen mit destilliertem Wasser genügt. Nur bei älteren Bleiakkus sollte auch die Dichte des Elektrolyts in einer Kfz-Werkstatt überprüft werden. Stellt sich dabei heraus, dass die Dichte zu gering ist, wird der Akku dort mit etwas Schwefelsäure  $H_2SO_4$  nachgefüllt.



**Abb. 13.16** – In Bleibatterien mit flüssiger verdünnter Schwefelsäure muss diese sichtbar mindestens 5 mm oberhalb der Elektroden stehen und sollte bei Bedarf mit destilliertem Wasser (pro Zelle) nachgefüllt werden.

## 13.5 Auffrischgeräte, Aktivatoren und Batterieregeneratoren

Unter den Bezeichnungen *Auffrischgeräte*, *Aktivatoren*, *Refresher*, *Akku-Jogger*, *Batterieregeneratoren*, *Batterietrainer* u. ä. bietet der Handel eine große Auswahl spezieller Kleingeräte für die Erhaltung oder Wiederherstellung der Kondition von Bleiakkus an. Solche Geräte sind vor allem für Situationen vorgesehen, in denen Bleiakkus längeren Ruhepausen ausgesetzt sind, wie es z. B. bei landwirtschaftlichen Maschinen, Traktoren, Motorbooten, Motorrädern oder Gartengeräten mit Akkus während der Winterzeit vorkommt.

Bei der Anschaffung dieser Geräte ist zu unterscheiden, ob sie nur an den Bleiakku angeschlossen werden können (Abb. 13.17) oder ob sie einen Netzanschluss benötigen bzw. über diesen verfügen. Viele der kleinen Akku-Aktivatoren (Akku-Refresher) sind (Abb. 13.17) nur für den direkten Anschluss an den Bleiakku einer Fahrzeugbatterie vorgesehen und benötigen keinen Stromanschluss. Sie beziehen allerdings ihren Strom von dem „betreuten“ Akku und daher sollte darauf geachtet werden, welche Stromabnahme der Hersteller bei dem einen oder anderen Gerät angibt.

Bei Aktivatoren, die über keinen zusätzlichen Netzanschluss verfügen und dafür vorgesehen sind, z. B. während der Wintermonate an die Batterie eines abgestellten Fahrzeuges ständig angeschlossen zu bleiben, liegt der Energiebedarf oft nur zwischen ca. 2 und 6 mA. Sie zehren jedoch von der Batterie durchlaufend, woraus sich theoretisch ein Eigenverbrauch von ca. 5,8 Ah bis 17,5 Ah in vier Monaten ergibt. Als Gegenleistung simulieren solche Geräte einen Fahrbetrieb, erzeugen kurze Lade- und Entlade-Stromimpulse und halten dadurch die Batterie über den Winter fit. Es lohnt



**Abb. 13.17** – Kleine Akku-Aktivatoren verhindern die Bildung von Sulfatablagerungen an den Elektroden der Blei-Säure-Batterien und verringern die evtl. bereits entstandenen Sulfatablagerungen (Anbieter/Fotos: Reichelt Elektronik und ELV).

## 13.5 Auffrischgeräte, Aktivatoren und Batterieregeneratoren

sich allerdings, dass eine solche Batterie trotz der Betreuung durch diesen Aktivator zumindest einmal zwischendurch von einem externen Ladegerät nachgeladen wird, denn das steigert ihre Frostunempfindlichkeit und kompensiert den Energieverbrauch des Aktivators.

Bei Aktivatoren, die für Netzbetrieb (230 V~) ausgelegt sind, entfällt ein zusätzliches Nachladen der Batterie aus einem separaten Ladegerät, denn netzbetriebene Geräte laden die Batterie mit dem Strom, den sie aus dem öffentlichen Netz beziehen (und gleichrichten), ohnehin laufend nach.

Bitte beachten Sie, dass wir die Bezeichnung *Aktivator* stellvertretend für alle Geräte dieser Art verwenden, um nicht jeweils die ganze Vielfalt der Namen wiederholen zu müssen.

Die Auswahl an Aktivatoren ist groß und bei der Anschaffung sollte auf folgende Geräteeigenschaften geachtet werden:

**a)** Anwendungszweck: Einige dieser Geräte sind für einen Daueranschluss vorgesehen und können (so-

fern sie gut befestigt sind) auch an die Starterbatterie eines Fahrzeuges angeschlossen bleiben, das weiterhin betrieben wird. Andere Geräte benötigen einen Netzanschluss und eignen sich damit nur für feste Standorte. Aktivatoren, die für einen Netzbetrieb ausgelegt sind, laden die Batterie auch kontinuierlich auf.

- b)** Akkuspannung: Manche der Aktivatoren sind nur für eine einzige Batteriespannung (meist für 6 oder 12 Volt), andere für mehrere (z. B. für 2, 4, 6, 12 und 24 Volt) ausgelegt.
- c)** Der Umfang der *Akkubetreuung* sowie auch der Umfang der Anwenderinformation (durch Display oder Leuchtanzeige) ist bei den Geräten sehr unterschiedlich. Einige der Geräte können eine alte Batterie so beleben, dass sie noch einige weitere Jahre ihren Dienst verrichten kann. Es gibt jedoch auch Aktivatoren, die nicht halten können, was sie versprechen. Glücklicherweise richten solche Aktivator keinen Schaden an der Batterie an.

## 13.6 Test der Batteriekapazität

Ein gut funktionierender Aktivator wirkt sich auf die Batterie nachvollziehbar positiv aus. Dies lässt sich an der Kapazität erkennen, auf die sich die Batterie nach der Auffrischung auflädt, sowie durch einen Vergleich der Selbstentladung, die die Batterie davor und danach aufweist. Ein informativer Test der Batteriekapazität ist auch mit einem preiswerten Multimeter möglich, indem man vergleicht, wie der Einfluss des Energieverbrauchs auf die Batteriespannung vor und nach ihrer Auffrischung ist.

Die offizielle Nennkapazität eines Akkus (die auf dem Akku meist aufgedruckt ist) bezieht sich auf die Menge der elektrischen Energie, die er fähig ist zu speichern und auf Abruf wiederzugeben. Mit zunehmendem Alter (und Sulfatablagerungen an den Elektroden des Akkus) sinkt bei einer Batterie die Fähigkeit, elektrische Energie zu speichern und ausreichend lange gespeichert zu halten. In welchem Umfang dann ein elektronischer Aktivator eine altersschwache oder angeschlagene Batterie wieder beleben kann, erkennt man an seiner Fähigkeit, elektrische Energie zu speichern und ohne zu hohe Selbstentladung zu halten.

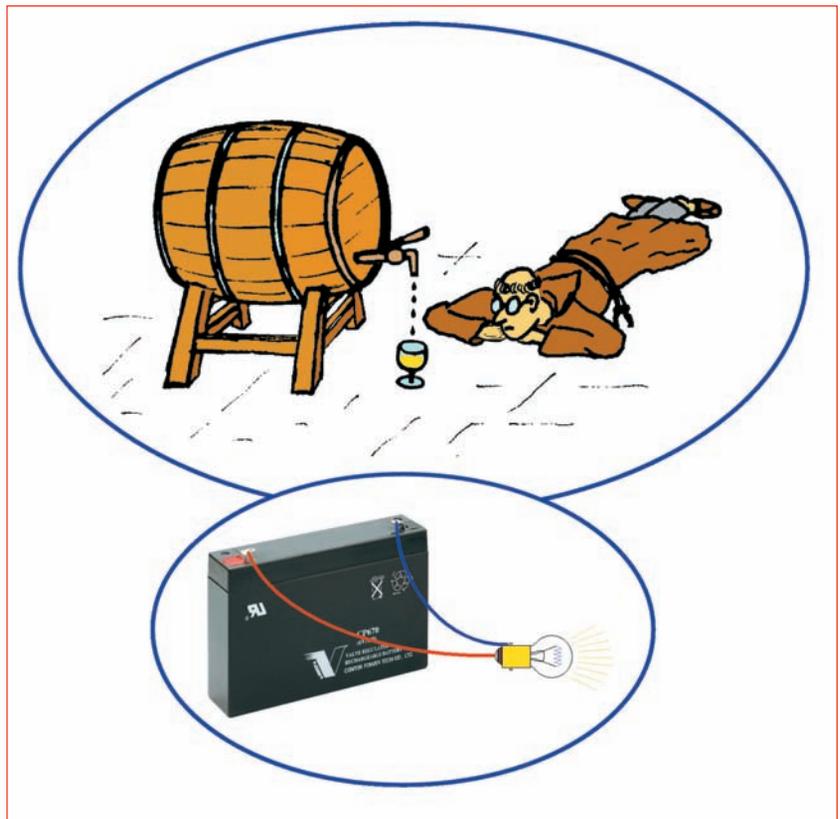
Wir vergleichen das Aufladen eines Akkus mit elektrischem Strom

mit dem Füllen eines Weinfasses. Die theoretische Akkukapazität sagt aus, über welchen energetischen Inhalt (in Amperestunden) der Akku verfügt. Dem theoretischen Literinhalt eines Weinfasses kann man entnehmen, wie viel Wein entnommen werden kann, bevor das Fass leer ist.

Bei den Akkus gibt es zwar theoretisch kleinere Unterschiede bei der Nutzung der vollen Kapazi-

tät, denn ob der exakte Inhalt eines Akkus genau ausgeschöpft werden kann, hängt von der Art der Belastung ab. Die Abweichungen sind jedoch für die Praxis ohne Bedeutung, denn schon die eigentliche Nennkapazität eines jeden Akkus unterliegt herstellungstechnisch einer Streuung, die man in Kauf nehmen muss.

Bei einem einfachen Test der Akkukapazität misst man mit ei-



## 13.6 Test der Batteriekapazität

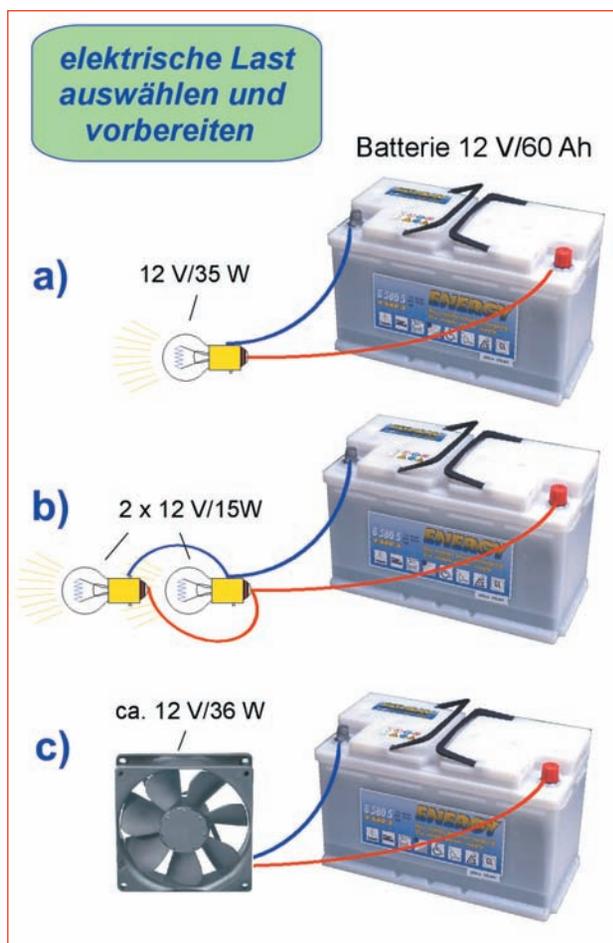
nem Multimeter, der theoretisch (laut Herstellerdaten) eine Toleranz von z. B.  $\pm 3$  bis  $\pm 5$  % haben sollte, dies aber oft nur bei einem der Messbereiche auch tatsächlich hat. Die Messergebnisse sind dadurch zwar etwas ungenau, aber wenn man für den Hausgebrauch solche Messungen mit denselben Multimetern durchführt, stimmen zumindest die proportionalen Vergleiche recht genau. Das genügt, um sich über die Sachlage ein brauchbares Bild zu machen.

