

Bo Hanus

Akkus und Batterien richtig pflegen und laden



Leicht gemacht, Geld und Ärger gespart!

- ▶ Moderne Ladeverfahren in der Praxis
- ▶ Die richtige Akku-Technologie für Ihre Anwendung
- ▶ Gold-Caps als Energiespeicher

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

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

1	Das Speichern der elektrischen Energie	9
2	Handelsübliche Batterietypen	13
3	Elektrische Eigenschaften einer Batterie/eines Akkus	19
3.1	Nennspannung	20
3.2	Kapazität und Belastbarkeit	22
3.3	Die Selbstentladung	29
3.4	Tiefentladung	31
4	Nicht wiederaufladbare (Einweg-)Batterien	35
5	Knopfzellen	37
6	Wiederaufladbare Akkus und Batterien	43
7	Solarbatterien	49
8	Akkupacks und Spezialbatterien	53
9	Gold-Caps als Energiespeicher	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

10	Batterien seriell und parallel betreiben	67
11	Die Lebensdauer einer Batterie/eines Akkus	71
12	Der Tiefentladeschutz	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
13	Das Laden	83
13.2	Teilgesteuerte Ladegeräte _____	94
13.3	Mit Mikroprozessor gesteuerte Ladegeräte _____	96
13.4	Ladegeräte für Bleiakkus _____	98
13.5	Auffrischgeräte, Aktivatoren und Batterieregeneratoren _____	102
13.6	Test der Batteriekapazität _____	104
13.7	Funktioniert Ihre Fahrzeuglichtmaschine gut? _____	109
13.8	Wissenswertes über Autobatterien _____	110
14	Solarelektrisches Laden	111
15	Netzgeräte anstelle von Batterien?	121
	Stichwortverzeichnis	127

1 Das Speichern der elektrischen Energie

Elektrische 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 typenbezogen 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

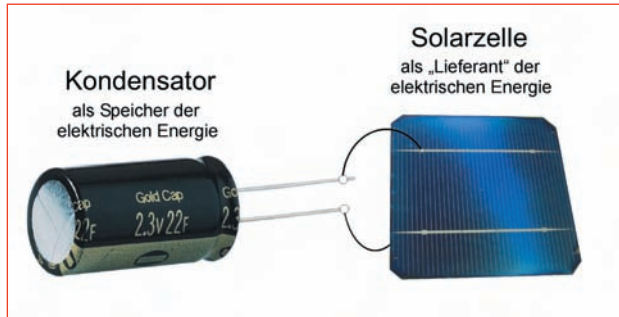


Abb. 1.1 – Von der Kapazität und der maximal zulässigen Betriebsspannung eines Kondensators (Gold-Caps) hängt ab, wie viel elektrische Energie er speichern kann.

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.

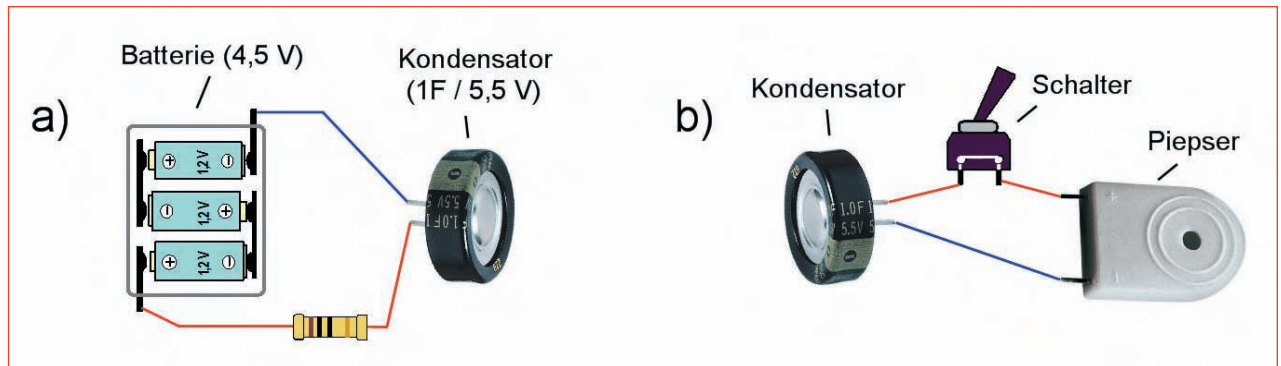


Abb. 1.2 – Ein Speicherkondensator funktioniert im Prinzip ähnlich wie ein Akku: **a)** Er kann von einer Spannungsquelle (Batterie) geladen werden; **b)** anschließend kann er mit der geladenen elektrischen Energie einen elektrischen Verbraucher (in diesem Fall einen Piepser) versorgen.

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 Bleiakkuzelle 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-

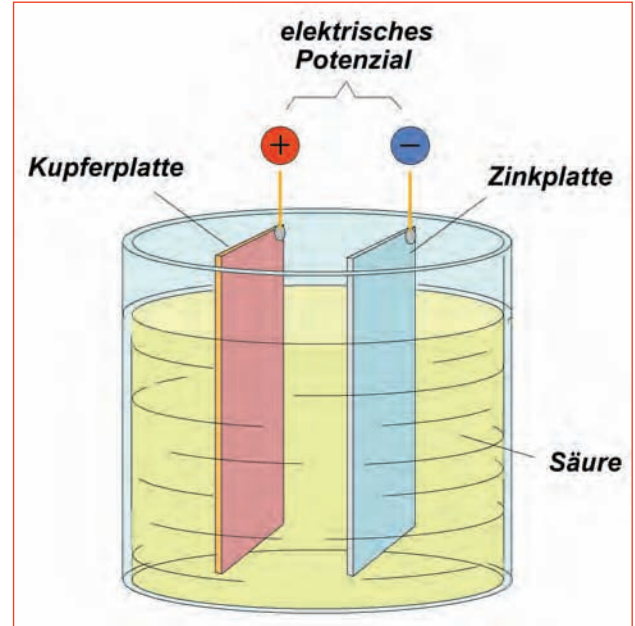


Abb. 1.3 – Aufbauprinzip der Zelle eines Bleiakkus (in Wirklichkeit besteht eine solche Zelle aus mehreren Elektroden, deren Abstand sehr gering ist).

lich gehalten. Bei Bleiakkus 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

Handelsübliche 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



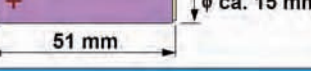


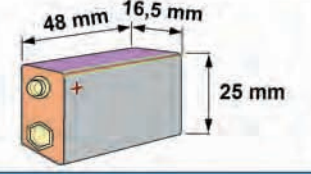
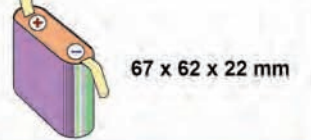
Abmessungen der Batterie	Bezeichnung
	Lady "N"
	Micro "AAA"
	Mignon "AA"
	Baby "C"
	Mono "D"
	9 V Block
	4,5 V Flach

Tabelle 2.1 – Abmessungen und Bezeichnung der gängigsten Batterien.

2 Handelsübliche Batterietypen


Nicht wiederaufladbare "Einweg-Batterien" (Primärzellen) 			
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 ver- wendet werden (Taschenlampen, Fernbedie- nungen) oder für Geräte mit geringem Strom- verbrauch (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 Unterhaltungs- elektronik, Fotoapparate, Funksender, Spielzeuge u.ä.
Nickel-Zink <i>NiOOH</i>	1,5 V	Hohe Kapazität (hoher Vor- rat 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, tempe- raturbeständig	Für Fotoapparate (Digitalkameras) mit inte- griertem Blitz, Außensensoren von Wetter- stationen, Funksender von Überwachungs- kameras im Außenbereich u.ä.

Tabelle 2.2 –
Übersicht der
gängigen Einweg-
batterien, die bei
gleicher Größe
durch unter-
schiedliche che-
mische Zusam-
mensetzung
unterschiedliche
Leistungsmerk-
male 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. Wichtig: Diese Batterien benötigen ein spezielles "AccuCell"-Ladegerät.
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. ϕ 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-

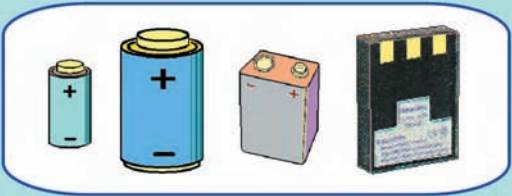
<div><div>Kleine Akkus (Sekundärzellen)</div><div></div></div>			
Bezeichnung und chemische Zusammensetzung	Zellen-spannung	Eigenschaften	Anwendung
Nickel-Cadmium <i>NiCd</i>	1,2 V	Hoch belastbar, jedoch typenabhängig unterschiedlich. Wiederaufladbar mit einem Strom von max. 10% der Akku-Nennkapazität. 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.
Nickel-Metallhydrid <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.
Lithium-Ionen <i>Li-Ion</i> Li-Polymer	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


<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> Blei-Akkus (Blei-Akkumulatoren) </div> <div>  </div> </div>			
Bezeichnung	Spannung	Eigenschaften	Anwendung
Bleiakku-Zelle beliebiger Ausführung	2 V	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.
Blei-Akkus	2 V 4 V 6 V 8 V 12 V 24 V	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.	Es gibt auch Blei-Akkus, deren Spannung nur 2 Volt beträgt und die nur aus einer einzigen Zelle bestehen.

Tabelle 2.6 – Bleiakkus.

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 Bleiakkus 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 Akkuwerkzeug 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 herstellerseitig mehrere Einzelzellen zu einer kompakten Einheit „konfektioniert“ (in Reihe verlötet und z. B. in einen dickeren Schrumpfschlauch eingeschweißt) werden.

3.1 Nennspannung

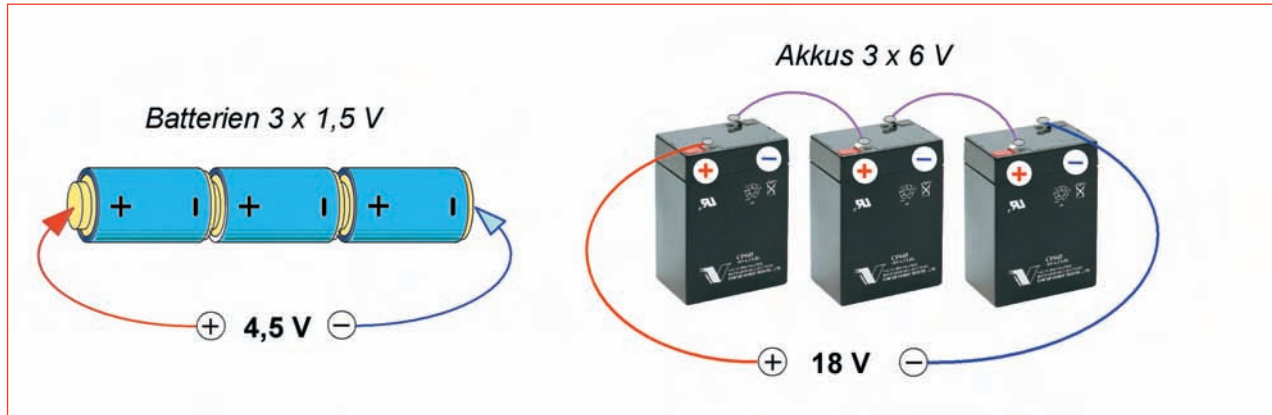


Abb. 3.1 – Werden mehrere Batterie- oder Akkuglieder (Zellen) in Reihe geschaltet, addieren sich die Spannungen einzelner Glieder.



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	(ϕ x H) 11,6 x 2,1
LR 1130	1,5 V	72 mAh	(ϕ x H) 11,6 x 3,1
LR 43	1,5 V	108 mAh	(ϕ x H) 11,6 x 4,2
LR 44	1,5 V	145 mAh	(ϕ x H) 11,6 x 5,4

Lithium-Knopfzellenakkus			
Typ	Spannung	Kapazität	Abmessungen in mm
LIR 2016	3,7 V	12 mAh	(ϕ x H) 20 x 1,6
CR 2032	3,0 V	35 mAh	(ϕ x H) 20 x 3,2
LIR 2450	3,7 V	120 mAh	(ϕ x H) 24 x 5
LIR 2477	3,7 V	180 mAh	(ϕ 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. x 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 (Milliampere-stunden) 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) verschiede-

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 mAh = 8,75** (Betriebsstunden)

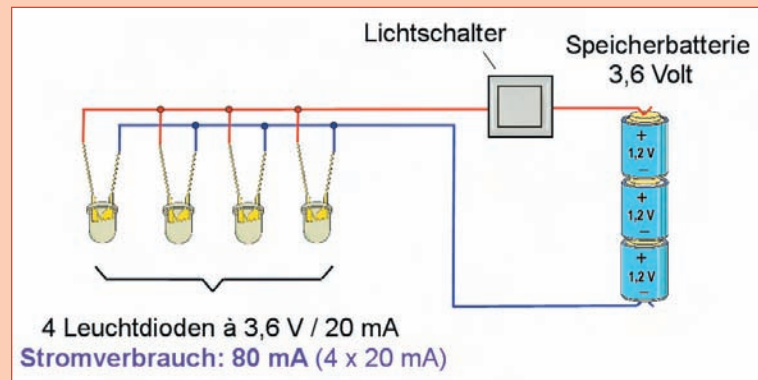


Abb. 3.4 – Stromversorgung von Leuchtdioden

Bei Verwendung eines 2.700-mAh-Akkus heiße das:
2.700:80 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.

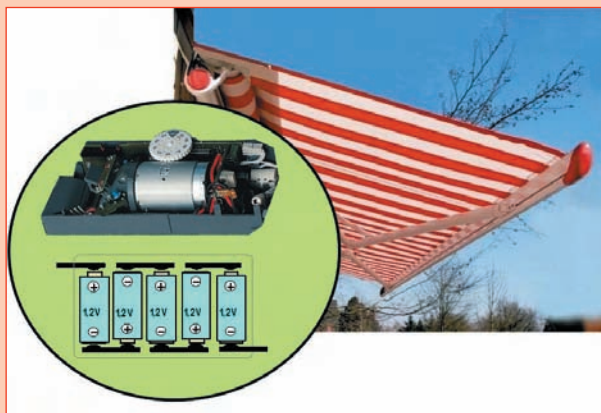


Abb. 3.5 – Stromversorgung eines Markisenelektroantriebs mit einem 6-Volt-Antriebsmotor.

