

Boards benötigen, sondern startet typischerweise mit einem konstanten Ladestrom, der immer geringer wird, bevor am Schluss eine konstante Spannung (von vielleicht 5 V) für die Restaufladung des Akkus sorgt.



**Abb. 5-2** Ein USB-Steckernetzteil mit dem notwendigen Micro-USB-Verbindungskabel

Für viele Boards (Raspberry Pi, Beaglebone Black) hat sich die Micro-USB-Buchse als Standardverbindung zur Spannungsversorgung etabliert. Dementsprechend werden verschiedene Steckernetzteile mit einem passenden USB-Micro-Stecker angeboten. Für den Raspberry Pi empfiehlt sich ein 5-V-Typ mit einer Leistung von 5 W (1 A  $\times$  5 V), der auch für die meisten vergleichbaren Boards ausreicht. Lediglich das Arduino-Board der Firma Intel (Galileo) nimmt einen Strom von bis zu 3 A auf.



**Abb. 5-3** Ein einstellbares Steckernetzteil mit verschiedenen Anschlussadaptern

Universellere Steckernetzteile erlauben die Einstellung der Ausgangsspannung per Schalter sowie die Festlegung der Polarität und bieten austauschbare Verbindungsadapter, damit verschiedene Buchsentypen versorgt werden können. Beim Anschluss derselben ist stets Obacht geboten, damit nicht aus Versehen eine Verpolung stattfindet, was günstigenfalls nur zum Auslösen der Sicherung auf dem Board führt. Ob tatsächlich eine Sicherung vorhanden ist, hängt vom jeweiligen Board ab, verlassen kann man sich darauf keinesfalls.

Insbesondere bei den Universalnetzteilen wird man beim Nachmessen der Ausgangsspannung mit einem Multimeter feststellen können, dass die Spannung oftmals höher ist, als eingestellt. Bei Belastung durch das angeschlossene Board wird die Spannung zwar sinken, allerdings ist nicht auszuschließen, dass sie immer noch etwas höher liegt. Üblicherweise ist dies kein Problem, wenn die Spannung auf dem Board mit einem Spannungsregler genau auf die für die Schaltung notwendige Spannung heruntergeregelt wird. Bei gekauften Boards sollte man davon ausgehen können, dass hier ein Spannungsregler vorhanden ist; bei Selbstbauten muss man diesen Umstand allerdings beachten. Außerdem ist es günstiger, wenn die Eingangsspannung nicht übermäßig über der für das Board spezifizierten Spannung liegt bzw. nur der angegebene Minimalwert eingehalten wird, denn zu hohe Spannungen werden vom Regler – wenn es sich um einen üblichen Linearregler handelt – in Verlustleistung umgesetzt, die sich in Wärme äußert, weshalb der Regler und die angrenzende Elektronik unnötigerweise aufgeheizt werden.

## 5.2 Batterien

Mit Batterien können Schaltungen autark betrieben werden, d. h. ohne eine Kabelverbindung zu einem Netzteil, wie es für bestimmte – eben mobile – Geräte Voraussetzung ist. Eine Batterie wird als *Primärzelle* bezeichnet, weil sie im Gegensatz zu einem Akkumulator (Sekundärzelle) bereits bei der Produktion ihre maximale Energie erhalten hat. Sekundärzellen (siehe Abschnitt 5.3) erhalten ihre vollständige Energie erst in Folge eines Aufladevorgangs. Oftmals wird in beiden Fällen jedoch von einer »Batterie« gesprochen, etwa bei einer Autobatterie, die vom Prinzip her einem Akkumulator entspricht. Außerdem wird im englischen Sprachraum sowohl für Batterien als auch für Akkumulatoren stets der Begriff *batteries* verwendet, wobei Akkus mitunter als *rechargeable batteries* bezeichnet werden.

Sowohl Primär- als auch Sekundärzellen stellen elektrochemische Elemente mit Energieerzeugung und -speicher dar, die mit äußeren Elektroden und dazwischen einem Elektrolyten aufgebaut sind. Mehrere dieser sogenannten *galvani-*

*schen Zellen* können zu einer Batterie oder einem Akkumulator zusammengesaltet werden. Die Nennspannung einer Zelle wird durch das Material der Elektroden bestimmt, wobei für die positive und die negative Elektrode unterschiedliche Materialien verwendet werden.

Im Folgenden wird lediglich auf Primärzellen eingegangen, die für leistungsarme Schaltungen geeignet sind. Primärzellen sind sehr einfach einzusetzen und mit Standardspannungen von 1,5 V und 3 V in zahlreichen verschiedenen Bauformen wie Mignon oder als Knopfzellen erhältlich. Ihre maximale Kapazität hängt wesentlich von der Größe der jeweiligen Bauform sowie letztendlich auch von den Elektroden- und Elektrolytmaterialien des jeweiligen Typs ab. Für Mignon-Batterien sind 2700 mAh und für Knopfzellen 1000 mAh als aktuelle Maximalwerte zu betrachten.