Als Referenzmessung wäre zwar eine solche Kontrolle der Kapazität gar nicht so schlecht, denn man könnte einige Jahre später prüfen, wie sich die Batterie gehalten hat.

Ein Test der Kapazität kommt dann in Frage, wenn z. B. geprüft werden soll, ob ein Batterieaktivator die erwartete Leistung erbracht hat. Eine Prüfung der Batteriekapazität ist auch dann sinnvoll, wenn die Batterie z. B. durch zu tiefes Entladen zu sehr strapaziert wurde oder bevor mehrere Batterien miteinander parallel verbunden werden. Wie weit man dabei gehen möchte, bleibt eine Frage des persönlichen Ermessens.

Um zu ermitteln, ob z. B. eine 60-Ah-Autobatterie auch tatsächlich die vollen 60 Amperestunden speichern und wiedergeben kann, muss man sie erst voll aufladen, danach langsam bis in die Nähe ihrer Tiefentladeschwelle entladen und den ganzen Vorgang messtechnisch erfassen. Das ist in der Praxis recht einfach. Man kann dabei in folgenden Schritten vorgehen:

1. Vorausgesetzt, dass Ihnen die offizielle Nennkapazität der Batterie bereits bekannt ist, müssen Sie noch in Erfahrung zu bringen, welche Tiefentladeschwelle laut Hersteller zulässig ist. Erhalten Sie hier keine genaue Auskunft, können Sie bei einer 12-Volt-Batterie von einer Tiefentladeschwelle von 11 Volt, bei einer 6-Volt-Batterie von einer Tiefentladeschwelle von 5,5 Volt ausgehen.
2. Um die Batterie während des Tests entladen zu können, muss an sie ein elektrischer Verbraucher angeschlossen werden, der durchlaufend einen Strom bezieht, dessen Höhe bei ca. 5 % der Batteriekapazität liegt. Am besten eignet sich zu diesem Zweck eine Auto- oder Motorradlampe, deren Leistung mit dem erforderlichen Stromverbrauch (in Ampere) nach der Formel *Spannung (in Volt)  $\times$  Strom (in Ampere) = Leistung (in Watt)* festgestellt wird.



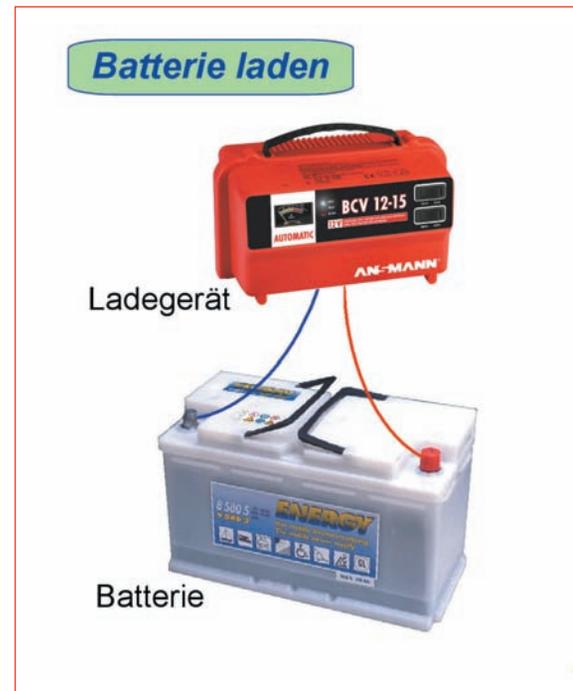
## 13.6 Test der Batteriekapazität

Beispiel: Für das langsame Entladen einer 12-V/60-Ah-Autobatterie wäre eine elektrische Last erforderlich, die einen Strom von ca. 3 A bezieht. Laut Formel können Sie nun 12 Volt mit Ampere multiplizieren und erhalten die Zahl „36“. Die benötigte elektrische Last müsste also optimal eine Stromabnahme von 36 Watt haben. Eine 12-V/35-W-Autolampe (Beispiel a) würde sich zu diesem Zweck gut eignen. Es würden aber z. B. auch zwei parallel verbundene 12-V/15-W-Autolampen (Beispiel b), die eine Last von ca. 30 Watt hätten, oder ein anderer 12-Volt-Verbraucher genügen. Ungeeignet sind für solch einen Test z. B. Heizdecken, denn sie sind mit einem Thermostat versehen, der die Temperatur durch ständiges Ein- und Ausschalten regelt und somit eine kontinuierliche Stromabnahme verhindert.

3. Sie werden bei diesem Test den Ladestrom und die Batteriespannung kontrollieren (und notieren) müssen. Dazu benötigen Sie ein Amperemeter oder Multimeter, das über einen Gleichstrom-Messbereich von ca. 5 oder 10 A verfügt. Den ebenfalls benötigten Gleichspannungsmessbereich hat jedes Multimeter. Falls Sie bereits ein Multimeter besitzen, das nicht über einen ausreichend hohen Gleichstrom-Messbereich verfügt, kann man ein Einbau-Amperemeter verwenden, das z. B. für einen Gleichstrom-Messbereich von 5 Ampere ausgelegt ist.



4. Laden Sie die getestete Batterie mit einem Ladegerät voll auf. Wenn Sie bereits ein funktionierendes Ladegerät besitzen, sind keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich. Falls Sie noch kein Ladegerät besitzen und erst in diesem Zusammenhang nach einem passenden Gerät Ausschau halten, achten Sie darauf, dass das Ladegerät für die maximal zugelassene Ladeschlussspannung der zu testenden Batterie ausgelegt ist. Die meisten 12-Volt-Säure-Blei-Batterien sind für eine Ladeschlussspannung von 14,5 V ausgelegt, aber einige Batterien (z. B. Bleigel-Batterien von Exide) haben eine niedrigere Ladeschlussspannung von nur 2,35 Volt pro Zelle. Daraus ergibt sich für eine 12-Volt-Batterie eine Ladeschlussspannung von 14,1 Volt ( $2,35 \times 6 = 14,1$ ).



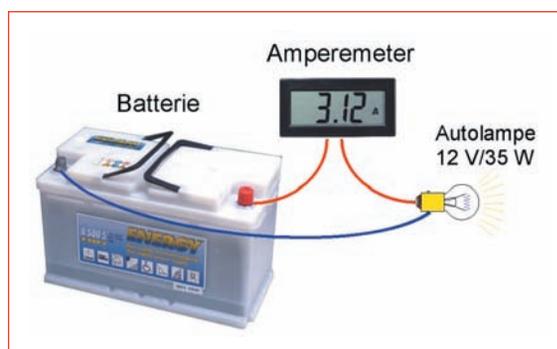
## 13.6 Test der Batteriekapazität

5. Sofern Sie nicht ein intelligentes Ladegerät besitzen, das den Ladevorgang automatisch bis zum Ende perfekt bewältigt, kontrollieren Sie bitte in der Lade-Endphase mit einem Voltmeter die Batteriespannung. Diese Kontrolle sollte an der Batterie bei ausgeschaltetem Ladegerät vorgenommen werden.



6. Nun ist die Kontrolle der Batteriekapazität an der Reihe. Sie müssen während des Entladeverlaufs sowohl den Strom, den die Last (die Autolampe) bezieht, als auch die exakte Dauer des Entladens unter Kontrolle haben. Der von der Autolampe bezogene Strom wird während des Entladens (mit der sinkenden Batteriespannung) gleitend sinken. Am einfachsten ist es, wenn das Entladen in Zeitspannen von z. B. jeweils drei oder vier Stunden eingeteilt wird. Sie beginnen damit, sich genau die Zeit, zu der Sie mit dem Entladen beginnen, und den vom Amperemeter angezeigten Strom notieren. Zwei oder drei Stunden später notieren Sie sich wieder den vom Amperemeter angezeigten Strom und können

danach die Entladung unterbrechen. Dabei muss auch die Zeit, zu der das Laden unterbrochen wurde, genau notiert werden. Sie können sich bereits jetzt ausrechnen, welcher Teil der ursprünglichen Kapazität der Batterie entzogen wurde: Multiplizieren Sie die Zeitspanne des Entladens mit der durchschnittlichen Stromabnahme.



Beispiel: Die Entladung hat exakt drei Stunden gedauert. Am Anfang der Entladung zeigte das Amperemeter einen Strom von 3,12 A, am Ende der ersten Entladephase (drei Stunden später) 3,02 A an. Die durchschnittliche Stromabnahme beträgt somit 3,06 A. Multipliziert mit 3 Stunden ergibt das rein rechnerisch einen Kapazitätsverbrauch von 9,18 Ah ( $3,06 \text{ A} \times 3 \text{ Std.}$ ). Die 60-Ah-Batterie müsste somit theoretisch noch über eine Restkapazität von 50,82 Ah ( $60 \text{ Ah} - 9,18 \text{ Ah}$ ) verfügen. Das war nun die erste Etappe des Tests. Weitergehen kann es auf die gleiche Weise wie vorher: Die einzelnen Zeitspannen der Entladung können beliebig kurz oder lang gewählt werden. Wichtig ist dabei nur, dass die Dauer der jeweiligen Etappe sowie auch der am Anfang und am Ende der Etappe bezogene Strom notiert werden.

## 13.6 Test der Batteriekapazität

7. Sobald sich die Batteriespannung ihrer Tiefentladeschwelle nähert, ist eine Spannungsüberwachung erforderlich. Wenn die Spannung der Batterie bei laufender Ladung den vorgegebenen Schwellwert (von z. B. 11 V) erreicht, wird der von der Last bezogene Strom notiert und die Verbindung mit der Last unterbrochen. Zu diesem Zeitpunkt, der ebenfalls notiert werden muss, ist der Test beendet. Jetzt können die Ergebnisse der einzelnen Etappen ausgerechnet werden. Nun wird der auf diese Weise ermittelte Amperestundenverbrauch zusammengesamt. Bei einer guten Batterie müsste man dabei theoretisch ca. 60 Amperestunden ermitteln. Ganz genau wird das sicher nicht zu erzielen sein: Die neue Batterie hatte vielleicht niemals exakt die Kapazität von 60 Ah, das Amperemeter und das Voltmeter (Multimeter) waren vielleicht auch nicht absolut präzise und es ist auch nicht ganz sicher, dass die Batterie vor dem Test wirklich hundertprozentig aufgeladen war. Dazu kommt noch, dass das elektrochemische Verhalten der Batterie auch von der jeweiligen Arbeitstemperatur abhängt usw.



Dennoch dürfte bei etwas Glück der Messfehler höchstens zwischen ca. 5 und 10 % liegen. Das wäre für einen Test, der z. B. zum Vergleich von zwei Batterien oder zur Beurteilung der Auswirkung eines Batterieaktivators erfolgt, genügend aussagekräftig.

Bei Bedarf kann auf die gleiche Weise die Kapazität verschiedener Kleinakkus getestet werden, um sich z. B. zu vergewissern, dass ein neues teures Ladegerät tatsächlich fähig ist, ältere Akkus aufzufrischen. Die benötigte Last (ein kleines Glühlämpchen) sollte auch in diesem Fall bevorzugt unterhalb von ca. 10 % der Akku-Nennkapazität liegen.