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,

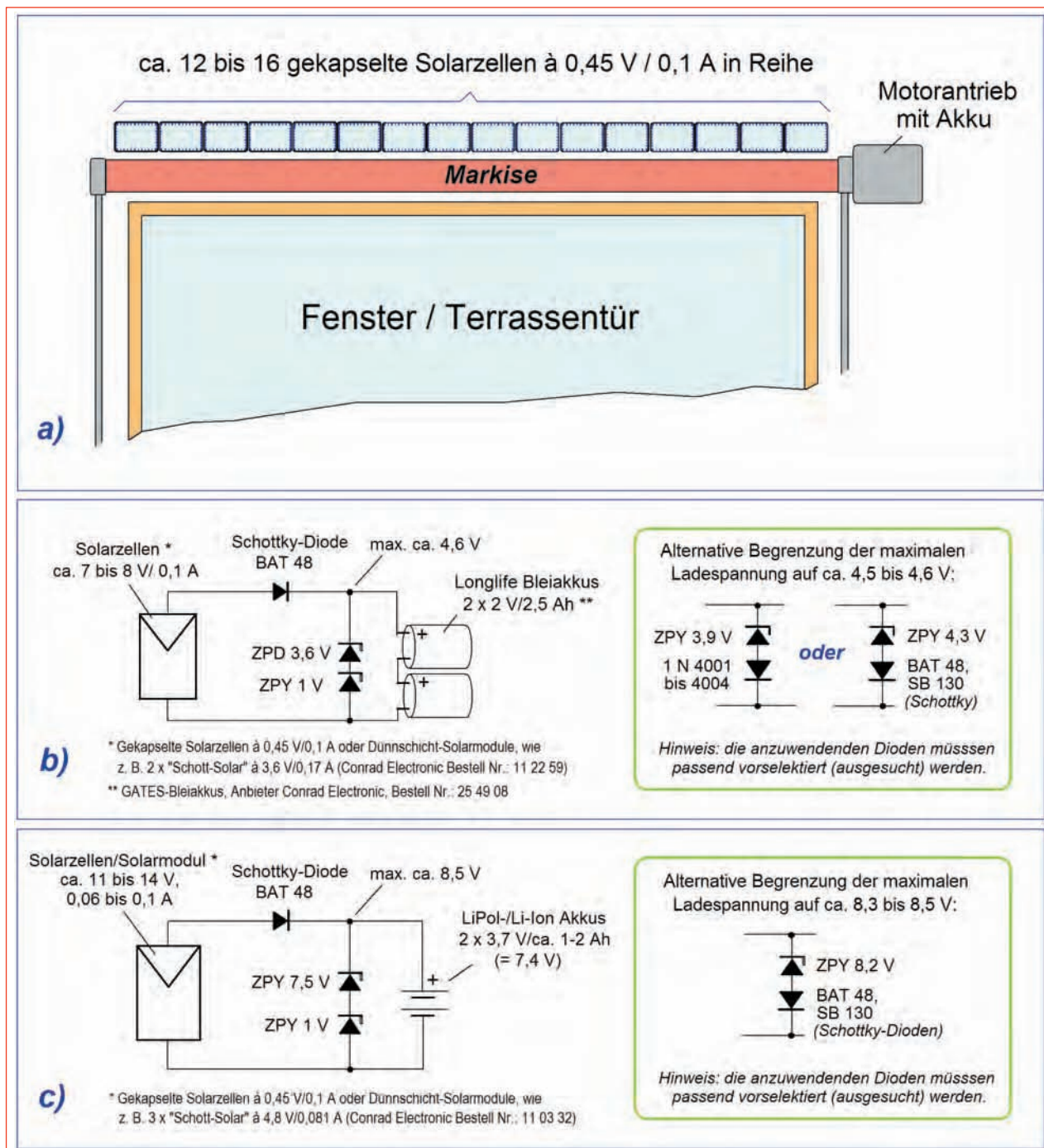


Abb. 3.6 – Solarelektrisches Laden eines Markisentorantriebes: **a)** Anordnungsbeispiel der Solarzellen; **b)** Solarelektrisches Laden von zwei Mini-Bleiakkus; **c)** Solarelektrisches Laden von zwei LiPol- oder Lilon-Akkus

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,




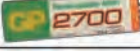
Ausführung	Typ	Spannung	Kapazität	Abmessungen in mm
	Mignon (AA)	1,2 V	1300 mAh	(ϕ x L) 14 x 50,2
	Mignon (AA)	1,2 V	1800 mAh	(ϕ x L) 14 x 50,2
	Mignon (AA)	1,2 V	2100 mAh	(ϕ x L) 14 x 50,2
	Mignon (AA)	1,2 V	2700 mAh	(ϕ x L) 14 x 50,2

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 herstellerseitig 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 Ruhestand 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

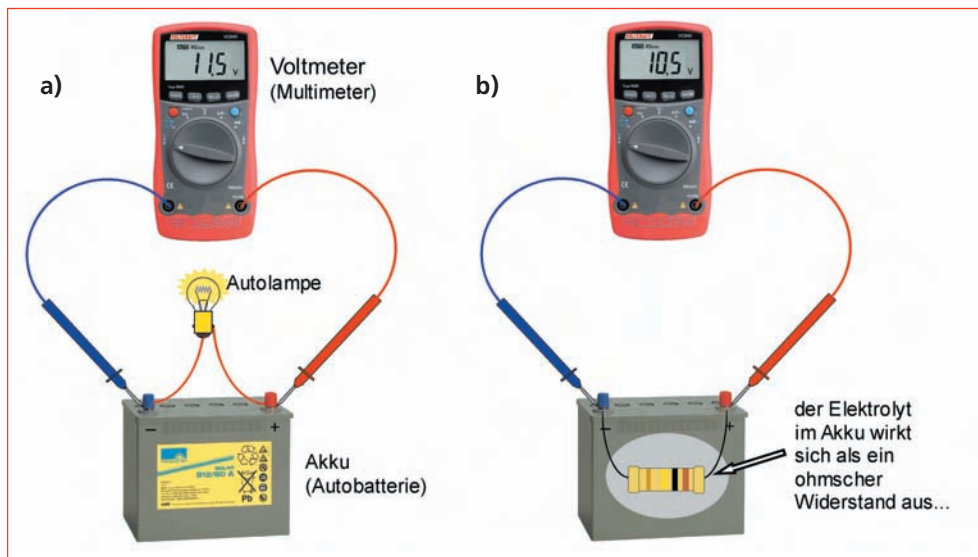


Abb. 3.8 – Werden die Pole eines Akkus über einen Verbraucher leitend verbunden, entlädt er sich: **a)** Von der Leistung (dem ohmschen Widerstand) der angeschlossenen Lampe hängt ab, wie schnell sich der Akku entlädt. **b)** Der Elektrolyt ist zwischen den zwei Elektroden des Akkus ein ohmscher Widerstand, 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.

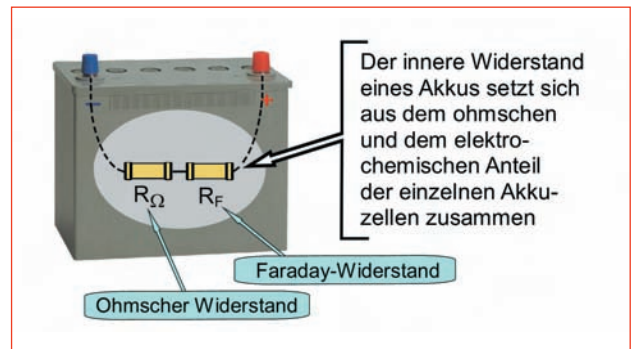


Abb. 3.9 – Der innere Widerstand eines Akkus (oder einer Akkuzelle) setzt sich aus einem ohmschen und einem elektrochemischen Widerstand (Faraday-Widerstand) zusammen.

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

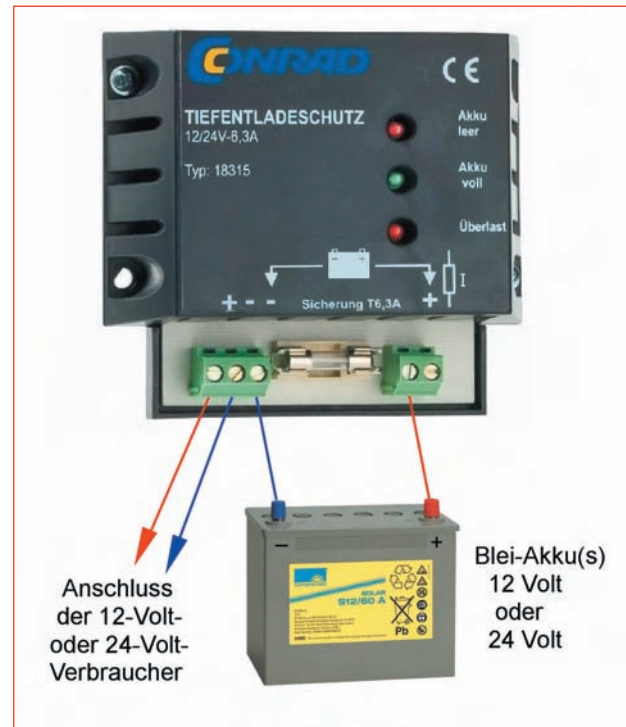


Abb. 3.10 – Ein Tiefentladeschutz-Gerät schützt einen Bleiakku vor zu tiefer Entladung (Foto: Conrad Electronic).

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 Abnahmeleistung – und somit seine Stromabnahme – zu berücksichtigen. Finden Sie in den technischen Unterlagen

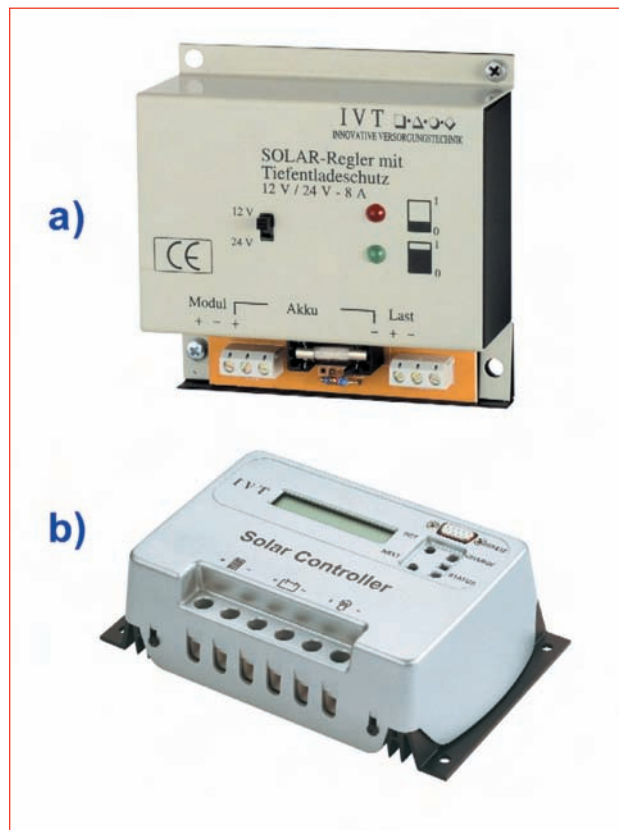
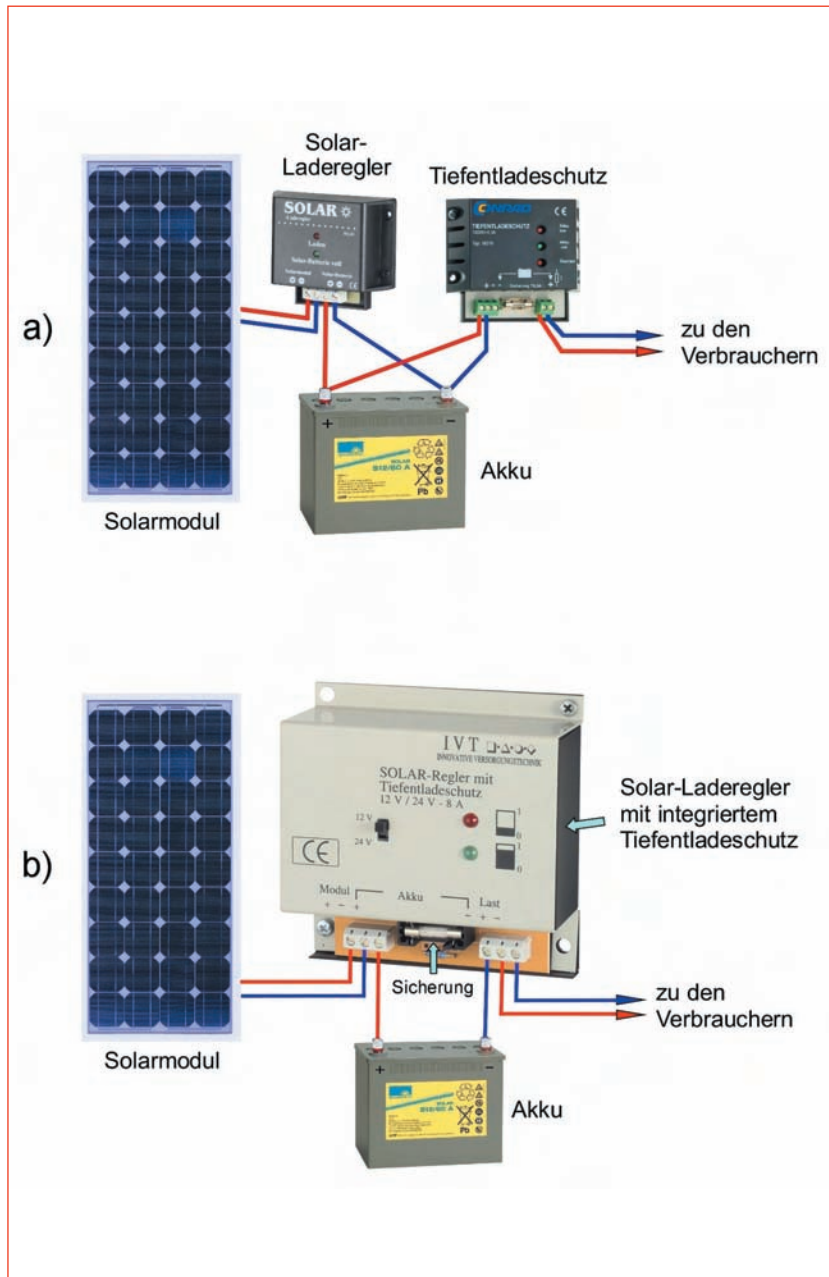


Abb. 3.11 – Für Photovoltaikanlagen werden bevorzugt Laderegler verwendet, in denen schon ein Tiefentladeschutz eingebaut ist (Foto/Anbieter: Conrad Electronic).

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 Billigladegerät, 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 dazugehörigen 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

Nicht 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.