Für Batterien werden verschiedene Elektroden- und Elektrolytmaterialien verwendet. Als Beispiel sei eine Alkali-Mangan-Zelle genannt, bei der die negative Elektrode aus Zink, die positive Elektrode aus Mangandioxid und der Elektrolyt aus konzentrierter Kalilauge besteht. Diese auch als Alkaline-Zellen bezeichneten Batterien können momentan als Universaltypen für alle möglichen Anwendungszwecke angesehen werden. Allerdings können sie keine exakte Mindestspannung garantieren. Die Nennspannung beträgt 1,5 V, die tatsächliche Leerlaufspannung liegt jedoch zwischen 1,57 und 1,63 V.

Der Vorläufer der Alkaline-Batterie ist die Zink-Kohle-Batterie, die demgegenüber nur eine verhältnismäßig niedrige Kapazität sowie eine geringe Auslauf-sicherheit aufweist. Für Uhren und Hörgeräte werden oftmals Silberoxid-Knopfzellen (1,55 V) eingesetzt, die über eine sehr hohe Spannungskonstanz und sehr gute Auslauf-sicherheit verfügen.

Die höchste Energiedichte aller Batterien weisen die Lithium-Batterien auf, die es in zahlreichen Bauformen (Micro, Mignon, Knopfzelle, für Printmontage) und Spannungen gibt. Die gebräuchlichste Spannung beträgt 3 V. Das Lithium wird dabei als aktives Material in der negativen Elektrode verwendet, während in der positiven beispielsweise Mangandioxid zum Einsatz kommt, wie etwa bei den gebräuchlichen CR-Knopfzellen (siehe Abbildung 5–4).

Button cells and button cell batteries Series CR



Type	Order-no.	Nominal voltage	Typical capacity	Dimension (mm)		Weight (g)	UL-recognized under IEC 60343 (N)	Designation IEC
				a	h			
CR 1216	6216 101 501	3 V	25 mAh	12.5	1.6	0.7	x	CR 1216
CR 1220	6220 101 501	3 V	35 mAh	12.5	2.0	0.8	x	CR 1220
CR 1616	6616 101 501	3 V	55 mAh	16.0	1.6	1.2	x	CR 1616
CR 1620	6620 101 501	3 V	60 mAh	16.0	2.0	1.2	x	CR 1620
CR 2016	6016 101 501	3 V	90 mAh	20.0	1.6	1.8	x	CR 2016
CR 2025	6025 101 501	3 V	170 mAh	20.0	2.5	2.5	x	CR 2025
CR 2032	6032 101 501	3 V	230 mAh	20.0	3.2	3.0	x	CR 2032
CR 2320	6320 101 501	3 V	135 mAh	23.0	2.0	2.9	x	CR 2320
CR 2430	6430 101 501	3 V	280 mAh	24.5	3.0	4.0	x	CR 2430
CR 2450	6450 101 501	3 V	560 mAh	24.5	5.0	6.2	x	CR 2450

Abb. 5-4 Knopfzellen der CR-Serie in der Übersicht

In Abhängigkeit von der jeweiligen Applikation und dem Batterietyp kann eine batteriebetriebene Schaltung jahrelang ohne Probleme funktionieren. Die Berechnung der Lebensdauer ist anhand der jeweiligen mAh-Angabe möglich, wenn die Verbrauchsdaten der Applikation genau bekannt sind. Die Energie (E) berechnet sich aus dem Produkt der Leistung (P) und der Zeit (t), wobei die Leistung das Produkt aus Strom (I) und Spannung (U) ist.

$$E = P \cdot t; \quad P = U \cdot I$$

In der Praxis kann eine Berechnung jedoch nur als ein Richtwert angesehen werden, denn die Kapazität einer Batterie hängt auch von der Temperatur und den auftretenden Lastzyklen ab. Relativ kurze, hohe Ströme stressen eine Batterie anders als ein eher gleichmäßiger kontinuierlicher Verbrauch. Beispielsweise sollte eine gebräuchliche CR2032-Knopfzelle nicht mehr als 15 mA abgeben, andernfalls leidet die Kapazität und die Batterie ist schnell unbrauchbar (Alterung). Der Spitzenstrom von Funktransceivern (siehe Kapitel 6) liegt aber bereits darüber (20 bis 30 mA).

Verlässliche Herstellerangaben zu derartigen Betriebsdaten von Batterien sind allerdings kaum zu finden, auch nicht zur Selbstentladung oder über die zulässige Lagerungsdauer ohne auftretende Last. Für Alkaline-Batterien werden typischerweise Lagerfähigkeiten von bis zu 7 Jahren, für Lithium-Batterien von bis zu 15 Jahren angegeben, allerdings ohne weitere Randbedingungen. Deshalb wird die notwendige Batteriekapazität meist (notgedrungen) einfach anhand des Verbrauchs der Applikation ermittelt.