## 13.7 Funktioniert Ihre Fahrzeuglichtmaschine gut?

**B**esitzer älterer Fahrzeuge haben manchmal berechtigte Zweifel daran, ob ihre Lichtmaschine samt Ladevorrichtung noch gut funktioniert und den Akku auflädt. Ein einfacher Test gibt Gewissheit: Starten Sie das *stehende* Fahrzeug, lassen Sie den Motor kurz nur langsam laufen, schalten Sie dann alle Autolichter ein und geben Sie danach kräftiger Gas. Wenn die Lichtmaschine funktioniert, werden die Autolichter auf die Zugabe von Gas mit einer wahrnehmbar stärkeren Lichtintensität reagieren. Ein solcher Test sagt zwar nichts Näheres darüber aus, „wie“ perfekt das Laden funktioniert, aber in der Praxis genügt es zu wissen, „dass“ es funktioniert.

Wenn Sie ein Multimeter besitzen, können Sie z. B. direkt an der Autobatterie die Spannungsveränderung

messen, die ebenfalls auf die Zugabe von Gas durch Ansteigen der Spannung reagiert. Hatte z. B. die Autobatterie vor dem Motorstart eine Spannung von 11,5 Volt, wird diese Spannung nach dem Start des Motors ca. auf 12,5 Volt ansteigen. Nach Zugabe von Gas wird sie noch bis auf ca. 13,5 Volt steigen. Bei einer 6-Volt-Batterie halbieren sich selbstverständlich die ermittelten Messwerte. Diese sind jedoch nur als Beispiele gedacht, denn die tatsächlichen Spannungsunterschiede hängen sowohl von dem jeweiligen Zustand der Batterie als auch von der markenbezogenen Funktionsweise des Lichtmaschinengenerators, seines Gleichrichters und seiner Art der Laderegelung ab.



## 13.8 Wissenswertes über Autobatterien

In den meisten Autobatterien wird als Elektrolyt immer noch die flüssige Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) verwendet. Sie ist allerdings ätzend, ihre Dämpfe sind explosiv, sie dunstet beim Nachladen aus und sie verdreht zudem auch noch die Batterieanschlüsse mit einem Sulfat. Obwohl die Schwefelsäure verdünnt ist, kann sie als Ätzmittel vor allem an den Augen großen Schaden anrichten. Gut zu wissen:

- a) Vorsicht beim Laden: Das Elektrolyt der Autobatterie kann beim Laden zu sieden anfangen. Dies ist zwar normal, aber es können dabei Spritzer an die ungeschützte Augen-Netzhaut gelangen, die nicht nur unangenehm brennen, sondern auch die Netzhaut ernsthaft schädigen können. Eine gute Schutzbrille ist daher empfehlenswert. Anderenfalls sollte man darauf achten, sich nicht mit den verdreckten Fingern die Augen zu reiben. Genau genommen dürfte die verdünnte Schwefelsäure auch nicht mit der Haut in Berührung kommen, denn unsere Haut ist für solche Attacken nicht gebaut und auch kleinere Verätzungen können ganz unangenehm brennen (Abwaschen der Haut mit kühlem Wasser mildert den Schmerz).
- b) Dass Raucher die Explosionsgefahr der Dämpfe nicht unterschätzen dürfen, hat sich vielleicht schon herumgesprochen. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn die Batterie (bzw. das Fahrzeug) in einer kleineren, schlecht gelüfteten Garage steht. Gefährliche Funken entstehen jedoch auch z. B. beim Anschließen oder Abnehmen der Anschlüsse eines Ladegerätes, das bereits unter Strom steht, an die bzw. von der Autobatterie. Machen Sie es sich daher zur Gewohnheit, das Ladegerät erst nach dem Anschluss der Ladekabel an die Batterie ans Netz einzuschalten und vor dem Abnehmen der Anschlüsse abzuschalten (Netzstecker ziehen)! Zudem sollte der Anschluss des Ladegerätes an eine Batterie in folgender Reihenfolge vorgenommen werden: **Anschluss des Ladekabels:** zuerst die Klemme des Plus-Pols, dann die Klemme des Minus-Pols (der Masse) anschließen; **Abnehmen der Ladekabel:** zuerst die Klemme des Minuspols (der Masse), dann die Klemme des Pluspols lösen.
- c) An den Polen der Batterie setzt sich gerne Sulfat an. Das kann verhindert werden, wenn die Pole z. B. mit einer Kugellager-Vaseline vollflächig geschützt werden. Es gibt für diesen Zweck auch spezielles Polfett und spezielle Polreiniger. Die Pole können aber auch hervorragend mit einer feinen Haushalts-Stahlwolle gereinigt werden.
- d) Dass man das Elektrolytniveau ab und zu kontrollieren und bei Bedarf die Batterie mit destilliertem Wasser nachfüllen sollte, haben wir schon an anderer Stelle angesprochen. Sie können auch bei Ihrem Kfz-Betrieb den Ladezustand der Batterie mit einem *Säureheber* überprüfen lassen und wenn es erforderlich ist, den Säuregehalt der Batterie durch Zugabe von Schwefelsäure auf das erforderliche Optimum erhöhen.
- e) Einige Ladegeräte verfügen über einen Wahlschalter für die Ladegeschwindigkeit (Normalladen/Schnellladen). Wenn die Ladung nicht unbedingt schnell erfolgen muss, geben Sie grundsätzlich dem normalen Laden Vorrang. Das schont die Batterie und verlängert ihre Lebensdauer.
- f) Bei einer intakten Batterie muss nach einigen Stunden Ladezeit der am Ladegerät angezeigte Ladestrom langsam, aber sicher sinken. Falls auch nach einigen Stunden Ladezeit das Amperemeter am Ladegerät hartnäckig den maximalen Ladestrom anzeigt, weist es auf einen Kurzschluss in einem der Batterieglieder hin. Lassen Sie die Batterie bei Ihrer Kfz-Werkstatt überprüfen bzw. ersetzen.

## 14 Solarelektrisches Laden

**A**bgesehen von kleinen handelsüblichen Solarladegeräten wird das solarelektrische Laden auch bei verschiedenen Fertigprodukten und bei netzunabhängigen (Insel-)Photovoltaikanlagen angewendet. Zu den bekanntesten solarelektrisch betriebenen Geräten gehören Solartaschenrechner und Solaraußenleuchten (Abb. 14.1).

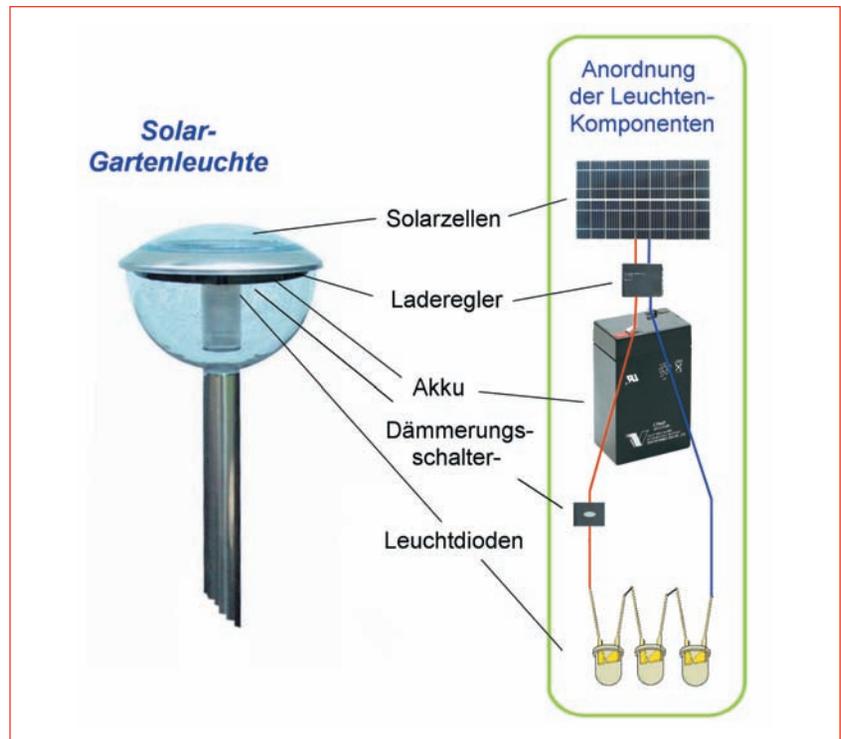
## 14 Solarelektrisches Laden

Bei Solargebrauchsgütern dieser Art werden für die Erzeugung des Ladestroms Solarzellen verwendet, die als Umwandler von Photonen in elektrischen Strom fungieren. Erfreulich daran ist, dass man für die eigentliche Umwandlung der Sonnenenergie keine spezielle Vorrichtungen sondern nur die Solarzelle(n) als Ladestromquelle und angemessene Laderegulierung braucht. Das macht viele Selbstbauprojekte attraktiv. Daher ist es interessant zu wissen, worauf es ankommt.

Die meisten Solarzellen werden als sogenannte *kristalline Solarzellen* (Abb. 14.2 oben) gefertigt. Solange eine Solarzelle belichtet ist, verhält sie sich ähnlich wie eine Batterie. Sie kann jedoch keine Energie speichern, sondern nur die Photonen, von denen sie nach Abb. 14.2 „bombardiert“ wird, in elektrische Energie umwandeln. Der Aufbau einer kristallinen Silizium-Solarzelle ist vom Prinzip her identisch mit dem Aufbau einer Siliziumdiode: Eine dünne Negativschicht und eine „dickere“ Positivschicht bilden nach Abb. 14.2 zwei unterschiedlich dotierte Halbleiterteile, die bei Belichtung zu *Potenzialfeldern* werden.