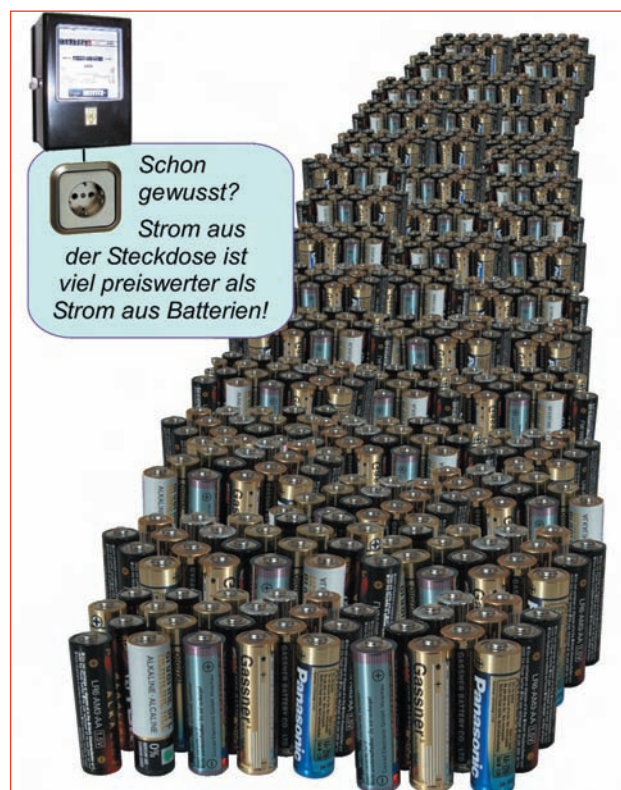


Abb. 4.1 – Schon gewusst? Um beispielsweise aus Mignon-(AA-)Batterien eine elektrische Leistung einer einzigen Kilowattstunde beziehen zu können, würden bis zu etwa 600 Stück solcher Batterien benötigt (Eine Kilowattstunde, die man aus dem öffentlichen elektrischen Netz bezieht, kostet momentan etwa 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

Tabelle 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

Tabelle 5.3 – Lithium-Knopfzellen (Auszug aus dem Katalog von Conrad Electronic).

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 kΩ. 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 ($0,000015 \text{ A} \times 0,03 \text{ Std.} = 0,00004 \text{ mAh}$). Das ist sogar bei einer der kleinsten Uhren-Knopfzellen von 12 mAh ein unbedeutender Verlust an Kapazität.

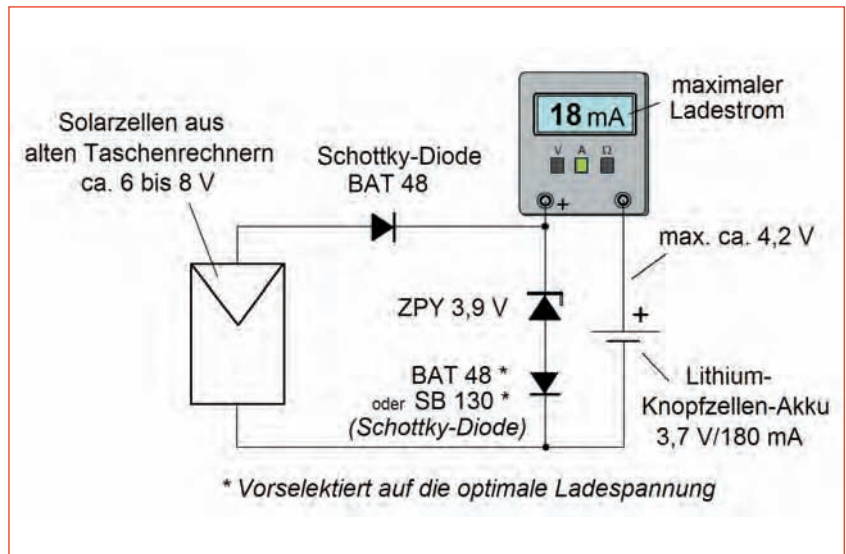


Abb. 5.2 – Solarelektrisches Laden eines Lithium-Knopfzellenakkus

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 Kleinakku, 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-

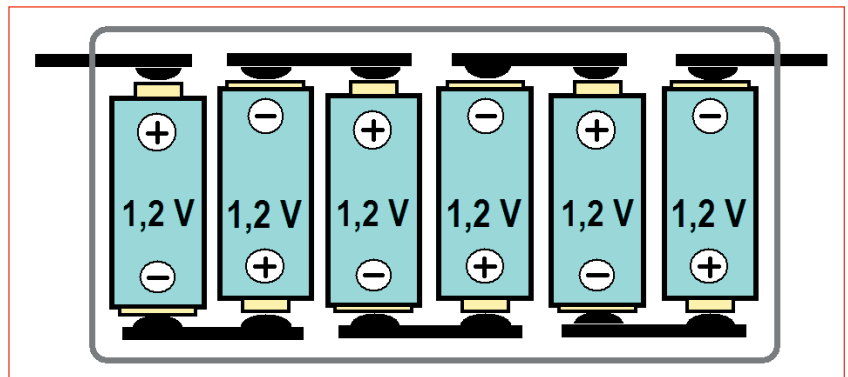


Abb. 6.1 – Akkus, die in einer Reihe zu einer *Batterie* zusammengesetzt werden, sollten bevorzugt für die gleiche Nennkapazität ausgelegt sein.

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-Einzelzellen* 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-Einzellzellen 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 Neuau-



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 Ausgangsspannung 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_2SO_4) 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).


<div> Wartungsfreie Vliestechnik-Bleiakkus Lagenunabhängig einsetzbar, Anwendung in Modellbau, Alarmanlagen, Notstromversorgung, Solaranlagen, Solarantrieben, Notleuchten etc. </div> 				
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 per-
fekt wie nur möglich zu konzipieren. Erstrebt werden
dabei eine niedrige Selbstentladung, eine höhere Stra-
pazierfähigkeit 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 (Autoakkus) 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 Bleiakkus 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

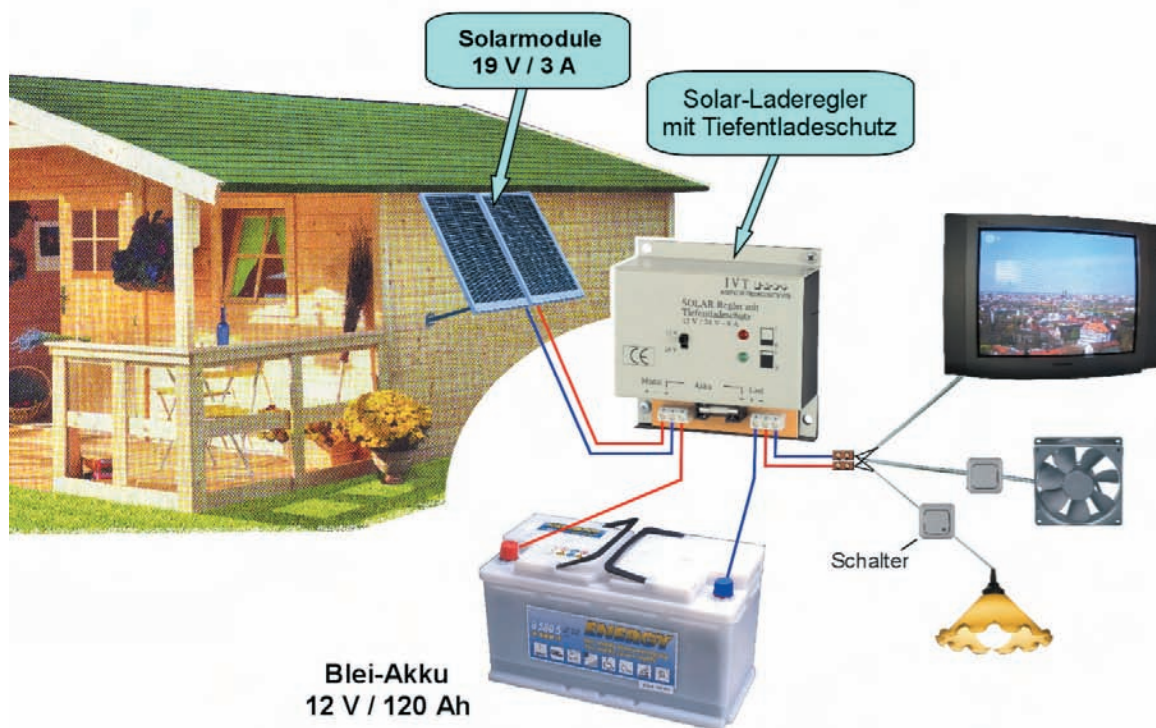
verwendet werden, wenn der damit verbundene Aufpreis in Kauf genommen wird oder es sich um die Stromversorgung von Kleingeräten handelt. Der Gleichstrommotor eines Gleichstrom-Elektroantriebs einer Markise z. B. gibt sich mit einem Akku zufrieden, dessen Kapazität ungefähr mit der eines Akkuschraubers 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



Wöchentlicher Verbrauch der Akku-Kapazität: 25 Ah

Nachladebedarf des Akkus pro zwei Wochen:

Beispiel A - **Solar-Akku** mit einer
Selbstentladung von 3 % pro Monat
(= ca. 1,5 % pro 2 Wochen):
Nachladen des Verbrauchs: 50 Ah
Zusätzl. für Ladeverluste: 10 Ah
Selbstentladungsausgleich: **1,8 Ah**
Insgesamt: **61,8 Ah**

Beispiel B - **Autobatterie** mit einer
Selbstentladung von 6 % pro Monat
(= ca. 3 % pro 2 Wochen):
Nachladen des Verbrauchs: 50 Ah
Zusätzl. für Ladeverluste: 10 Ah
Selbstentladungsausgleich: **3,6 Ah**
Insgesamt: **63,6 Ah**

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.


<div> Lithium-Polymer-Akkus als Akku-Packs  </div>				
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

Tabelle 8.1 – Einblick in die technischen Parameter einiger Lithium-Polymer-Akkus

9 Gold-Caps als Energiespeicher

Gold-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 (Minipaneels) verwendet werden.


<div> Gold-Cap  </div>			
Kapazität	Nennspannung	Abmessungen	Rastermaß
0,1 F	5,5 V	φ 11,5 x 5,5 mm	10 mm
0,1 F	5,5 V	φ 21,5 x 10 mm	5 mm
0,47 F	5,5 V	φ 21,5 x 10 mm	5 mm
1 F	2,5 V	φ 8 x 22 mm	3,5 mm
1 F	5,5 V	φ 21,5 x 10 mm	5 mm
3,3 F	2,5 V	φ 12,5 x 23 mm	5 mm
10 F	2,5 V	φ 18 x 35 mm	7,5 mm
22 F	2,3 V	φ 18 x 35 mm	7,5 mm

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

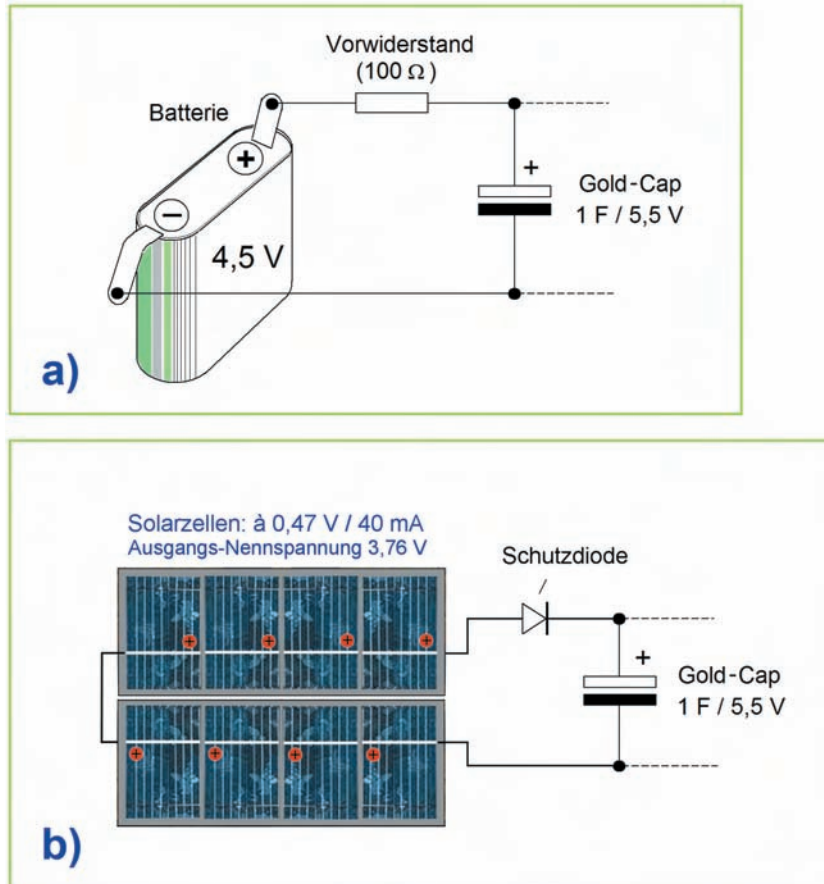


Abb. 9.1 – Prinzip des Ladens eines Gold-Caps: **a)** von einer Batterie oder einer anderen konstanten Gleichspannungsquelle; **b)** von Solarzellen.

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

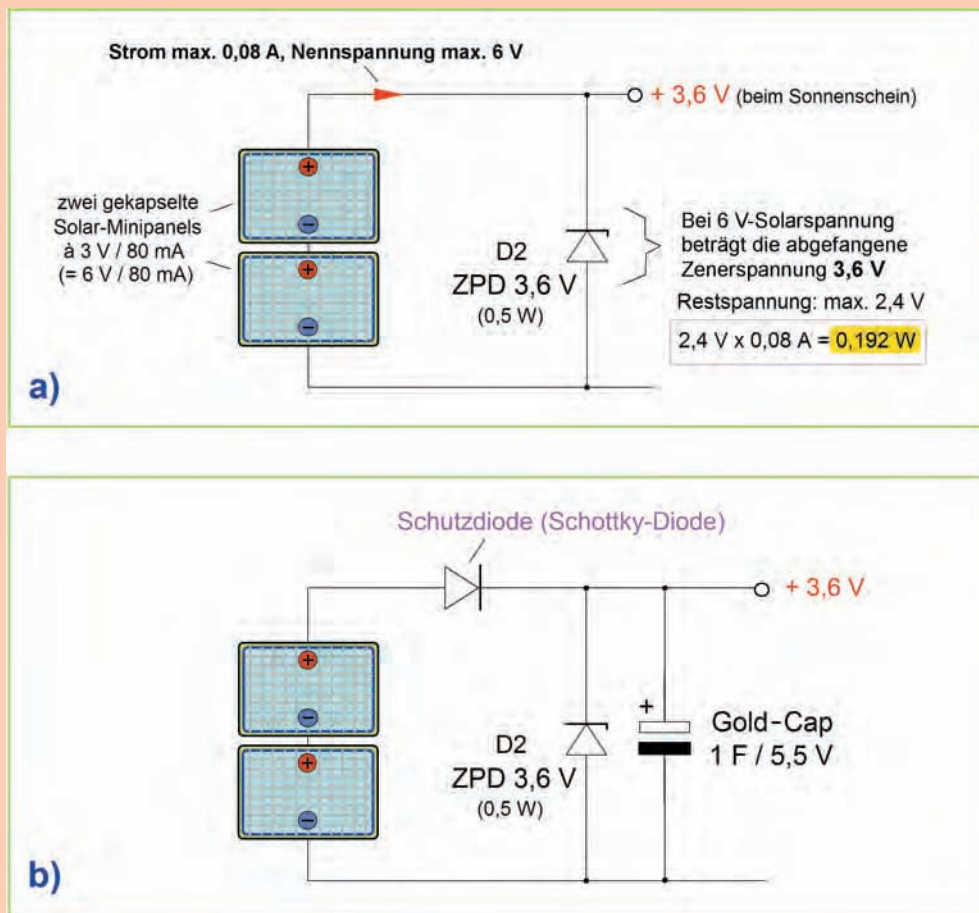


Abb. 9.2 – Die verwendete Zenerdiode muss in der Lage sein, die überschüssige Leistung (Spannung \times Strom) in Wärme umzuwandeln, ohne dabei zu verbrennen: **a)** Die theoretische Spannungsverteilung und die daraus resultierende Leistung, die die Zenerdiode verkraften muss. **b)** Eine Schutzdiode 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.