Die *Negativschicht* der Solarzelle bildet den Minuspol, die *Positivschicht* den Pluspol. Die Spannung und die Leistung der Zelle hängen von der Lichtintensität ab, der die obere Zellschicht ausgesetzt ist. Bei absoluter Dunkelheit weist die

Solarzelle kein Potenzial auf – wobei die Größe der Zellenfläche für den maximalen Strom bestimmend ist, den eine Solarzelle liefern kann. Die Spannung einer kristallinen Solarzelle beträgt typenabhängig ca. 0,45 bis 0,47 Volt und ist von



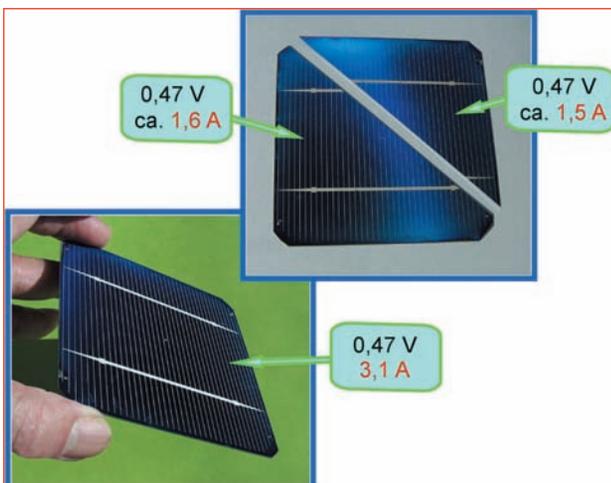
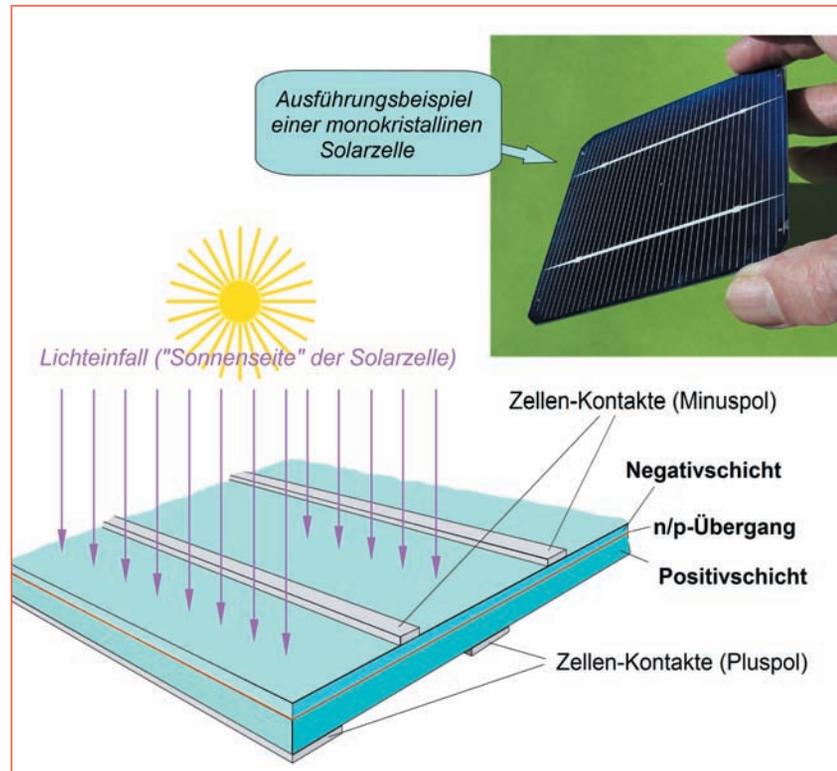
**Abb. 14.1** – Das solarelektrische Innenleben einer Außenleuchte besteht nur aus wenigen Bauteilen.

## 14 Solarelektrisches Laden

der Flächengröße praktisch unabhängig.

Wird beispielsweise eine Solarzelle halbiert oder in beliebig kleine Bruchstücke zerbrochen, bleibt die Spannung der einzelnen Stücke unverändert. Nur der Strom, den z. B. die zwei ungleich großen Hälften einer zerbrochenen Solarzelle maximal liefern können, teilt sich in die zwei Zellenhälften proportional zu ihren Flächen nach Abb. 14.3 auf.

Die Zellen-Nennspannung (die höchste Spannung, die eine optimal belichtete und voll belastete Solarzelle liefern kann), lässt sich nicht durch Verkleinern oder Vergrößern der Zelle ändern. In dieser Hinsicht ähneln Solarzellen den Batterien und Akkus: Auch bei einer Rundbatterie ändern sich mit ihrer Größe nur die Leistung und der Strom,



**Abb. 14.2** – Eine herkömmliche Solarzelle im Schnitt (stark vergrößert; in Wirklichkeit ist eine solche Zelle nur ca. 0,3 bis 0,4 mm dick).

**Abb. 14.3** – Wird eine Solarzelle in zwei oder auch in mehrere Stücke geteilt, teilt sich der maximale Zellenstrom proportional zu den Zellenflächen.

## 14 Solarelektisches Laden

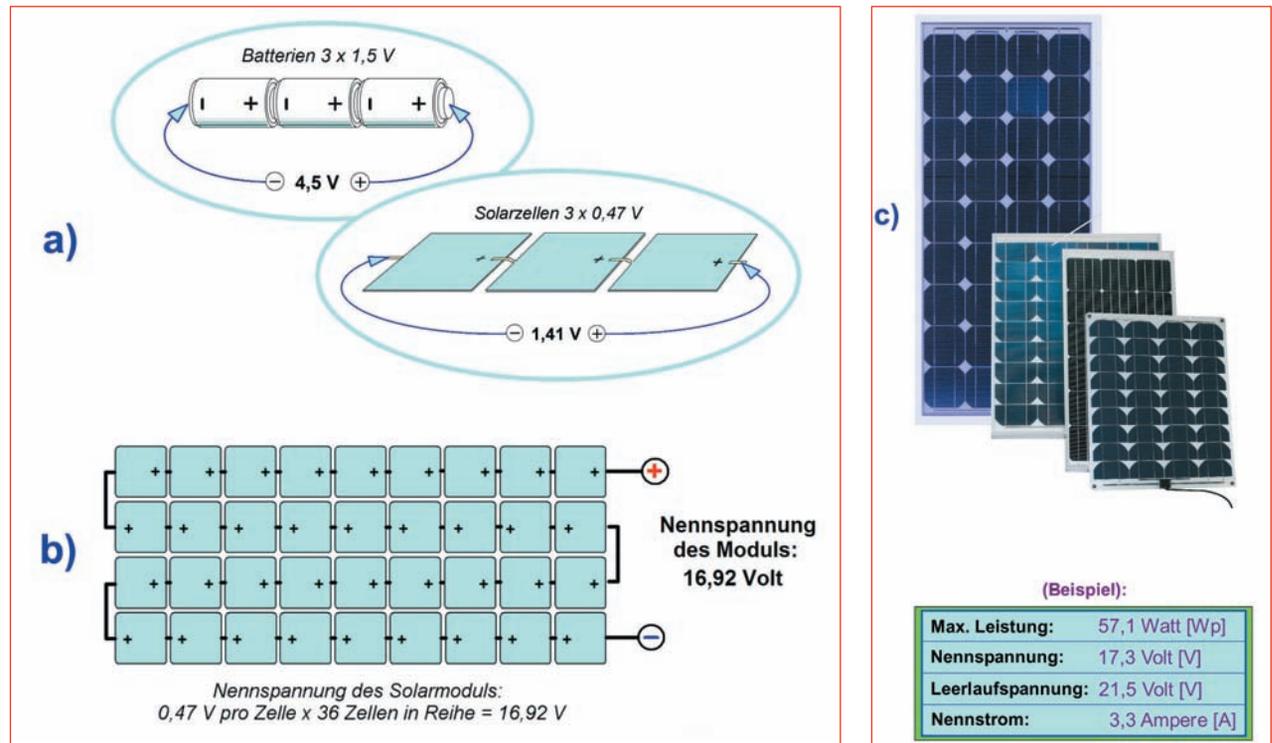
nicht aber die Spannung. Möchte man von den Solarzellen eine höhere Spannung beziehen, müssen einfach mehrere Zellen in Reihe verbunden werden (Abb. 14.4)

Bei solarelektrischem Laden einer Batterie nach dem Beispiel aus Abb. 14.5 ist nur darauf zu achten, dass der Nennstrom des Moduls höchstens 10 % der Akkukapazität beträgt. Niedriger darf der Ladestrom – ähnlich wie bei jedem anderen Laden auch – sein.

Wie wir bereits an anderer Stelle angesprochen haben, sollte ein Bleiakku nach Möglichkeit gegen Tiefentladung geschützt sein. Für das solarelektrische

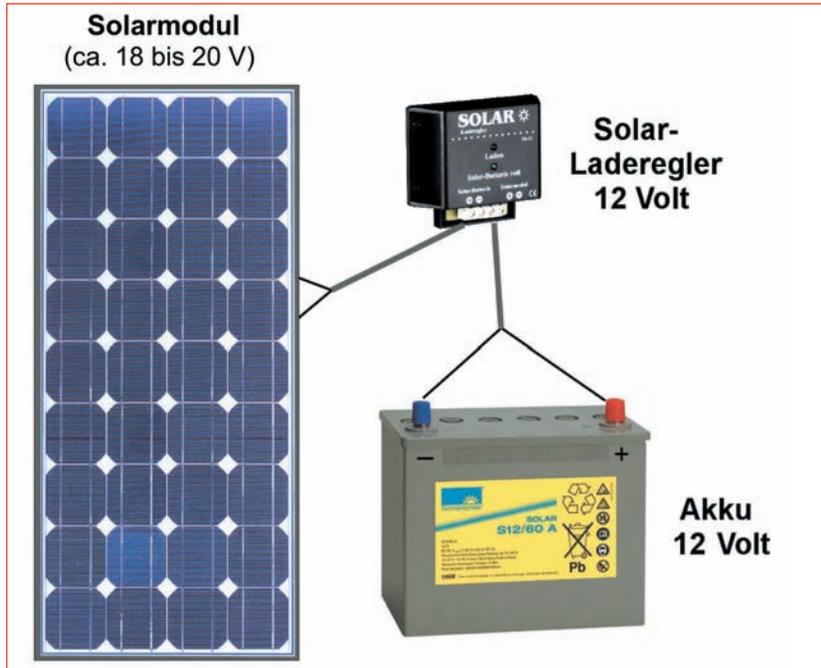
Laden eignen sich daher bevorzugt Laderegler, in denen nach Abb. 14.6 ein Tiefentladeschutz integriert ist. Wenn es erforderlich ist, kann jedoch auch ein separates Tiefentladeschutz-Gerät zwischen den Akku und die Verbraucher (Abb. 14.7) angeschlossen werden.

Für solarelektrisches Laden kleinerer Akkus führt der Handel diverse Mini-Solarmodule (Abb. 14.8), die für verschiedene Nennspannungen und Nennströme ausgelegt sind. Handelsübliche Laderegler sind jedoch normalerweise nur für 12- oder 24-Volt-Batterien ausgelegt. Für das Laden von Akkus mit niedrigeren



**Abb. 14.4** – Ähnlich wie Batterien werden auch Solarzellen in Reihe geschaltet, wenn eine höhere Spannung benötigt wird, als eine einzige Zelle liefern kann: **a)** Anordnungsbeispiel der Zellen in einem Solarmodul. **b)** Ausführungsbeispiele handelsüblicher Solarmodule.