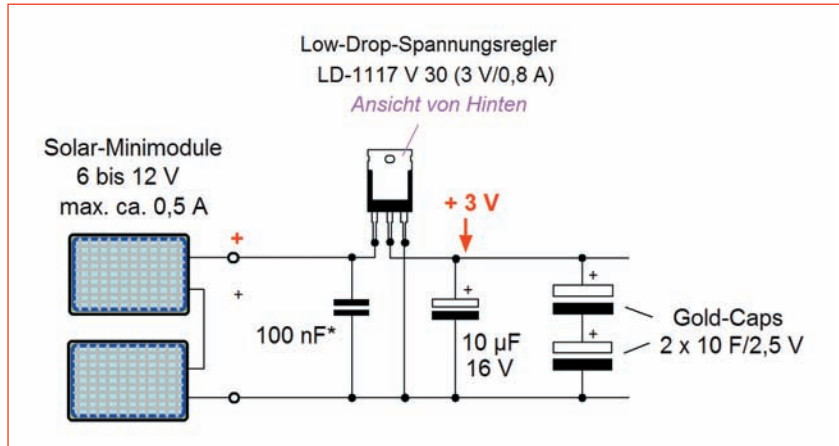


Abb. 9.3 – Spannungsversorgung mit Spannungsregler

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

Funk-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

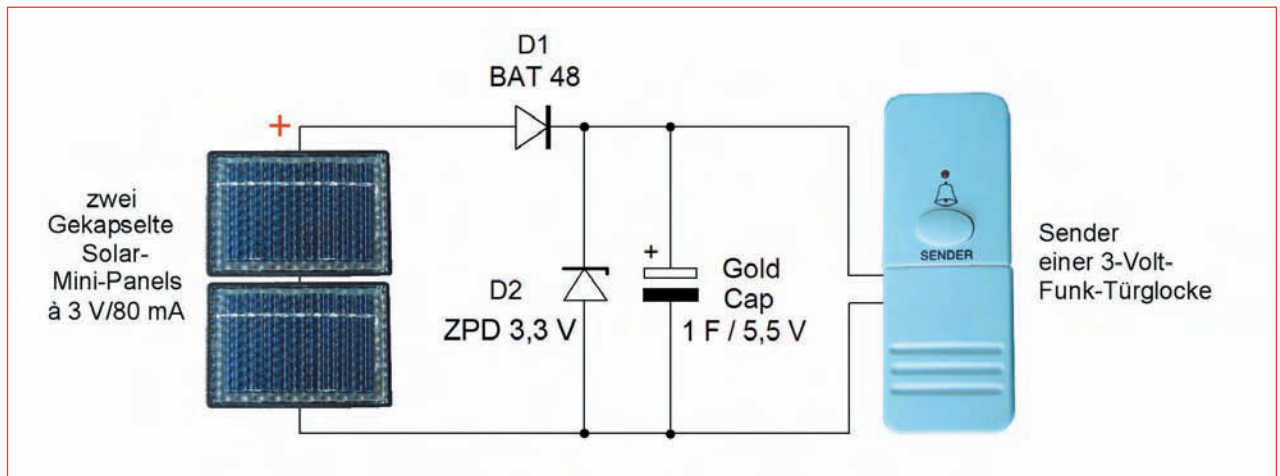


Abb. 9.4 – Schaltung eines solarbetriebenen Funk-Türglockensenders.

9.1 Funk-Türglocke mit Gold-Cap

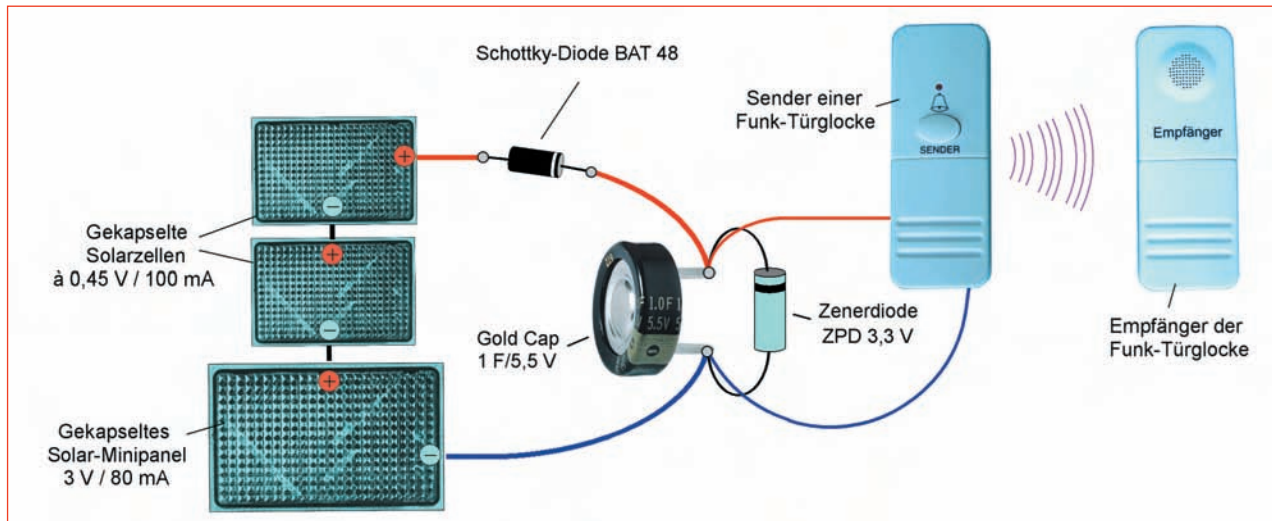


Abb. 9.5 – Schaltung eines solarbetriebenen Funk-Türglockensenders mit drei Solar-Minipanels. Um auch dem weniger erfahrenen Tüftler den Nachbau zu erleichtern, wurden hier alle Bausteine zeichnerisch dargestellt.

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

Batteriebetriebene 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.

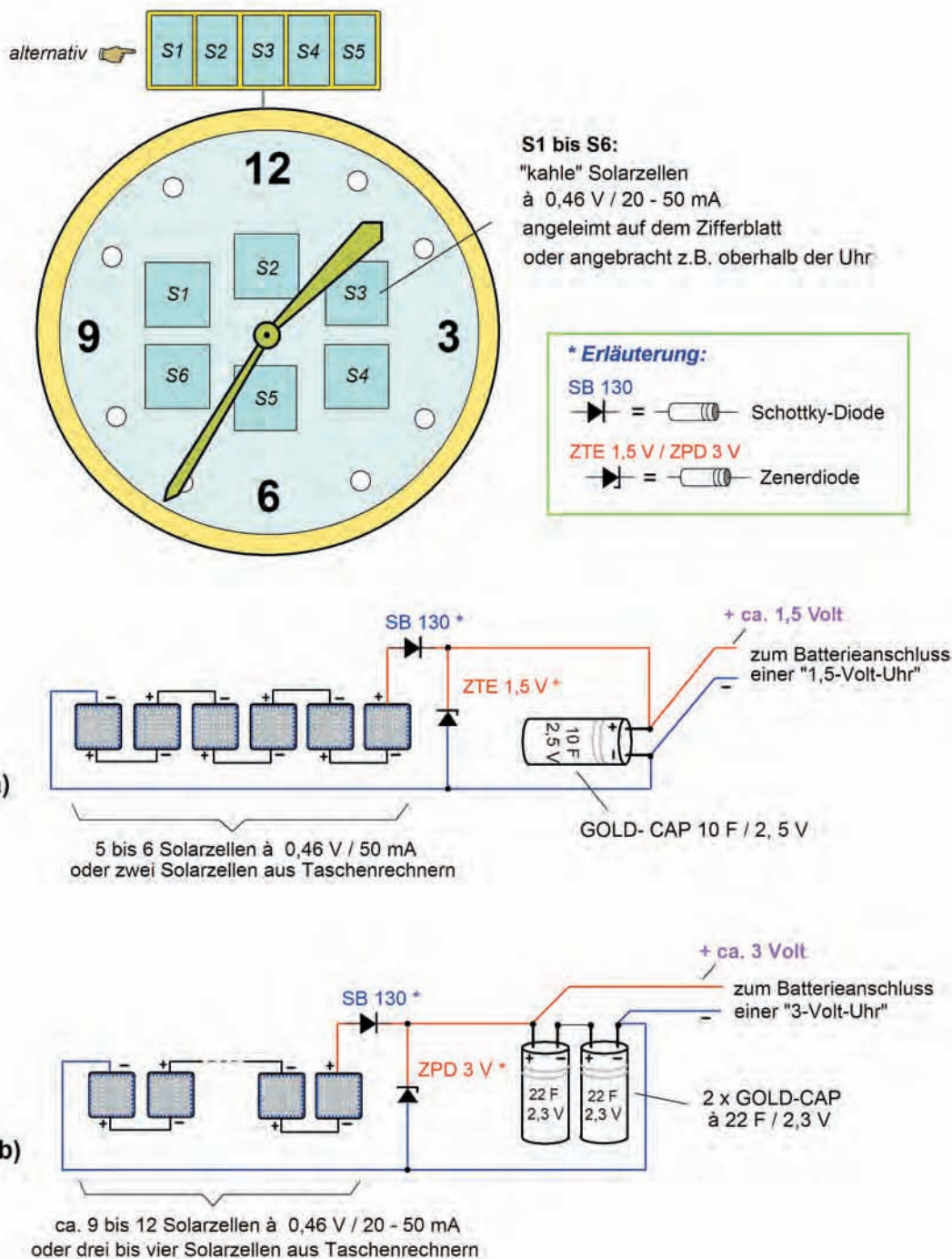


Abb. 9.8 – Solarbetriebene Funkuhr: Die Zahl der verwendeten Solarzellen richtet sich nach der Versorgungsspannung, die bei den meisten Uhren 1,5 oder 3 V beträgt.

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 Herstellungsstreuung können die zwei verwendeten Gold-Caps etwas unterschiedliche Kapazitäten haben, wodurch auch die Spannungsverteilung in Mitleidschaft 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.

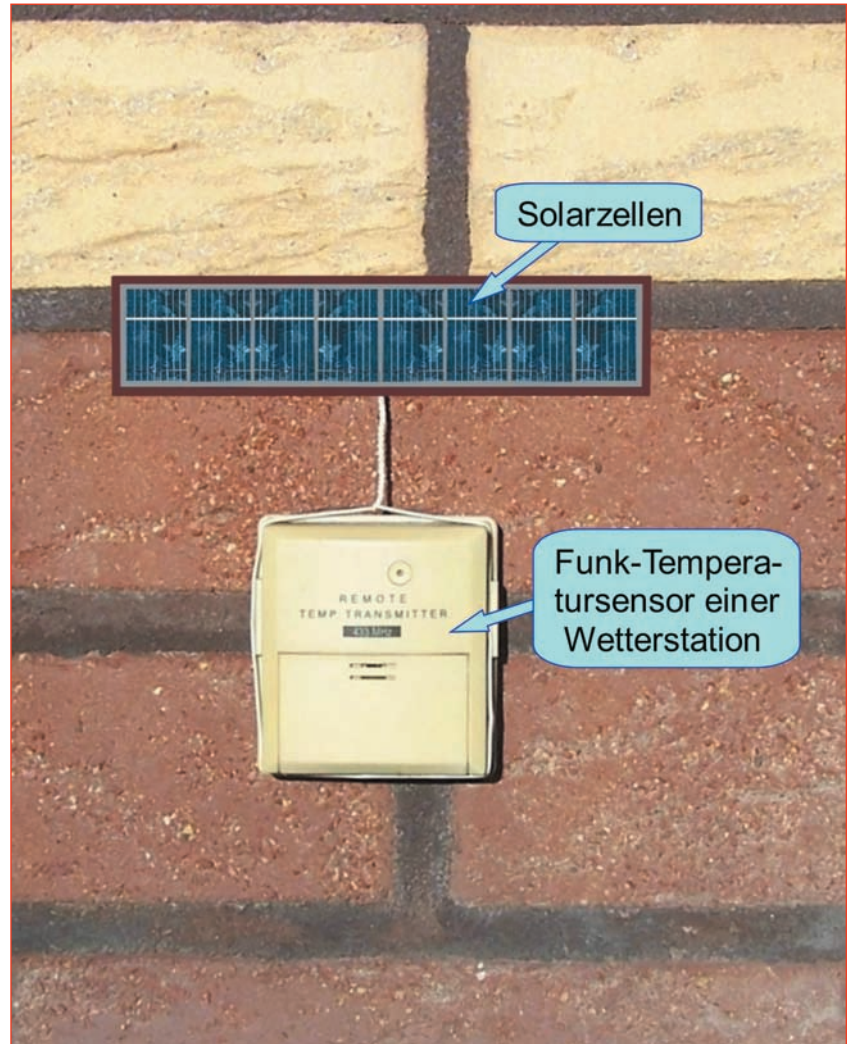


Abb. 9.9 – Solarbetriebener Funk-Tempertursensor mit Gold-Caps statt Batterien.

9.3 Funksender einer Wetterstation mit Gold-Cap

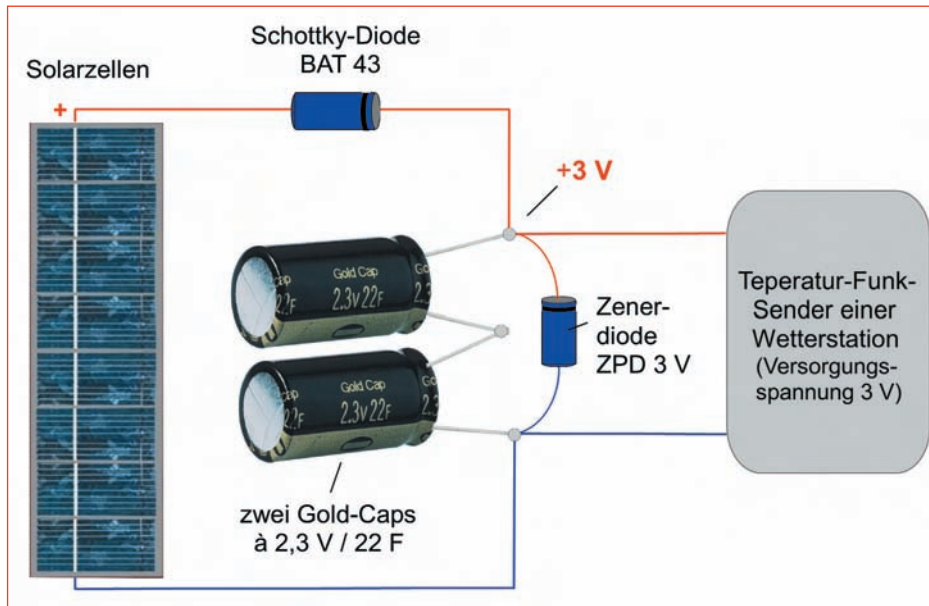


Abb. 9.10 – Schaltung des solarbetriebenen Funk-Temperatursensors aus der vorhergehenden Abbildung.