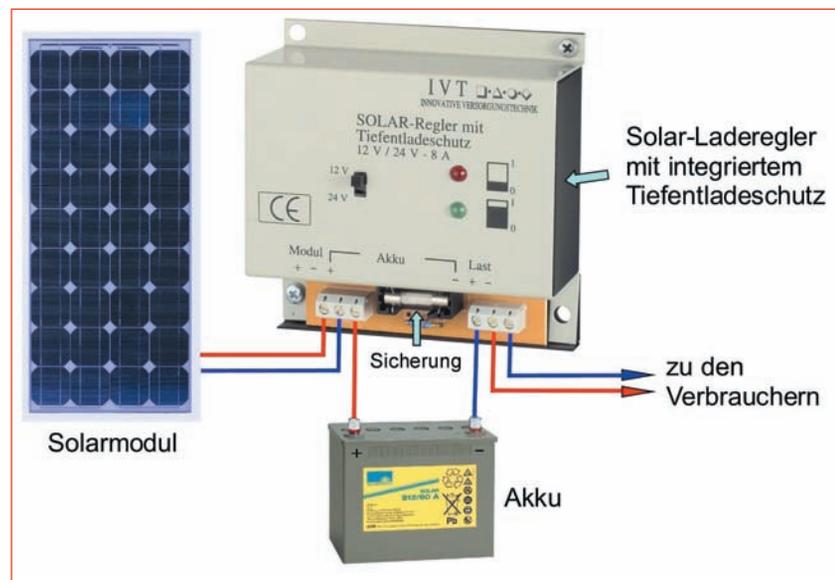
## 14 Solarelektrisches Laden



Spannungen (und Leistungen) kann hier jedoch recht einfach im Selbstbau eine passende Ladevorrichtung zusammengelötet werden. Dabei müssen drei wichtige Vorbedingungen erfüllt werden:

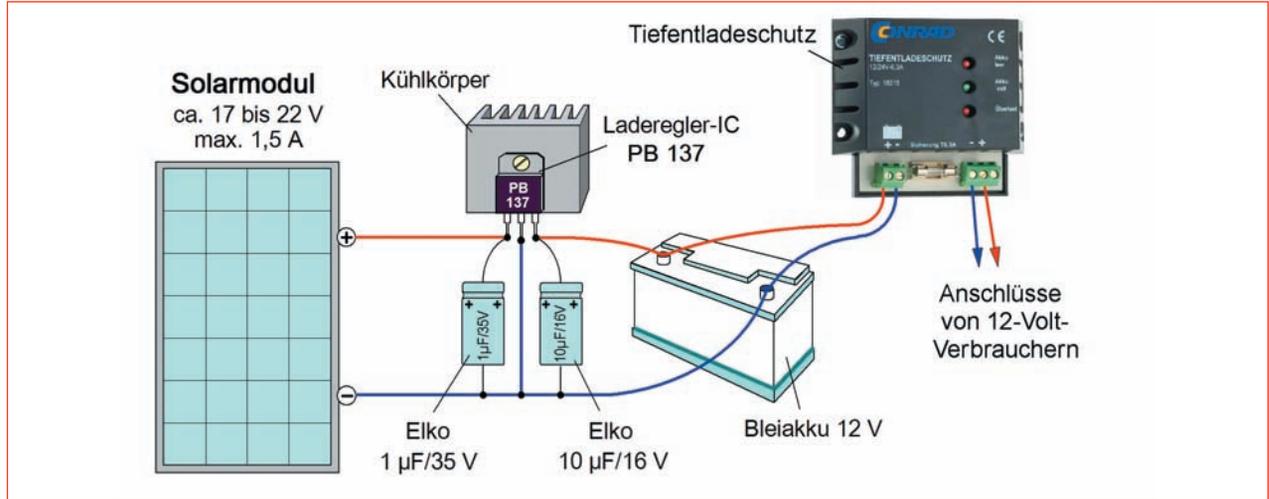
- a) Der Ladestrom sollte nicht mehr als 10 % der Akkukapazität des geladenen Akkus betragen. Eine Ausnahme bilden NiMH-Akkus, bei denen der Ladestrom bis zu 20 % von der Akkukapazität betragen darf.
- b) Die Ladespannung darf die Ladeschlussspannung des geladenen Akkus/der geladenen Batterie nicht überschreiten (siehe hierzu Tabelle 14.1).

**Abb. 14.5** – Das Laden eines Akkus mit Solarstrom ist einfach: Das Solarmodul muss eine ausreichend hohe Ladespannung und -leistung an den Laderegler liefern können. Dieser reduziert die Ladespannung auf einen für den Akku günstigen Höchstwert und fungiert ansonsten wie ein Ladegerät.



**Abb. 14.6** – Die meisten Laderegler für solarelektrisches Laden verfügen über einen internen Tiefentladeschutz.

## 14 Solarelektrisches Laden



**Abb. 14.7** – Conrad Electronic bietet ein Laderegler-IC (PB 137) an, mit dem eine 12-Volt-Bleiakku-Laderegelung für Solarmodule mit einem Nennstrom von maximal 1,5 Ampere (und Nennspannung von bis zu 40 V) im Selbstbau erstellt werden kann. Ein zusätzliches Tiefentladeschutz-Gerät ist ausgangsseitig erforderlich.



**Abb. 14.8** – Für das Laden kleiner Akkus oder Akkupacks führt der Handel Mini-Solarmodule (Mini-panels) mit gekapselten Solarzellen (Foto: Conrad Electronic).



**Abb. 14.9** – Ein Widerstand als „Belastung“ am Ausgang von Solar-Modulen oder gekapselten Solarzellen ermöglicht eine Ermittlung ihrer Belichtungsabhängigkeit mit einem Voltmeter: Die Ausgangsspannung variiert mit der Belichtung (unbelastete Solarzellen reagieren auf Änderungen der Belichtung nicht brauchbar, da in dem Fall nur die Leerlaufspannung angezeigt wird).

## 14 Solarelektrisches Laden

- c) Um zu verhindern, dass sich der Akku über das Solarmodul entlädt, muss eine Schutzdiode nach Abb. 14.10 den Stromfluss in der Gegenrichtung blockieren.

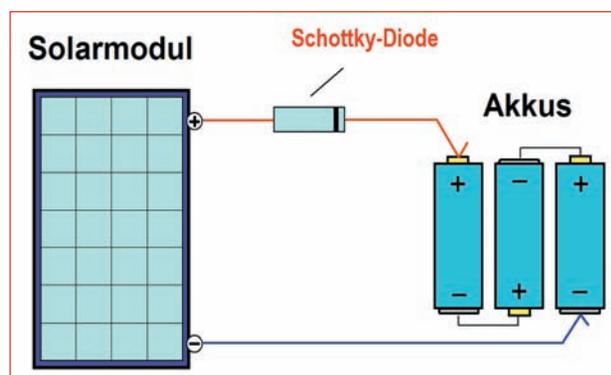
Beim solarelektrischen Laden, bei dem die Akkus nach dem Prinzip aus Abb. 14.10 geladen werden, darf selbstverständlich dem Akku keine höhere Solarspannung zugeführt werden, die seine Ladeschlussspannung überschreitet. Wird ein Akku an ein Solarmodul ohne jegliche zusätzliche Ladespannungsbegrenzung angeschlossen (siehe Abb. 14.10), darf die *Leerlaufspannung* des Solarmoduls nicht die Ladeschlussspannung des Akkus/der Batterie überschreiten. Diese Lösung wird zwar beim solarelektrischen Laden aus Kostengründen mitunter praktiziert, aber das Nachladen des Akkus erfolgt dann nur bei optimalen Wetterbedingungen zufriedenstellend. Daher ist es vorteilhafter, zu diesem Zweck ein Solarmodul anzuwenden, dessen offizielle Nennspannung höher ist als die Ladeschlussspannung des Akkus/der Batterie. In dem Fall muss jedoch die Ladespannung auf den Spannungswert der Ladeschlussspannung begrenzt werden. Dies erfolgt am einfachsten mit einer Zenerdiode,

**Abb. 14.10** – Eine Schutzdiode (Schottky-Diode) schützt den Akku gegen Entladung über das Solarmodul (wenn dieses z. B. nachts keine Spannung hat, würde es den Akku entladen).

	Akku-Typ	Zellen-Spannung	Ladeschluss-Spannung
	Standard-Blei-Akku mit flüssigen oder mit gebundenen Elektrolyt	2 V	2,41 V
	Spezielle Blei-Akku, worunter z. B. Bleigel-Akku von "Exide"	2 V	2,35 V
	Kleine NiCd-, NiMH-, und Lithium-Akkus oder Akku-Packs	1,2 V	1,55 V
	Bis zu ca. 25 x wiederaufladbare, spezielle "AccuCell"-Batterien	1,5 V	1,75 V

\* Die hier angegebene Werte der Ladeschluss-Spannungen sind nur als praxisbezogene Sicherheitswerte zu betrachten, die beim solarelektrischen Laden die Akkus vor Überladen schützen. Bei einigen speziellen Akkus sollte jedoch geprüft werden, ob da der Hersteller nicht andere Ladeschluss-Spannungen angibt.

**Tabelle 14.1** – Ladeschlussspannungen der gängigsten Akkus und wiederaufladbaren Batterien.



## 14 Solarelektrisches Laden

die an den Akku keine höhere Ladespannung durchlässt, als seine Ladeschlussspannung erlaubt.

Ein Beispiel dieser Ladespannungsregelung zeigt Abb. 14.11: Solange die vom Solarmodul gelieferte Ladespannung die Zenerspannung nicht überschreitet, wird sie an den Akku ungehindert durchgelassen – vorausgesetzt, sie ist in dem Moment höher als die Spannung des Akkus. Genau genommen muss sie um mehr als ca. 0,3 Volt höher als die jeweilige Spannung

des Akkus sein, denn diese 0,3 Volt gehen in der Schutzdiode (Schottky-Diode) verloren.

Bei der Ladespannungsregelung in Abb. 14.11 orientieren wir uns an der in Tabelle 14.1 angegebenen Ladeschlussspannung von drei Bleiakzellen. Diese beträgt theoretisch bei einem Standard-Bleiakku 7,23 V (3 x 2,41 V), bei einem Akku der Marke Exide nur 7,05 V (3 x 2,35 V). Die eingezeichnete 6,8-V-Zenerdiode dürfte zwar theoretisch an den Akku nur eine

Eine Schottky-Diode ist eine Spezialdiode mit vielen besonderen Eigenschaften, von denen uns in diesem Zusammenhang nur eine interessiert: An den meisten Dioden dieser Gattung geht nur eine Spannung von ca. 0,3 Volt verloren. Bei normalen Siliziumdioden (Gleichrichterdioden) beträgt der Spannungsverlust (die sogenannte *Sperrspannung*) ca. 0,7 bis 1 Volt und verbraucht somit unnötig viel Solarspannung und Solarleistung.