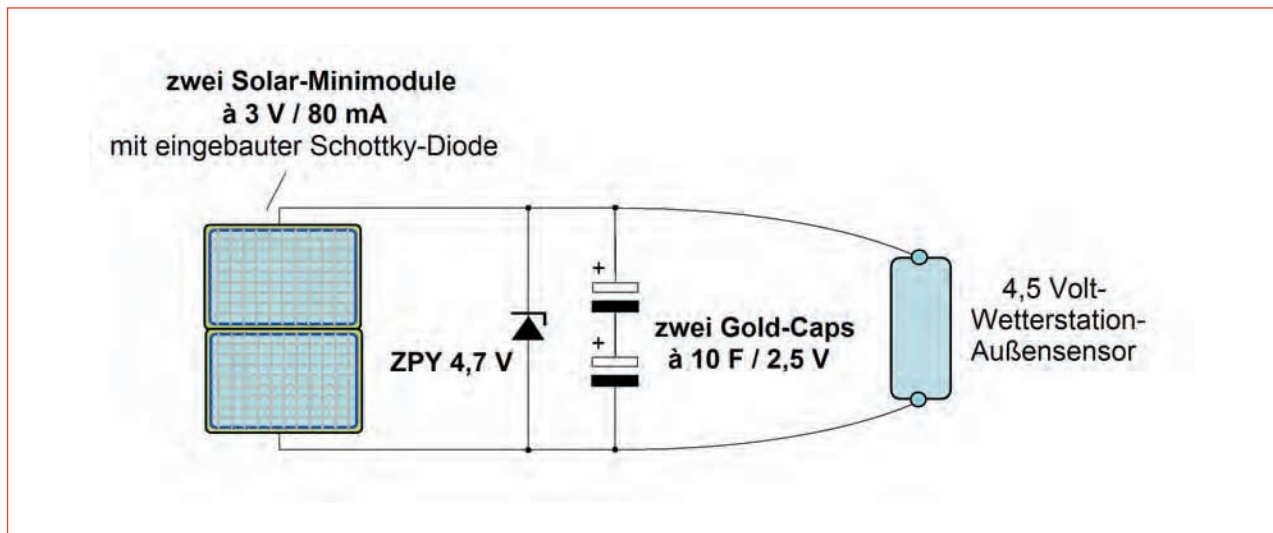


Abb. 9.11– Solarelektrische Spannungsversorgung eines 4,5-Volt-Wetterstation-Außensensors (eine geringfügig erhöhte Versorgungsspannung ist nicht hinderlich, da neue (voll aufgeladene) Batterien oft eine etwas höhere Spannung als die 1,5 V pro Zelle haben)

9.4 Einbruchschutz-Warngerät mit Gold-Cap

Als 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 Einbruchsversuche. 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.

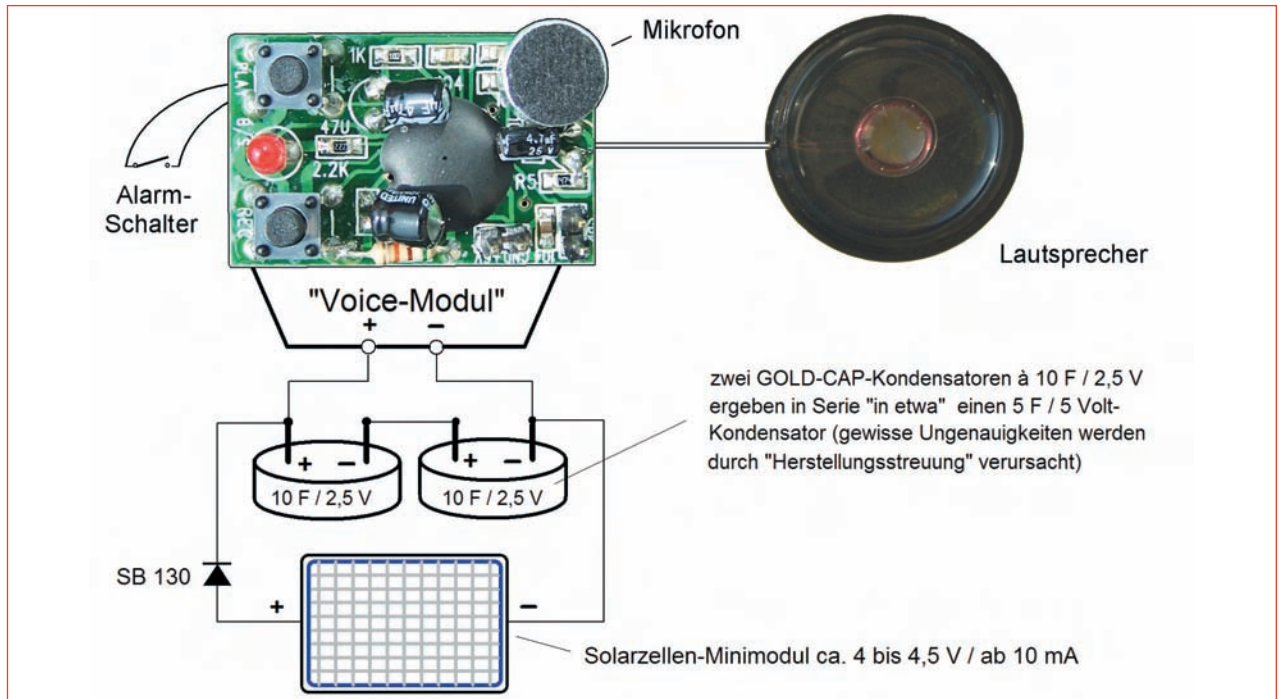


Abb. 9.12 – Beispiel der Energieversorgung eines Voice-Moduls mithilfe eines Gold-Caps (Anbieter der Voice-Module: Conrad Electronic).

10 Batterien seriell und parallel betreiben

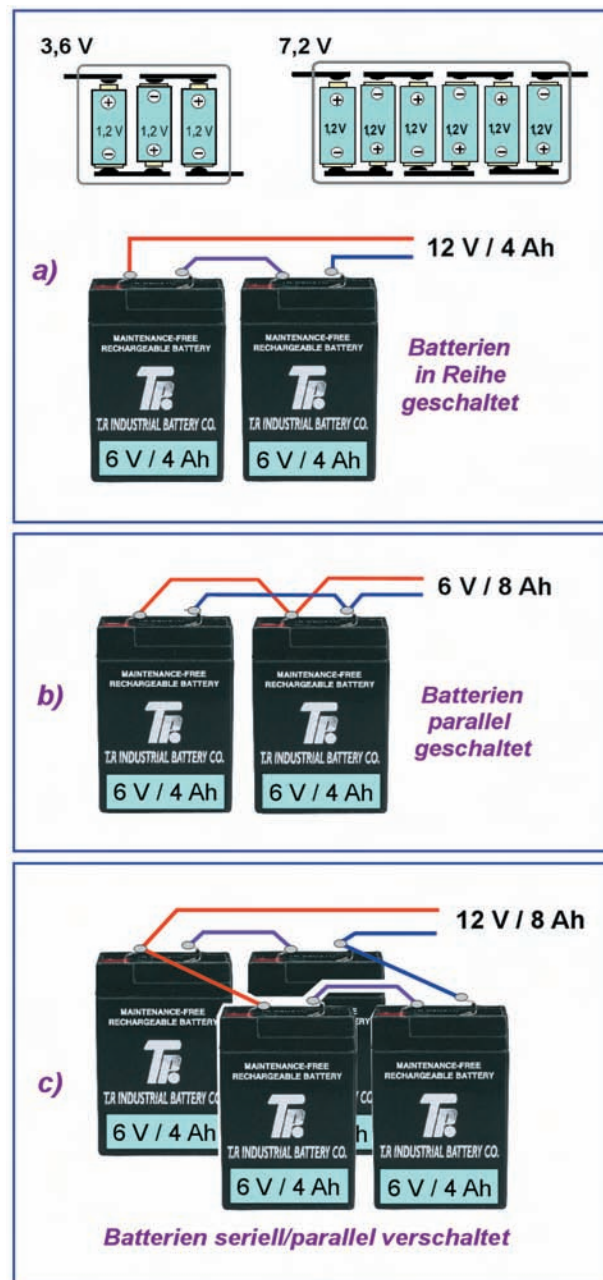
Das Grundprinzip des seriellen oder parallelen Betriebs von Batterien ist bekannt und leicht nachvollziehbar. Am häufigsten wird bei batteriebetriebenen Gebrauchsgegenständen der serielle Batteriebetrieb verwendet. Die Spannung einer einzelnen Zelle, die bei Einweg-Rundbatterien 1,5 Volt und bei wiederaufladbaren 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 Beendung 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.

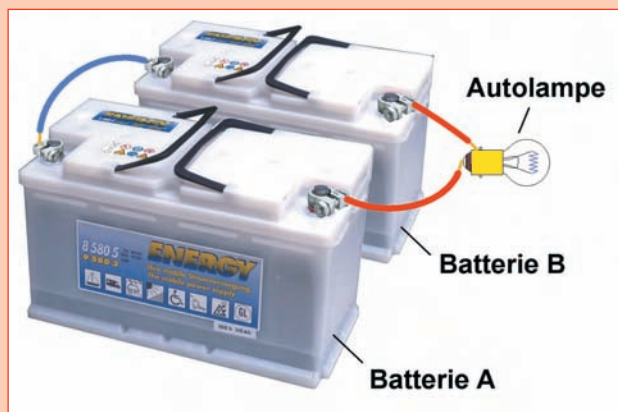


Abb. 10.2 – Auf diese Weise können zwei Batterien über eine Autoglühlampe (oder über einen anderen 12-Volt-Verbraucher) für einen halben Tag miteinander verbunden werden, damit sich ihre Spannungen sanft angleichen können

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

Bleiakkus 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

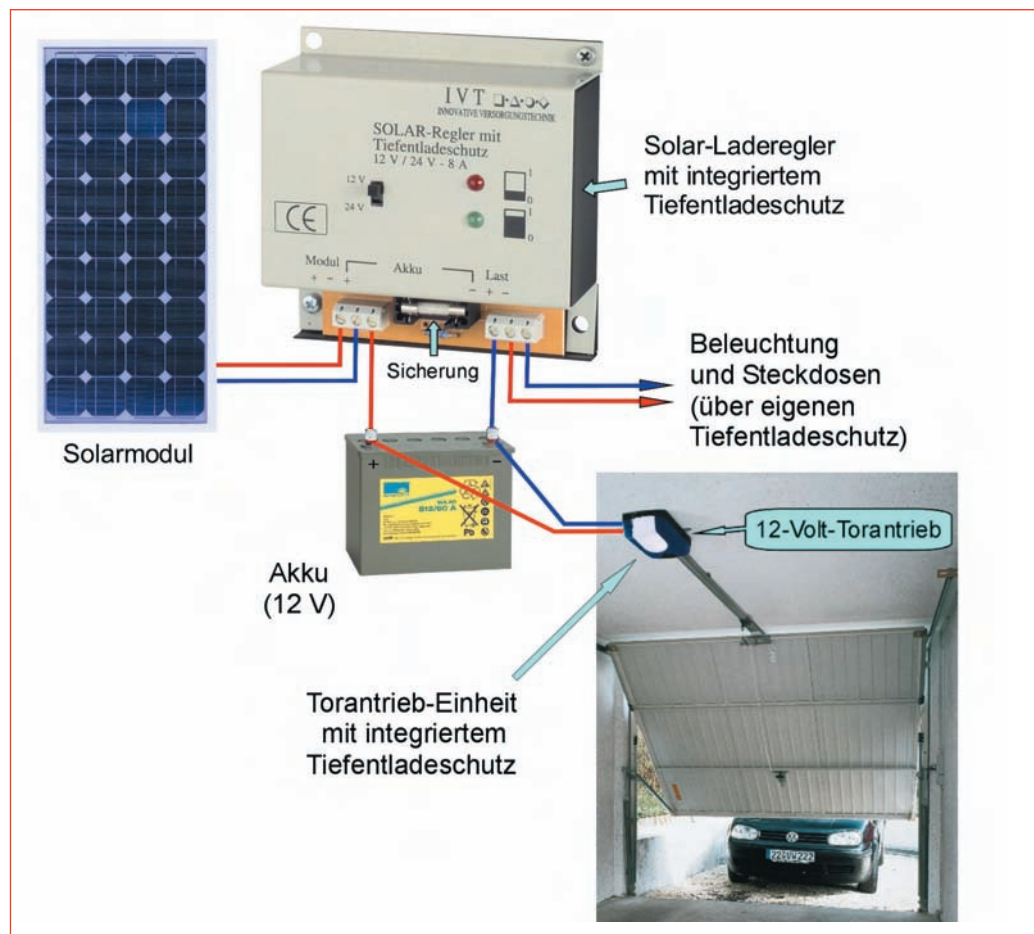


Abb. 12.1 – Beispiel einer mit Solarstrom versorgten Garage, deren elektrische Verbraucher an den Solarakku über zwei unabhängige Tiefentladeschutz-Geräte angeschlossen sind.

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 Solarnergie 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

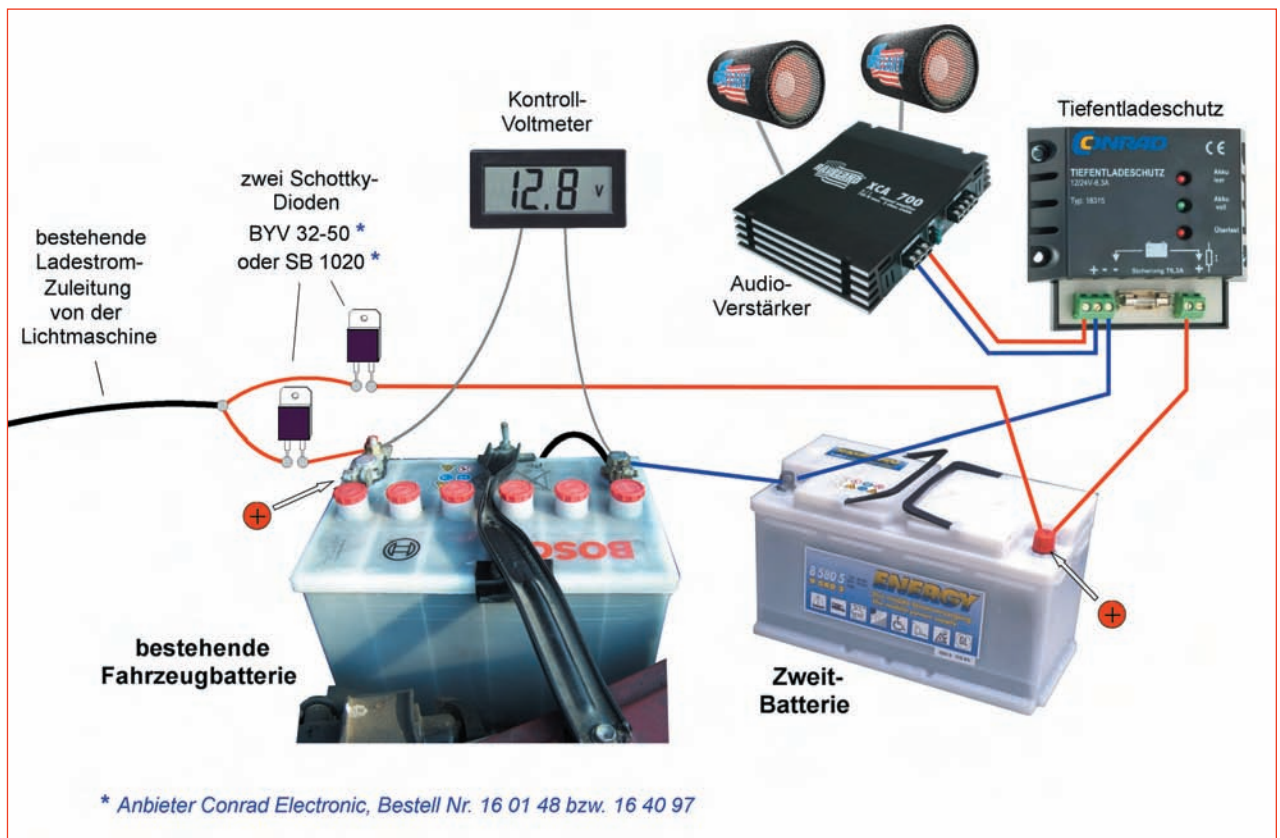


Abb. 12.3 – Zweitbatterie im Auto.

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:

- a) Zwei Schutzdioden (Schottky-Dioden) müssen die eigentliche Fahrzeugbatterie nach Abb. 12.3 vor dem Entladen durch die weiteren Verbraucher schützen.
- b) 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

Bleiakkus, 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.

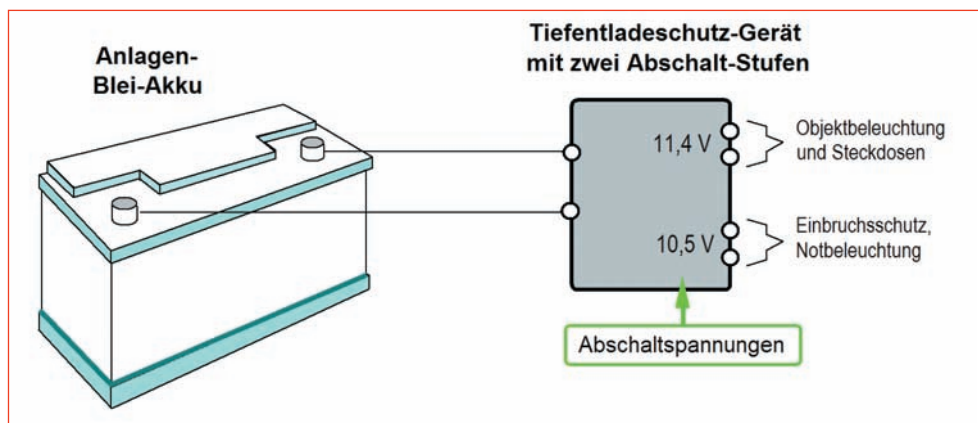


Abb. 12.5 – Einige Tiefentladeschutz-Geräte verfügen über zwei separat einstellbare Tiefentlade-Abschaltspannungen.

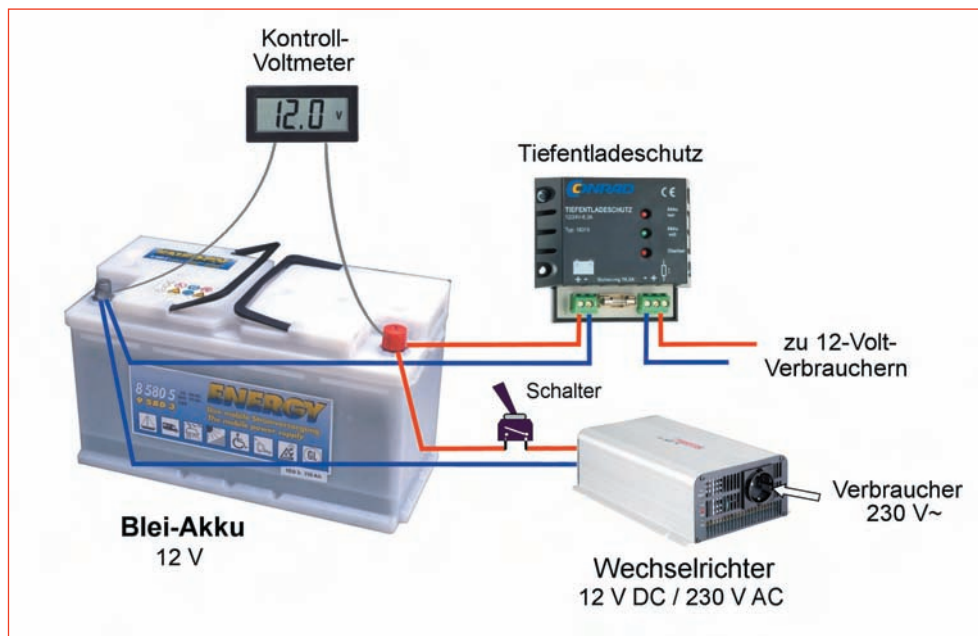


Abb. 12.6 – Ein Wechselrichter, dessen Stromabnahme den maximal zulässigen (und oft auch durch eine Sicherung geschützten) Strom des Tiefentladeschutz-Geräts überschreitet, muss direkt an den Anlagenakku angeschlossen werden: Eine laufende Spannungs-kontrolle ist erforderlich.

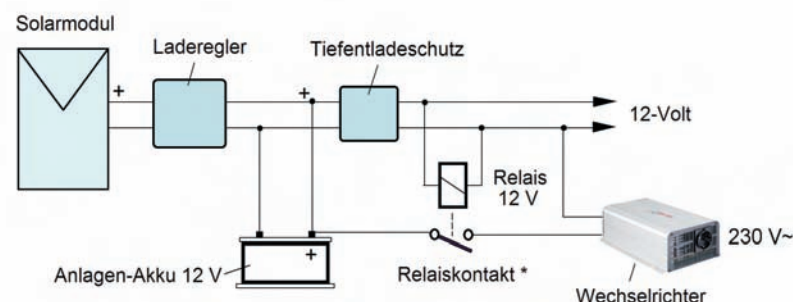
12.2 Tiefentladeschutz-Geräte für stationäre Anlagen

Einige Tiefentladeschutz-Geräte verfügen (Abb. 12.5) über zwei unterschiedlich eingestellte (bzw. einstellbare) *Tiefentlade-Abschaltsschwellen*. 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.



* Der Relaiskontakt muss in Hinsicht auf die Stromabnahme des Wechselrichters ausreichend dimensioniert werden (geht aus den technischen Daten jedes Relais hervor). Die Relaispule sollte möglichst wenig Strom beziehen und daher für einen ausreichend hohen ohmschen Widerstand (ab ca. 240 Ohm) ausgelegt sein.

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.

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 μA , 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.

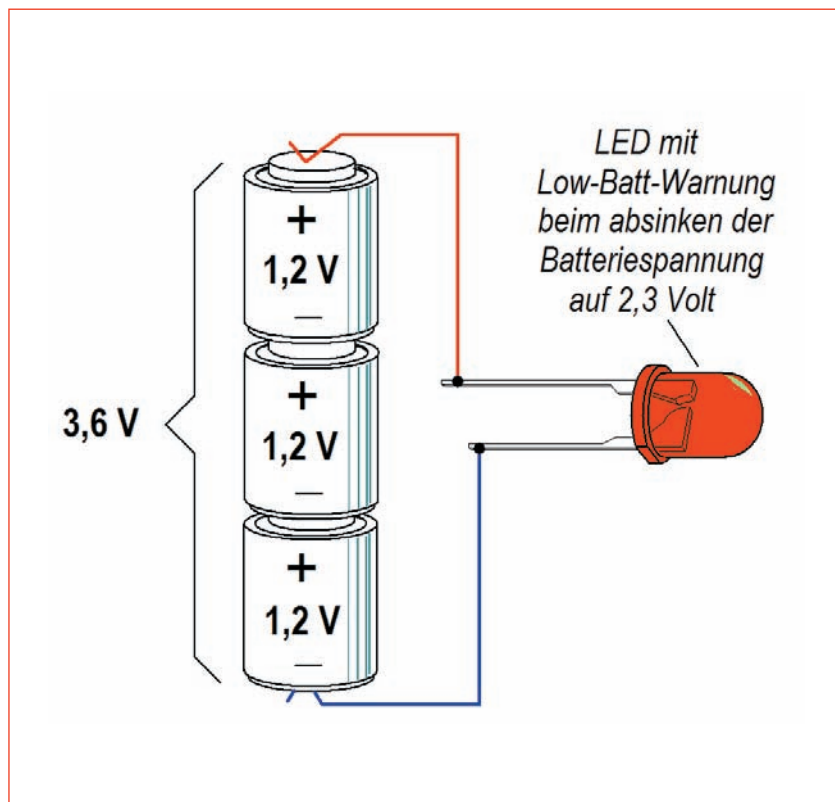


Abb. 12.8 – Leuchtdiode mit Unterspannungswarnung (Anbieter Conrad Electronic).

12.3 Leuchtdioden mit Low-Batt-Warnung

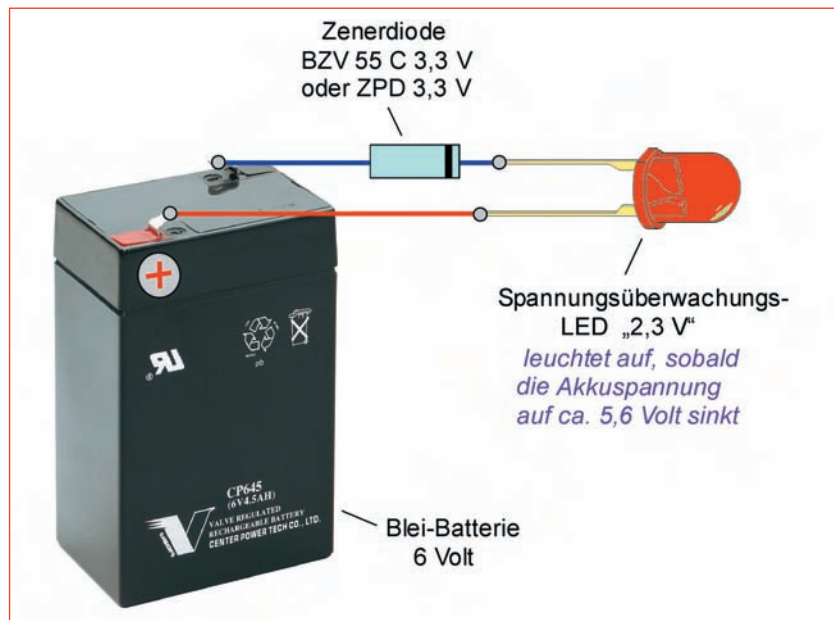


Abb. 12.9 – LED-Spannungsüberwachung an einem 6-Volt-Akku.

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.

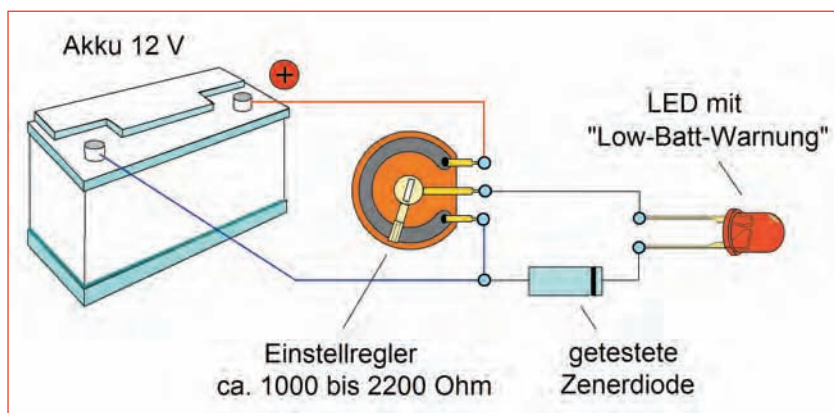


Abb. 12.10 – Testschaltung für die Funktionskontrolle der LED-Spannungsüberwachung.

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 schleichende 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.

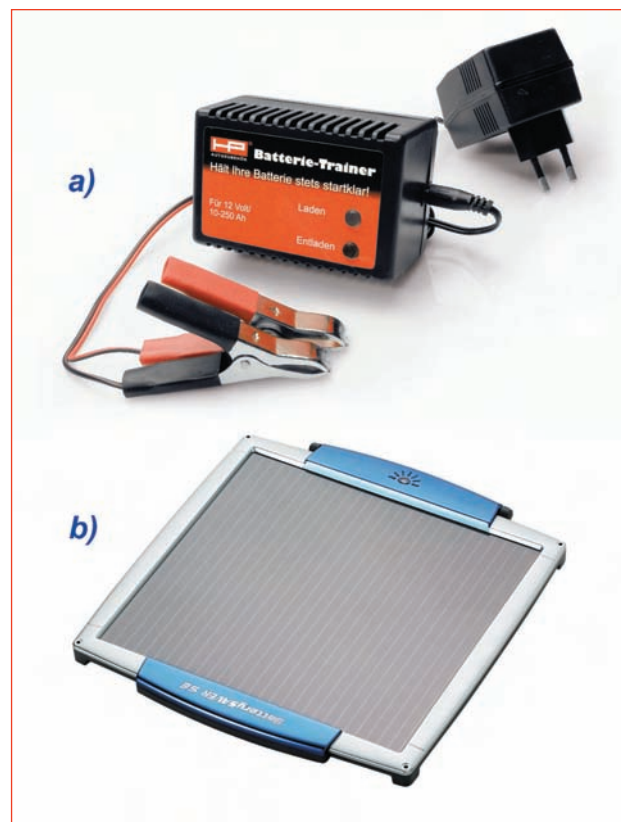


Abb. 12.11 – Als Schutz gegen die Tiefentladung von Bleiakkus, die über einen längeren Zeitraum nicht benutzt werden, eignen sich am besten kleine netzbetriebene „Nachladegeräte“ oder passende solarelektrische Lademodule:

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.