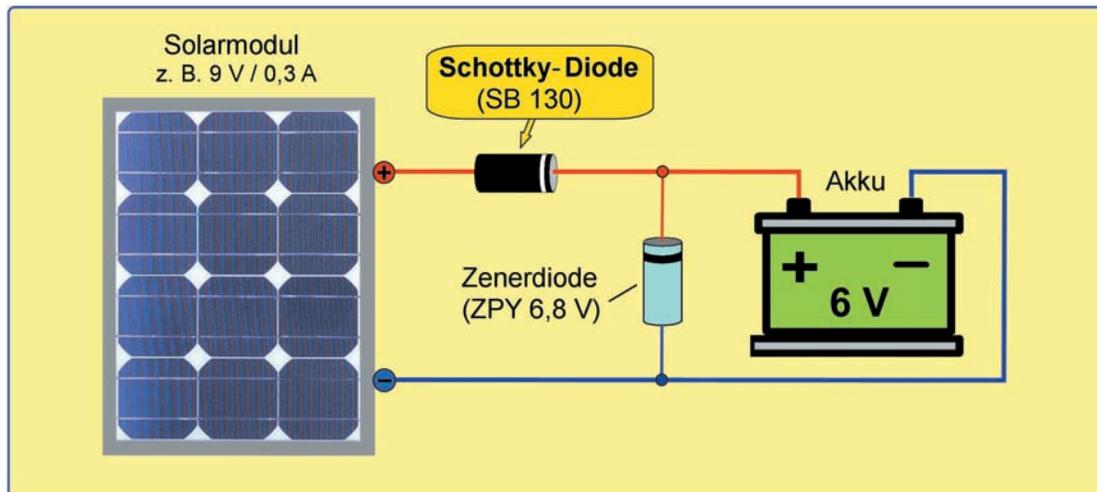
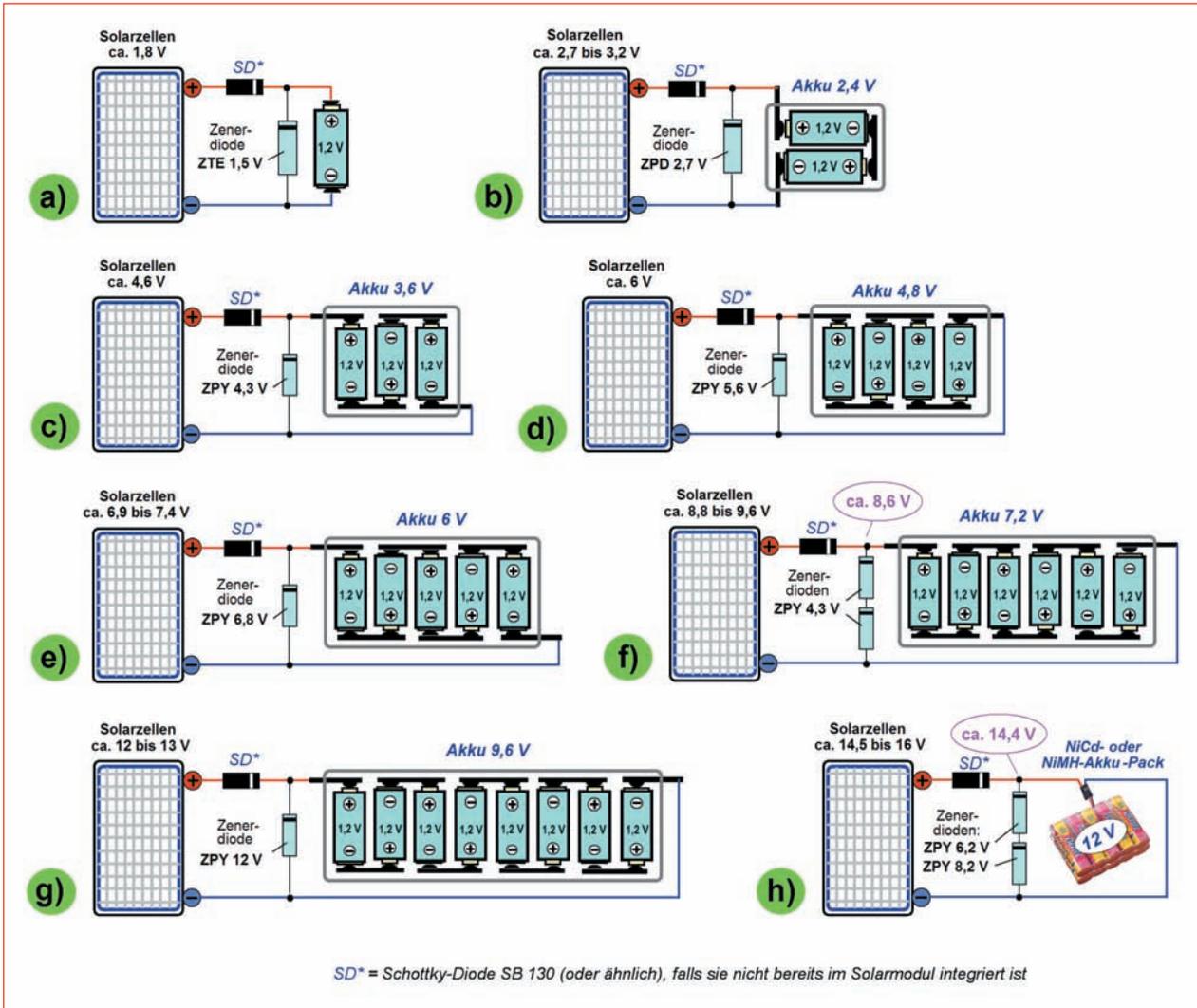


Abb. 14.11 – Beispiel einer einfachen Laderegelung für einen kleinen 6-Volt-Bleiakku.

# 14 Solarelektrisches Laden



**Abb. 14.12** – Beispiele einer einfachen Laderegelung für kleinere Akkus: Die bei den Solarmodulen aufgeführten Spannungen sind als minimale Modul-Nennspannungen zu verstehen.

## 14 Solarelektrisches Laden

Ladespannung von maximal 6,8 V durchlassen, aber es werden durch die Herstellungsstreuung möglicherweise 7 Volt sein. Dazu kommt, dass auch ein gutes Multimeter eine Messgenauigkeit von  $\pm 2-0,3$  % aufweist, was sich auf die ermittelten Messwerte auswirkt.

Beim solarelektrischen Laden wird – im Gegensatz zum Laden mit einem Ladegerät – nicht angestrebt, den Akku während eines Ladevorgangs zu 100 % aufzuladen. Es genügt, wenn er ausreichend nachgeladen wird, denn in der Praxis erfolgen das Laden und die Stromabnahme parallel. Viel wichtiger ist, dass die theoretische Nennspannung des Solarmoduls möglichst hoch gewählt wird, denn ein 9-Volt-Solarmodul liefert an vielen Tagen nur eine Spannung von bestenfalls 6 Volt. So gesehen darf das Solarmodul aus dem Beispiel in Abb. 4.11 für eine wesentlich höhere Nennspannung (als 9 Volt) ausgelegt sein. Dies ist aus Kostengründen aber nur dann zu empfehlen, wenn die Stromversorgung auch während der kalten Jahreszeit weitgehend zuverlässig ist. Abbildung 14.12 zeigt einige Beispiele der Ladespannungsregelung mit Zenerdioden bei kleineren Akkus.

Bei einer Laderegulation, die nach Abb. 14.12 ausgelegt wird, sollte mit einem Multimeter kontrolliert werden, ob sich die Ladespannung tatsächlich in den vorgesehenen Grenzen hält. Falls bei den angewendeten Zenerdioden die Zenerspannung die maximal zulässige Ladeschlussspannung (nach Tabelle 14.1) überschreitet, müssen andere vorselektierte Zenerdioden oder Zenerdioden mit niedrigeren Zenerspannungen angewendet werden. Zenerdioden sind in verschiedenen Leistungsstufen aufwärts erhältlich. Abbildung 9.2 in Kapitel 9 erläutert, wonach sich die erforderliche Leistung einer Zenerdiode richtet.

Mehr über solarelektrische Stromversorgung erfahren Sie in folgenden Büchern des Franzis Verlags:

- Wie nutze ich Solarenergie in Haus und Garten? – ISBN: 978-37723-4449-7
- Wie nutze ich Solar- und Windenergie in der Freizeit und im Hobby? – ISBN: 978-37723-4419-0

## 15 Netzgeräte anstelle von Batterien?

**B**ei den meisten Werkzeugen, Küchen- und Garten-geräten, die für Akkubetrieb ausgelegt sind, versagt der Akku früher seinen Dienst als das Gerät selbst. Den Akku auszuwechseln ist zwar meist kein großes Problem, aber oft kostet ein neuer Akku mehr als ein neues Gerät.

Sofern man an einem solchen Gerät ein Netzkabel in Kauf nehmen mag, ist ein Netzteil/Netzgerät eine kostengünstige Lösung – vor allem dann, wenn man es selbst baut. Der Unterschied zwischen den Bezeichnungen *Netzteil* und *Netzgerät* besteht darin, dass man als

*Netzteil* nur das aus den Bauteilen zusammengesetzte Innenleben der Schaltung bezeichnet, wohingegen das *Netzgerät* ein Netzteil mit eigenem Gehäuse ist. In der Praxis werden kleinere Netzgeräte oft als „Netzteile“ bezeichnet, wenn sie als ein Teil eines Verbrauchers betrachtet werden.

Das Innenleben eines Netzteils ist einfach und lässt sich schnell zusammenlöten. Etwas komplizierter wird es eventuell mit dem Einbau in ein passendes Gehäuse, das schon aus Sicherheitsgründen erforderlich ist und evtl. separat gekauft werden muss.

## 15 Netzgeräte anstelle von Batterien?

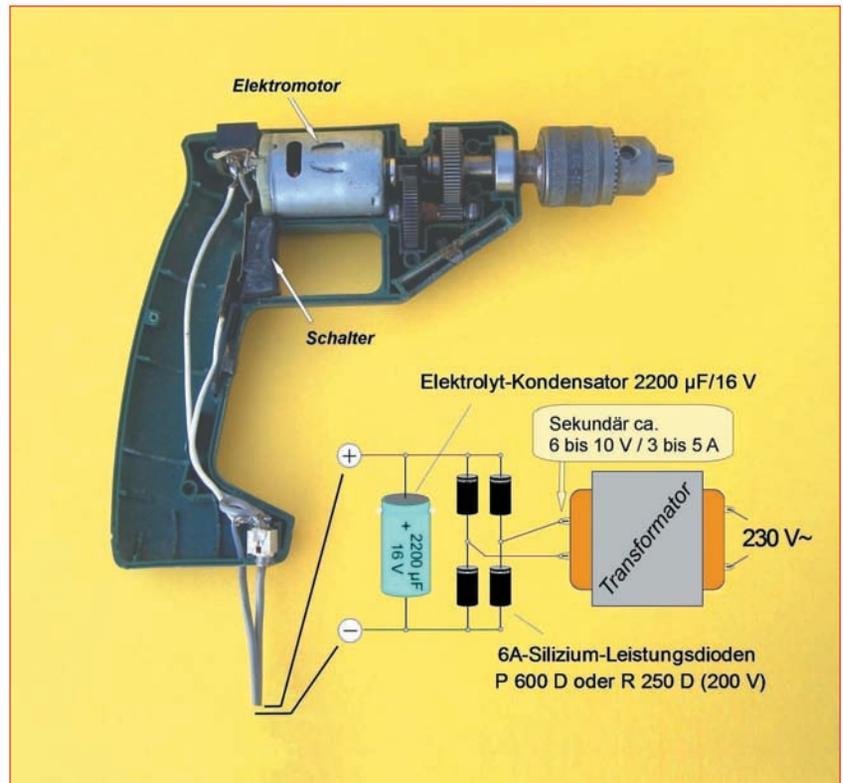
Für die Gleichspannungsversorgung kleinerer Geräte gibt es eine große Auswahl verschiedenster kleinerer Netzgeräte, die teilweise als Steckernetzgeräte (Abb. 15.1) oder als Tischgeräte ausgelegt sind. Einige dieser Steckernetzgeräte sind als reine Transformatoren ausgeführt, von denen ausgangsseitig nur eine niedrigere Wechselspannung bezo-

gen werden kann. Bei Netzgeräten, die Gleichspannung liefern, ist beim Kauf darauf zu achten, ob die von ihnen gelieferte Spannung *un-stabilisiert* oder *stabilisiert* ist, wie hoch sie ist und für welche maximale Stromabnahme/Ausgangsleistung sie ausgelegt ist. Zudem gibt es solche Netzgeräte wahlweise in herkömmlicher Ausführung oder mit einem *Schaltnetzteil*.

Geräte mit Schaltnetzteil arbeiten energiesparend, denn es erhöht die ihm zugeführte Netzfrequenz (50 Hz) elektronisch auf eine wesentlich höhere Frequenz (von z. B. 100 kHz), die mit einem hohen Wirkungsgrad transformiert wird. Die dadurch erzielte Einsparung der Energieverluste gewinnt allerdings nur dann an Bedeutung, wenn ein solches Netzgerät häufiger und je-



**Abb. 15.1** – Handelsübliche Steckernetzgeräte sind in vielen Ausführungen erhältlich.



**Abb. 15.2** – Umbau eines Akku-Bohrschraubers auf Netzbetrieb.

## 15 Netzgeräte anstelle von Batterien?

weils länger betrieben wird. Andernfalls rechtfertigt der Aufpreis die tatsächliche Energieeinsparung, die kürzere Lebensdauer und die erhöhte Störungsanfälligkeit dieser Gerätekategorie nicht.