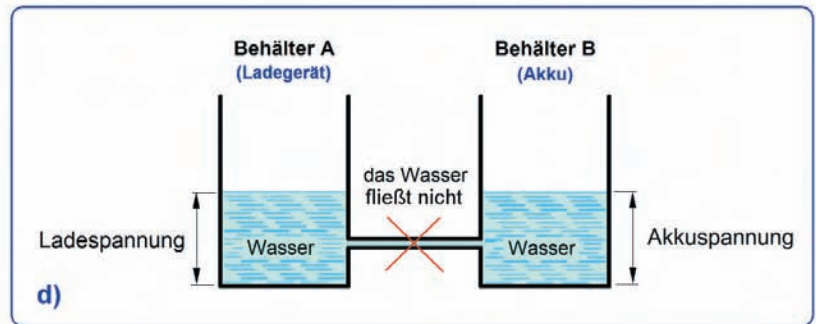
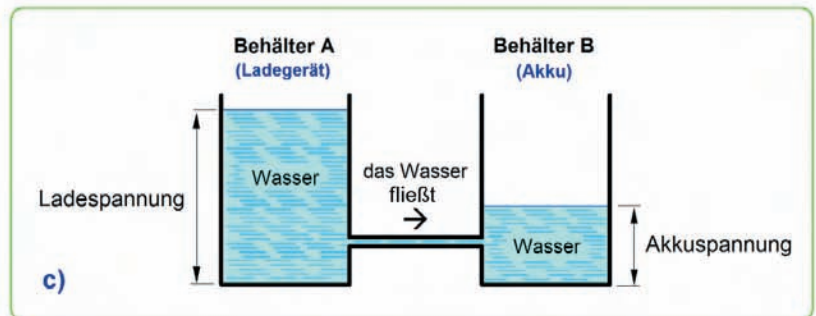
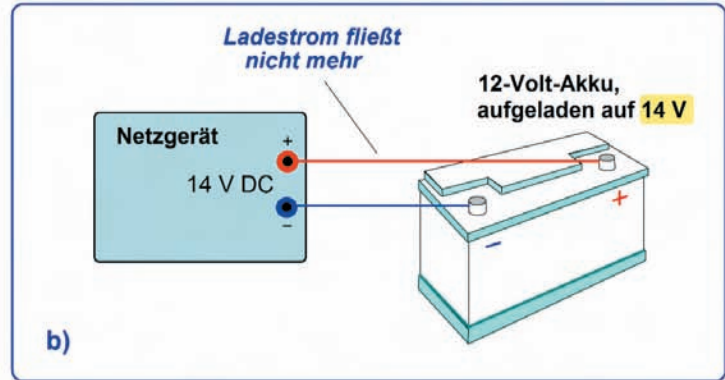
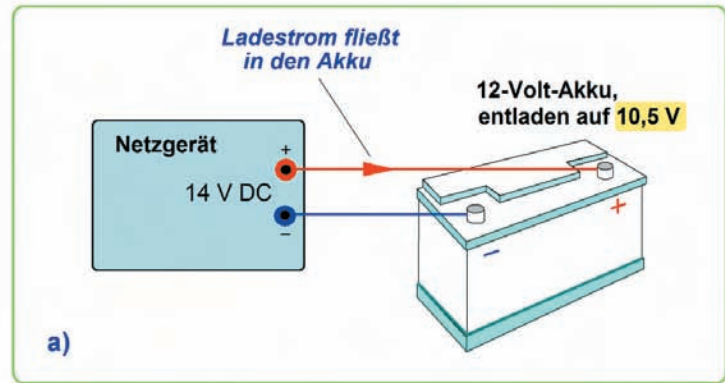
13 Das Laden

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.



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

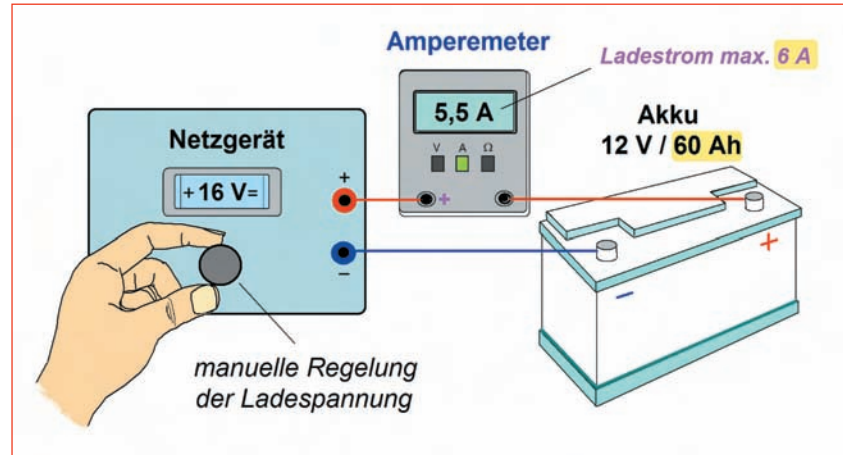


Abb. 13.2 – Das Laden eines Akkus kann bei Bedarf auch mithilfe einer regelbaren Spannungsquelle nur rein manuell vorgenommen werden.

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 einfachen Steckerladergeräten ähnlich gehandhabt. Sie hat jedoch den Nachteil, dass das Nachladen sehr lange dauert. Die Differenz zwischen der Spannung der Ladequelle (= 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.

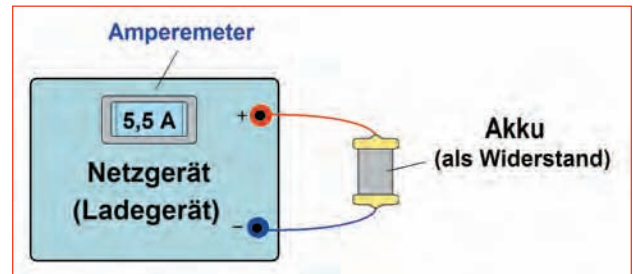


Abb. 13.3 – Einen geladenen Akku kann man sich als ohmschen Widerstand vorstellen.

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.

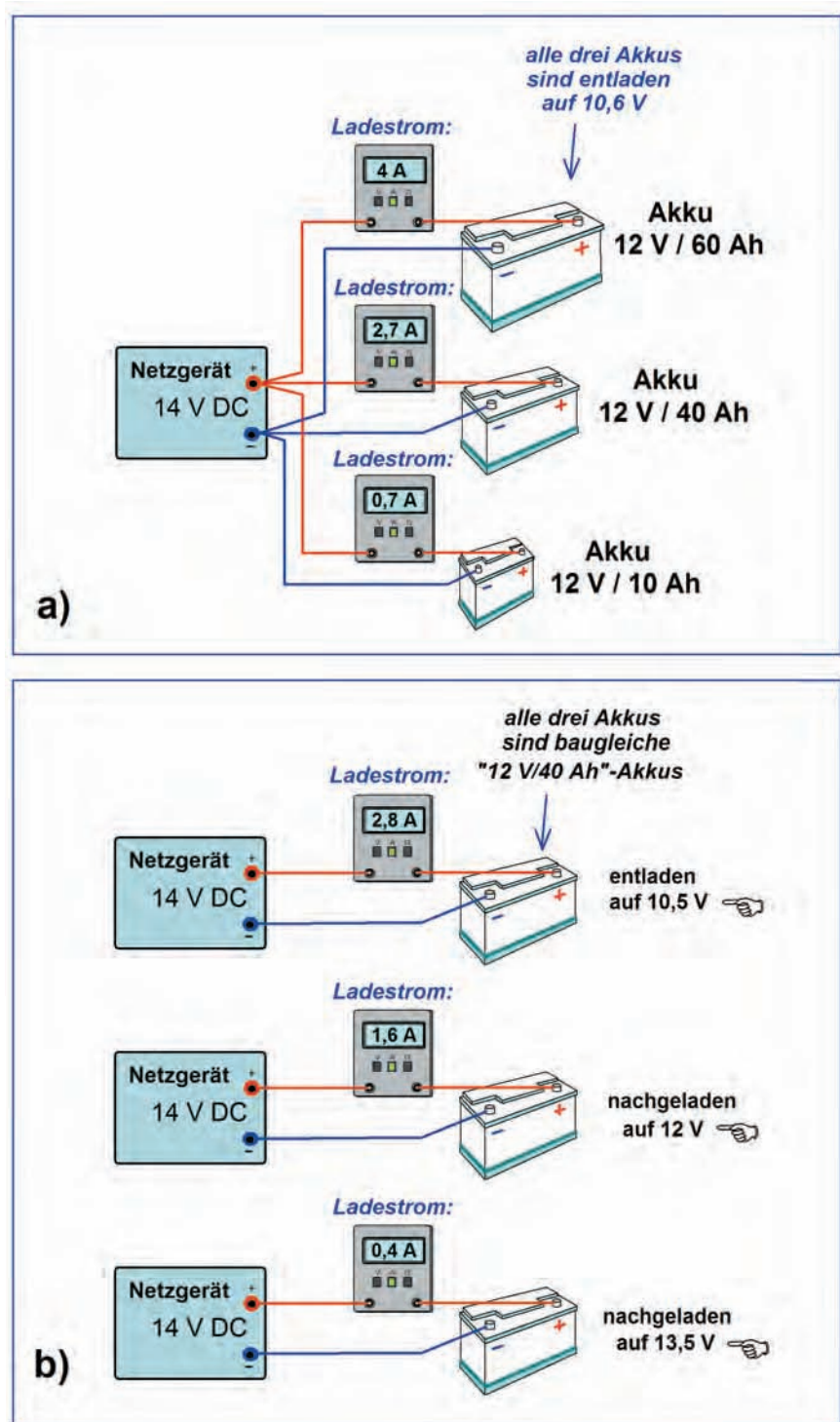
13 Das Laden

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 $\text{Strom [A]} = \frac{\text{Spannung [U]}}{\text{Widerstand [\Omega]}}$ 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 Hauptidephase 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.

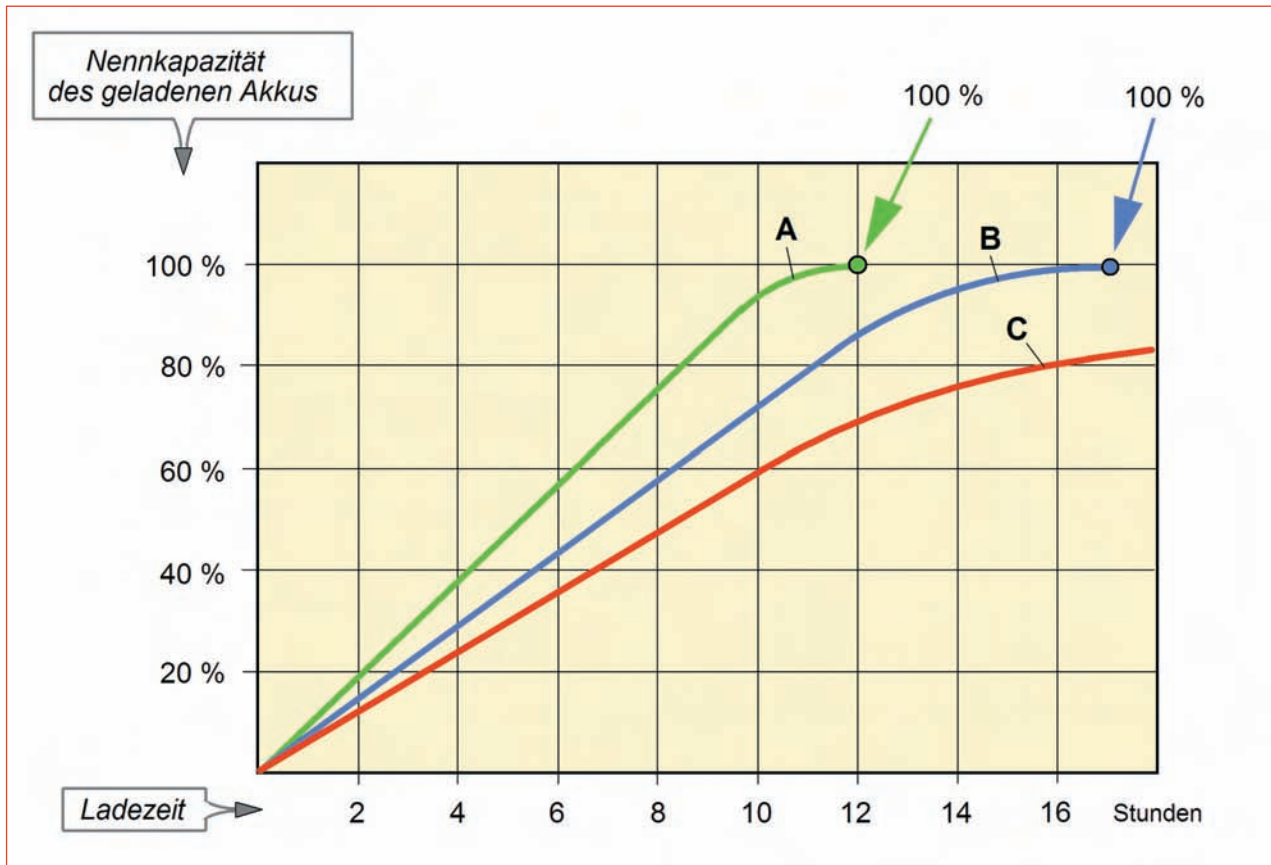


Abb. 13.5 – Grafische Darstellung drei unterschiedlicher Ladevorgänge: **a)** Intelligente Ladegeräte laden den Akku innerhalb von ca. 12 Stunden voll auf (Kurve A). **b)** Ladegeräte mit einer vereinfachten Laderegulierung benötigen zum Aufladen eine längere Zeitspanne (Kurve B). **c)** Einfache Ladegeräte 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

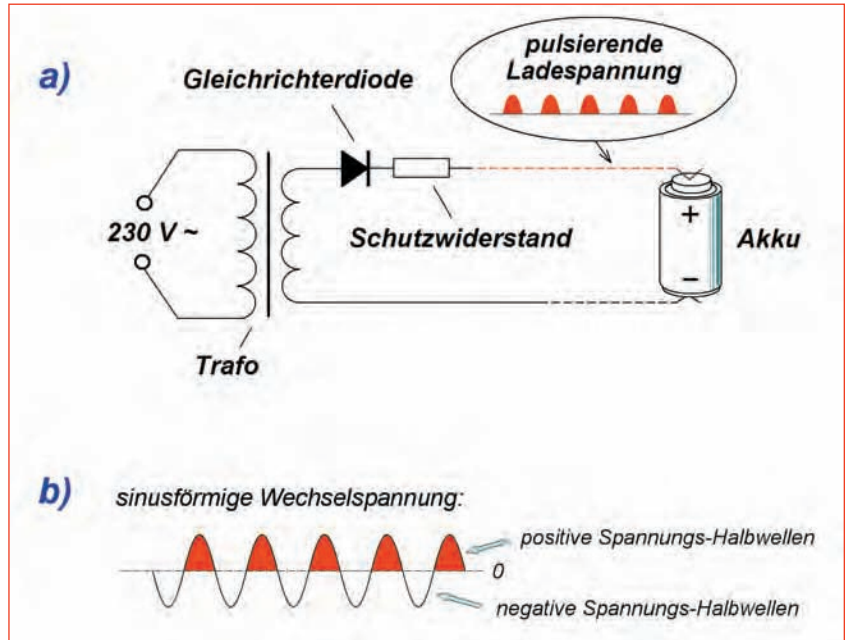
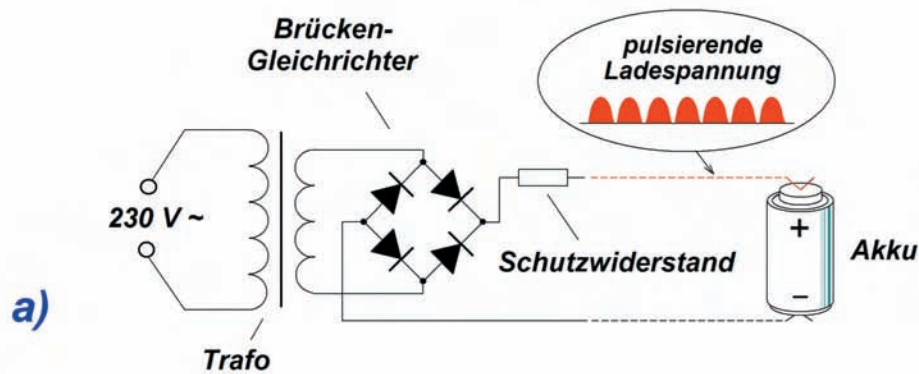


Abb. 13.6 – Die preiswertesten Ladeadapter und Ladegeräte, die festes Zubehör kleinerer Geräte sind, machen verfügen oft nur eine einfache Eindioden-Laderegung.