In vielen Fällen ist es von Vorteil, wenn man sich eine einfache Gleichspannungsversorgung selbst baut, um z. B. ein Akkuwerkzeug auch dann noch betreiben zu können, wenn seine Akkus unbrauchbar sind. Zudem benötigt manches Werkzeug einen höheren Strom oder eine höhere Versorgungsspannung, als ein handelsübliches Steckernetzgerät liefern kann. Die dafür erforderlichen Bauteile sind preiswert, da für diesen Zweck Restposten-Trafos verwendet werden können, die sekundär nur für annähernde Spannung und Leistung ausgelegt sind. Ein konkretes Beispiel zeigt, wie ein kleiner Akku-Bohrschrauber zu einem netzbetriebenen Werkzeug (Abb. 15.2) modifiziert wird.

Die meisten der kleinen Gleichstrommotoren, die in solchen Werkzeugen angewendet werden, sind herstellerseitig für einen breiteren Spannungsversorgungsbereich ausgelegt. In den Datenblättern solcher Elektromotoren steht dann z. B., dass sie für eine Versorgungsspannung von 4,5 bis 9 Volt oder von 5 bis 12 Volt ausgelegt sind.

Gleichstrommotoren aus Akkugeräten dürfen von einem Netzgerät sowohl eine etwas niedrigere als auch eine etwas höhere Versorgungsspannung erhalten. Bei einer niedrigeren Versorgungsspannung laufen sie etwas langsamer und büßen etwas an Leistung ein, bei einer etwas höheren Versorgungsspannung laufen sie wiederum schneller und leisten mehr. Wenn die Spannung aber zu hoch wird, erwärmen sich die Geräte zu sehr.

Wichtig ist, dass das Netzgerät einen ausreichend hohen Strom für den Motorantrieb liefern kann. Leider ist oft weder in den Unterlagen noch am Werkzeug selbst ein Hinweis darauf zu finden, welchen Strom der

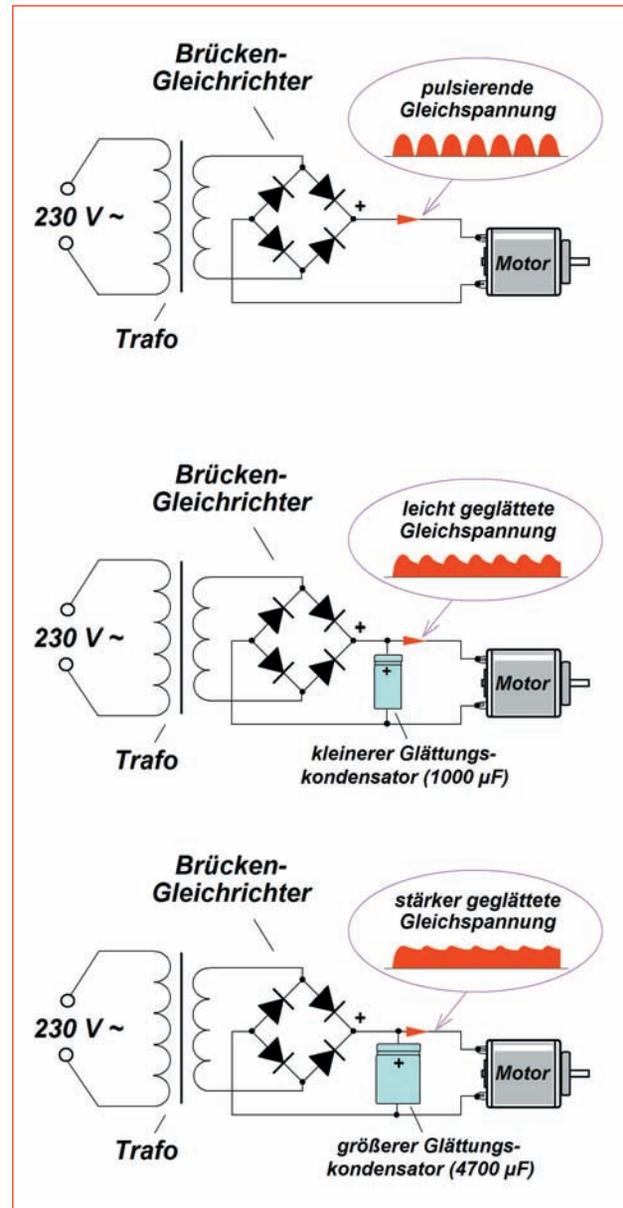


Abb. 15.3 – Glättung der pulsierenden Gleichspannung mit einem Glättungskondensator.

## 15 Netzgeräte anstelle von Batterien?

Elektromotor bezieht. Bei den meisten kleineren und mittelgroßen Werkzeugen, die ihre Stromversorgung aus Rundakkus beziehen, liegt der Stromverbrauch zwischen ca. 2 und 4 A. Die Stromabnahme variiert jedoch mit der Belastung und diese kann, z. B. bei Akkuschraubern, sehr unterschiedlich sein. Der vom Elektromotor bezogene Strom steigt mit der Belastung stark. Ist der Trafo unterdimensioniert, kann er den benötigten Strom und die benötigte Leistung (Spannung  $\times$  Strom) bei kräftigerer Belastung nicht aufbringen, Das Werkzeug ist dann nur für weniger anspruchsvollen Einsatz brauchbar. Wenn dagegen die Sekundärwicklung des Trafos für einen wesentlich höheren Strom ausgelegt ist als das Werkzeug benötigt, schadet es nicht. Das Netzgerät wird dadurch allerdings etwas schwerer und teurer.

Das Selbstbau-Netzgerät in Abb. 15.2 ist nicht stabilisiert und seine Ausgangsspannung ist nicht perfekt gleichgerichtet, sondern beinhaltet noch recht tiefe 100-Hertz-Rillen, deren Ursache und Glättungsprinzip in Abb. 15.3 bildlich erläutert werden: Ohne einen Glättungskondensator erhält der Motor (Gleichstrom-Motor) nur eine pulsierende Gleichspannung (Abb. 15.3). Diese pulsierende Gleichspannung kann mit einem elektrolytischen Glättungskondensator etwas geglättet werden. Je höher die Kapazität des Kondensators und je niedriger die Stromabnahme, desto besser ist die Glättung. Allerdings hat hier die Glättung ihre Grenzen: Bei dieser Form der Glättung bleiben in der

Gleichspannung Rillen. Für den Antrieb einfacher Gleichstrommotoren – von z. B. Akkuwerkzeugen – genügt jedoch eine Gleichspannung mit Rillen.

Für die Stromversorgung elektronischer Geräte ist jedoch eine gut (bis perfekt) geglättete Gleichspannung erforderlich. Die einfachste und perfektteste Glättung der vom Gleichrichter gelieferten Gleichspannung wird bei einem Selbstbau-Netzgerät mithilfe eines zusätzlich integrierten Festspannungsreglers nach Abb. 15.4 erzielt.

Hier wurde für die Spannungsregelung ein 1-Amperere-Festspannungsregler verwendet. Theoretisch hätte zwar ein 500-mA-Festspannungsregler genügt, aber diese „Winzlinge“ sind für experimentelle Schaltungen nicht strapazierfähig genug. Für Netzgeräte mit höheren Strömen gibt es auch Festspannungsregler von 2 A, 5 A, 10 A usw. sowie *einstellbare Spannungsregler*, die z. B. nach Abb. 15.5 angeschlossen werden. Mit einstellbaren Spannungsreglern kann die Ausgangsspannung z. B. zwischen ca. 1,2 und 37 V eingestellt werden – vorausgesetzt der angewendete Transformator liefert sekundär eine ausreichend hohe Spannung. Falls die maximale Spannungsgrenze von 37 V nicht beansprucht wird, kann die Sekundärspannung des Transformators beliebig niedriger gewählt werden. Das Gleiche gilt auch für den benötigten Ausgangsstrom, der in unserem Beispiel nicht auf die volle Leistung des Spannungsreglers, sondern nur auf den tatsächlichen Bedarf abgestimmt ist.

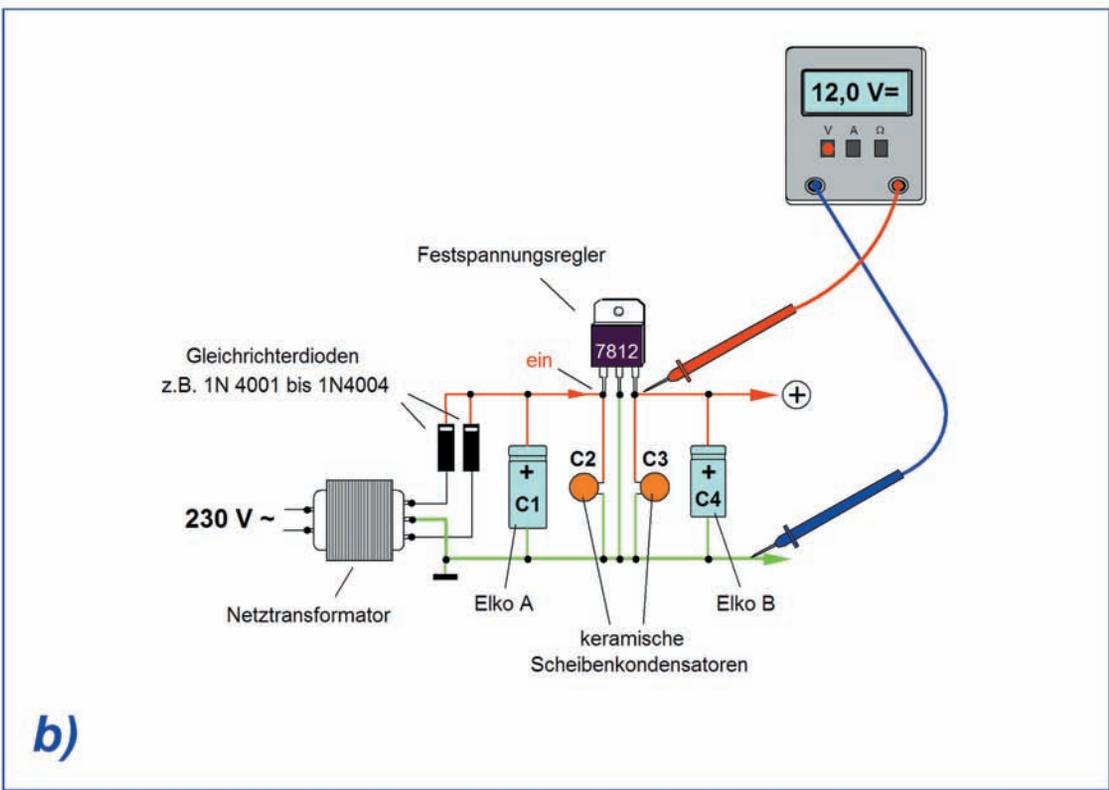
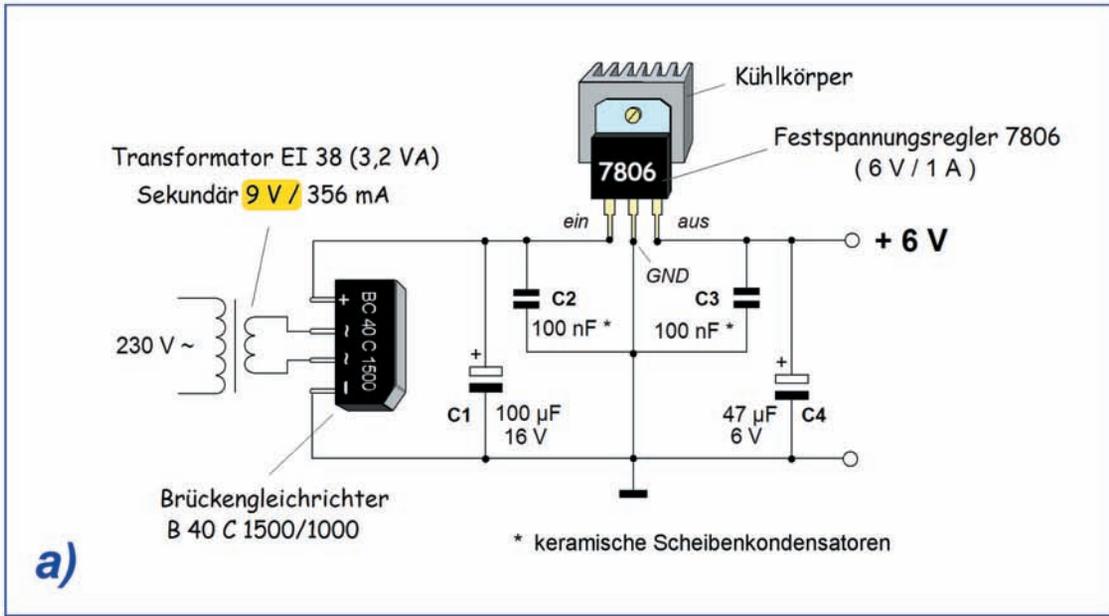


Abb. 15.4 – Glättung der pulsierenden Gleichspannung mithilfe eines Festspannungsreglers: a) Beispiel mit einem Brückengleichrichter. b) Beispiel mit einem Zweipunktgleichrichter und mit bildlich dargestellten Bauteilen.

Gefällt Ihnen dieses Buch? Vielleicht sind Sie an weiteren Fachinformationen oder an anderen Themen interessiert, die von Bo Hanus verfasst und vom Franzis Verlag herausgegeben wurden? Hier die Übersicht der aktuellen Titel:

- Solar-Dachanlagen selbst planen und installieren (2. Auflage, 128 Seiten)
- Wie nutze ich Solarenergie in Haus und Garten? (neu, 128 S.)
- Wie nutze ich Solar- und Windenergie in der Freizeit und im Hobby (neu, 128 S.)
- Praktische Solaranwendungen mit Leuchtdioden (neu, 128 S.)
- Experimente mit superhellen Leuchtdioden (153 S.)
- Spaß & Spiel mit der Solartechnik (112 S.)
- Solaranlagen richtig planen, installieren und nutzen (2. Auflage, 300 S.)
- Der leichte Einstieg in die Elektronik (5. Auflage, 363 S.)
- So steigen Sie erfolgreich in die Elektronik ein (4. Auflage, 97 S.)
- Solar-Dachanlagen selbst planen und installieren (2. Auflage, 128 S.)
- Haushaltselektrik selbst installieren und reparieren (neu, 128 S.)
- Elektroinstallationen in Haus und Garten – echt leicht! (97 S.)
- Wie nutze ich Windenergie in Haus und Garten? (3. Auflage, 97 S.)
- Das große Anwenderbuch der Windgeneratoren-Technik (319 S.)
- Das große Anwenderbuch der Solartechnik (2. Auflage, 367 S.)
- Hausversorgung mit alternativen Energien (neu, 128 S.)
- Digitale SAT-Anlagen selbst installieren (neu, 128 S.)
- Haushaltselektronik selbst reparieren (neu, 128 S.)
- Elektrische Haushaltsgeräte selbst reparieren (neu, 128 S.)
- Öl- und Gasheizung selbst warten und reparieren (neu, 128 S.)
- Sanitäreanlagen selbst reparieren (neu, 128 S.)
- Der leichte Einstieg in die Elektrotechnik (219 S.)
- Drahtlos schalten, steuern und übertragen in Haus und Garten (234 S.)
- Drahtlos überwachen mit Mini-Videokameras (205 S.)
- Schalten, Steuern und Überwachen mit dem Handy (2. Auflage, 97 S.)
- Der leichte Einstieg in die Mechatronik (neu, 268 S.)
- Spaß & Spiel mit der Elektronik (120 S.)
- Erfolgreicher Service elektronischer Musikinstrumente (343 S.)
- Das große Anwenderbuch der Elektronik (2. Auflage, 351 S.)
- Selbstbau-Roboter für Alarm- & Sicherheitsaufgaben (172 S.)
- Kampfspiel-Roboter im Selbstbau – Robot WARS (97 S.)

Einige der hier aufgeführten Bücher sind möglicherweise inzwischen im Buchhandel vergriffen, stehen aber in städtischen Büchereien als Leihbücher zur Verfügung oder werden dort für den Interessierten besorgt.

**Lieferantenhinweis** (auch für Kataloganforderung):

**Conrad Electronic**, Klaus Conrad  
Str. 1, 92240 Hirschau  
Tel. (01 80) 5 31 21 11,  
Fax (0180) 5 31 21 10  
[www.conrad.de](http://www.conrad.de)

**ELV**  
Tel.: (04 91) 60 08 88,  
Fax: (04 91) 70 16  
[www.elv.de](http://www.elv.de)

**Reichelt Elektronik**, Elektronikring 1, 26452 Sande  
Tel. (0 44 22) 95 53 33,  
Fax (0 44 22) 95 51 11  
[www.reichelt.de](http://www.reichelt.de)

**Westfalia GmbH**  
Werkzeugstraße 1, 58082 Hagen  
Tel.: (01 80) 5 30 31 32,  
Fax: (01 80) 5 30 31 30  
[www.westfalia.de](http://www.westfalia.de)

# Stichwortverzeichnis

## A

Abnahmeleistung 77  
Akkuglieder (Zellen) 21  
Akkupacks 21, 54  
Akkuwerkzeuge 71, 93  
Alkali-Mangan-Knopfzellen 39  
Alkaline Knopfzellen 37  
Alkaline Batterien 36  
Amperemeter 85  
Anlagenakku 75  
Audioverstärker 76, 77  
Autobatterie 26, 76

## B

Batteriebetrieb 67  
Batteriekapazität 104  
Batterien in Reihe geschaltet 68  
Batterien parallel geschaltet 68  
Bleiakkus 18, 50  
Brückengleichrichter 91

## D

Dünnschicht-Solarzellen 61

## E

Einweg-Alkalibatterien 35  
Einwegbatterien 11  
Elektrolyt 69  
Energiespeicher 55

## F

Fahrzeugakku 72  
Fahrzeugbatterien 24  
Kontrolle 77  
Faraday-Widerstand 30  
Funk-Türglocken 60

## G

Gel-Akkus 48  
Gleichstrommotor 51  
Gold-Caps 10, 55, 56

## H

Hysterese 31

## I

Impedanz 30  
Impedanz von Starterbatterien 50  
Innenwiderstand 85  
des Akkus 88  
IU-Kennlinie 88

## K

Kapazität 10, 95  
eines Akkus 23  
und Belastbarkeit 19  
Knopfzellen 16, 22  
Knopfzellen Silberoxid 38  
Kontroll-Voltmeter 76

## L

Ladegerät 69  
Laden von Kleinakkus 86  
Ladeschlussspannungswert 86  
Ladespannung 56, 86  
Ladestrom 84, 86  
LED-Spannungsüberwachung 81  
Leitfähigkeit 29  
Leuchtdioden 93  
Li-Ion-Akkus 34, 72  
Lithium-Knopfzellen 38  
Lithium-Polymer-Akkus 54

Low-Batt-Warnung 80

## M

Memory-Effekt 34, 71  
Mittelpunkt-Schaltung 91

## N

Nennkapazität eines Akkus 104  
Nennspannung 19, 20, 95  
NiCd-Akkus 34, 72  
NiMH-Akkus 26, 34, 72

## P

Photovoltaikanlage 33, 49  
Prinzip des Ladens eines Akkus  
85  
pulsierende Gleichspannung 91

## R

Rückschaltspannung 78

## S

Schottky-Diode 58, 76  
Schutzwiderstand 10, 91  
Schwefelsäuren-Bleiakkus 72  
Sekundärzellen 17, 44  
Selbstbau-Elektroantrieb 24  
Selbstentladung 19, 24, 29, 49  
Solarakkus 49, 50  
Solarbetriebene Uhr 62  
Solar-Ladegerät mit integriertem  
Tiefentladeschutz 74  
Solar-Laderegler 33  
Solarmodul 33

# Stichwortverzeichnis

Solar-Torantriebseinheit 75  
Spannungsüberwachung 80  
Speicherbatterie einer  
  photovoltaischen Anlage 50  
Speicher kondensatoren 9  
Spezialbatterien für Handys 54  
Stift-Multimeter 21  
Sulfatablagerung 82  
Super-Caps 55

## T

Tiefentlade-Abschaltsschwellen 79  
Tiefentlade-Abschaltspannung 78

Tiefentladeschutz 31, 33, 74  
Tiefentladeschwelle 19, 31, 74  
Tiefentladung 31, 49  
Torantrieb 74

## U

Uhren-Knopfzellen 42  
Unterspannungswarnung 80

## V

Verlustspannung 93  
Voice-Modul 66  
Vorwiderstand 57

## W

Werkzeugakkus 72  
Wiederaufladbare Akkus 11, 44

## Z

Zeitschalter (Timer) 94  
Zenerdiode 57,58  
Zink-Luft-Knopfzellen 39  
Zweitbatterie 77  
  im Auto 76

Frank Sichla, Dieter Schulz, Bo Hanus

**Das große**

# Elektronik-Praktiker-Buch

**Dieses Buch ist ein unentbehrlicher Praxisratgeber, mit dem jeder Leser auf seine Kosten kommt. Egal ob in Beruf oder Hobby – Sie finden detaillierte Beschreibungen und Unterstützung bei allen auftretenden Fragen. Dieses Nachschlagewerk – das keine Fachkenntnisse voraussetzt – informiert Sie schnell und punktgenau über unterschiedlichste Fragen aus der Praxis. Außerdem regen viele praxiserprobte Anleitungen zum Selbstbau an.**

## Aus dem Inhalt

- Mit dem Vielfachmessinstrument Fehler finden
- Richtig löten – so machen Sie defekte Geräte wieder flott
- Akkus und Batterien richtig pflegen und laden

Der erste Teil des Buchs zeigt Ihnen, wie Sie mit einem richtig eingesetzten Vielfachmessinstrument Fehler finden und im Handumdrehen beheben können. Das Vielfachinstrument wird als ein überaus nützliches und preiswertes Universalwerkzeug vorgestellt.

Im zweiten Teil erfahren Sie, wie Sie durch richtiges Löten defekte elektronische Geräte wieder flottmachen, Leitungen reparieren oder gelockerte Stecker befestigen, damit die angeschlossenen Komponenten wieder einwandfrei funktionieren. Selbst kleine elektronische Geräte können Sie als Bausatz zusammenlöten, anstatt beim Händler für viel Geld zu kaufen.

Welche Akkus eignen sich für ein Vorhaben am besten? Wo können Gold-Caps als vorteilhafte Energiespeicher verwendet werden? Wie können Akkus am besten und einfachsten geladen werden? Im dritten Teil finden Sie Antworten auf diese Fragen und viele praxiserprobte Anleitungen zum Selbstbau.

Ein Praxisratgeber, auf den kein Elektroniker verzichten sollte.

**Geld sparen – selber machen!**Besuchen Sie uns im Internet: [www.franzis.de](http://www.franzis.de)

EUR 19,95 [D]

ISBN 978-3-7723-5156-3



9 783772 351563