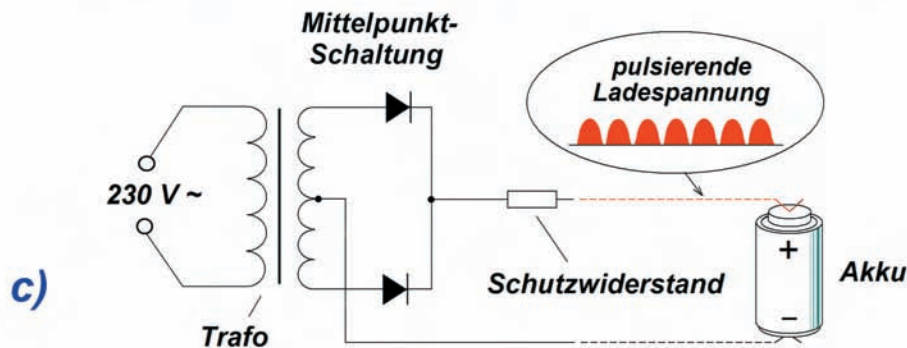
Nachladens des Akkus bis auf Null oder zumindest auf ein Minimum, das bei einem voll aufgeladenen Akku nahe Null liegt.

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 – Grundsicherung 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 „dünneren“ 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 Siliziumdioden 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 13.7c) 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.

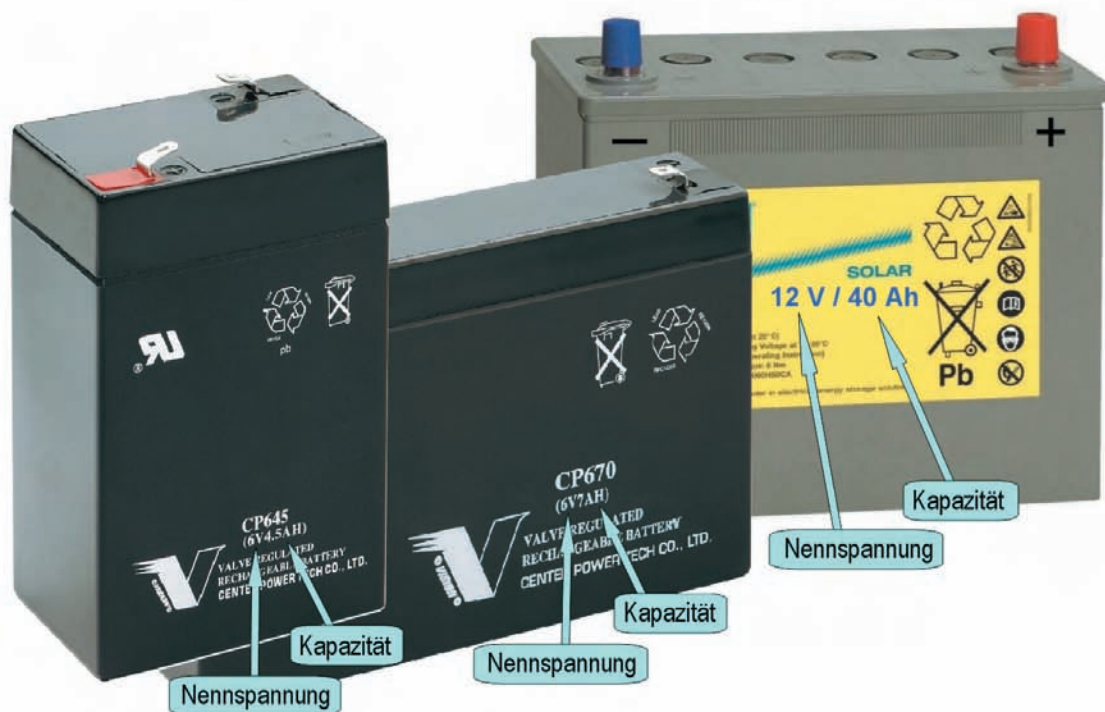
Daraus ergibt sich in der Praxis das Problem, dass bei einer mit Zeitschalter gesteuerten Ladestromabschaltung z. B. ein Mignon(AA)-Akku mit niedriger Kapazität (von 1,3 Ah) perfekt, aber ein Mignon(AA)-Akku mit einer hohen Kapazität (von 2,7 Ah) nur dürftig geladen wird. Es gibt jedoch auch unter den 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 regel-

te 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.

a)



b)



* Die Anzahl der Zellen in einem Akkupack hat keinen Einfluss auf die Kapazität des ganzen Packs: sie entspricht nur der Kapazität der Einzelzellen. Nur die Spannungen der Einzelzellen addieren sich, wodurch sich bei diesem Akkupack die Ausgangs-Nennspannung aus $6 \times 1,2$ Volt zu 7,2 Volt addiert.

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.

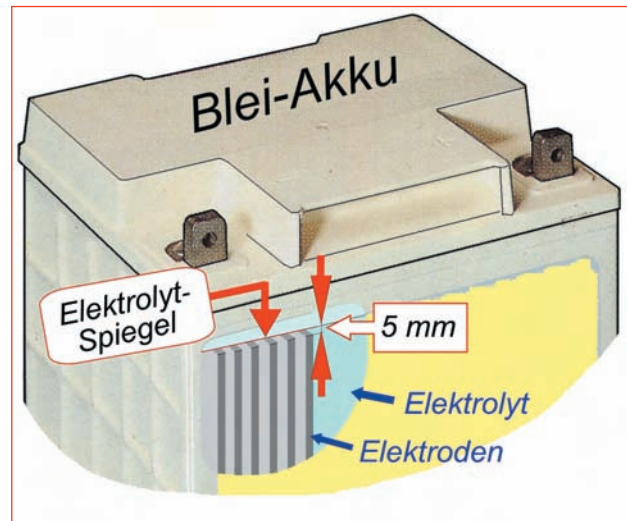


Abb. 13.16 – In Bleibatterien mit flüssiger verdünnter Schwefelsäure muss diese sichtbar mindestens 5 mm oberhalb der Elektroden stehen und sollte bei Bedarf mit destilliertem Wasser (pro Zelle) nachgefüllt werden.

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 Aktivatorn 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.

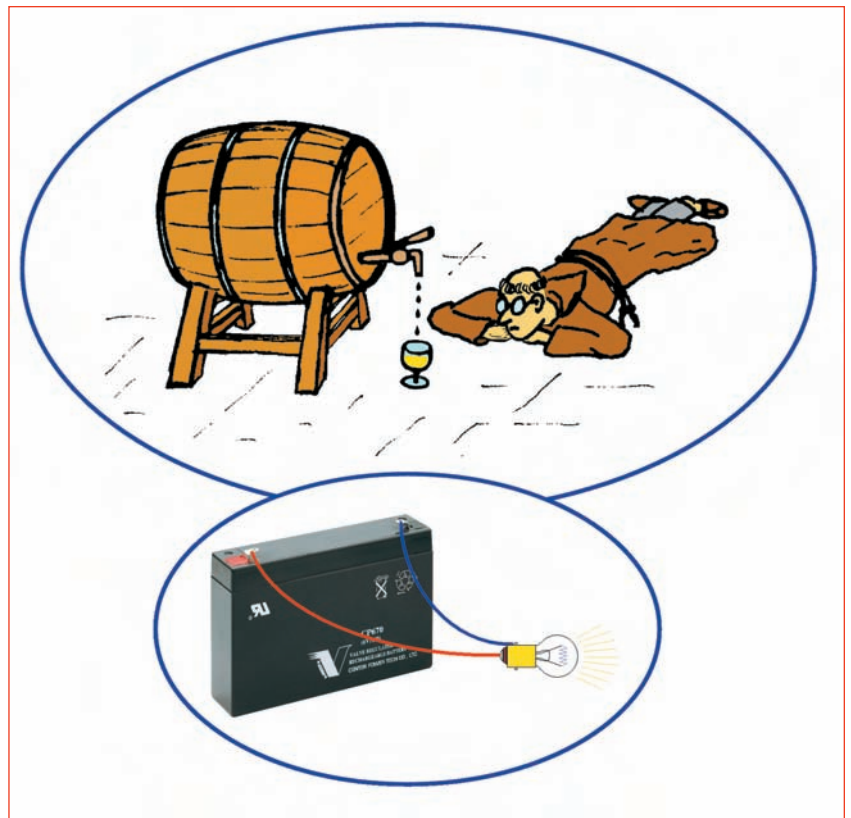
Wir vergleichen das Aufladen eines Akkus mit elektrischem Strom

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. ± 3 bis ± 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.

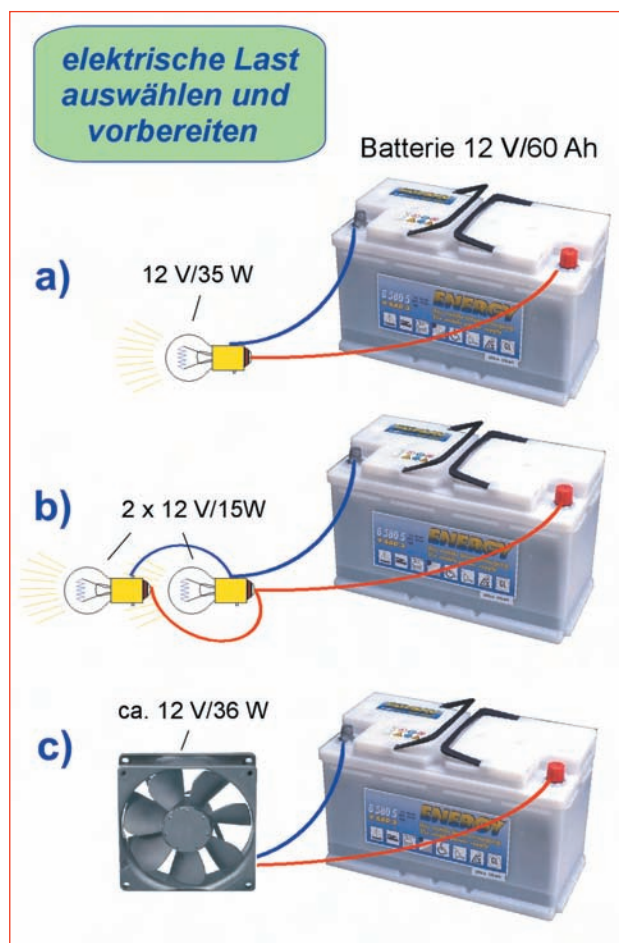
Als Referenzmessung wäre zwar eine solche Kontrolle der Kapazität gar nicht so schlecht, denn man könnte einige Jahre später prüfen, wie sich die Batterie gehalten hat.

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 ($2,35 \times 6 = 14,1$).



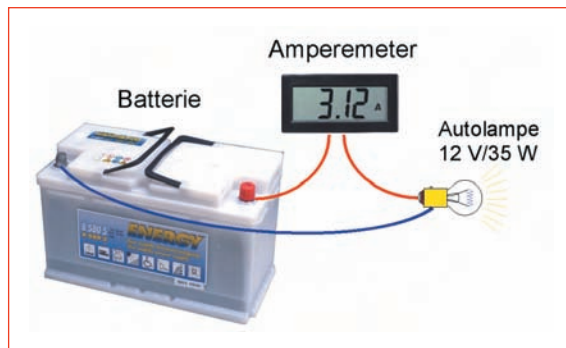
13.6 Test der Batteriekapazität

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 zusammenge-rechnet. 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.

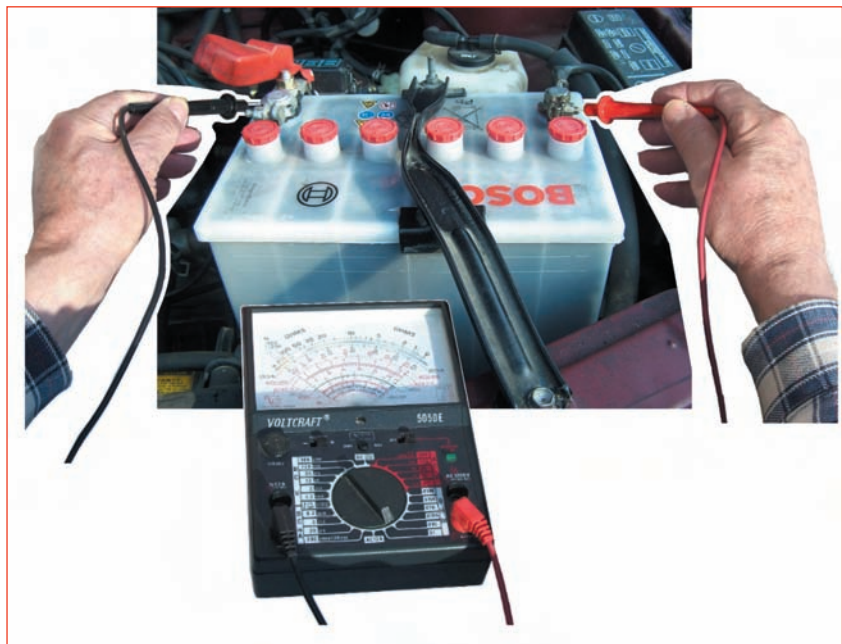
Bei Bedarf kann auf die gleiche Weise die Kapazität verschiedener Kleinakkus getestet werden, um sich z. B. zu vergewissern, dass ein neues teures Ladegerät tatsächlich fähig ist, ältere Akkus aufzufrischen. Die benötigte Last (ein kleines Glühlämpchen) sollte auch in diesem Fall bevorzugt unterhalb von ca. 10 % der Akku-Nennkapazität liegen.

13.7 Funktioniert Ihre Fahrzeuglichtmaschine gut?

Besitzer 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 (H_2SO_4) verwendet. Sie ist allerdings ätzend, ihre Dämpfe sind explosiv, sie dunstet beim Nachladen aus und sie verdeckt 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

Abgesehen 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

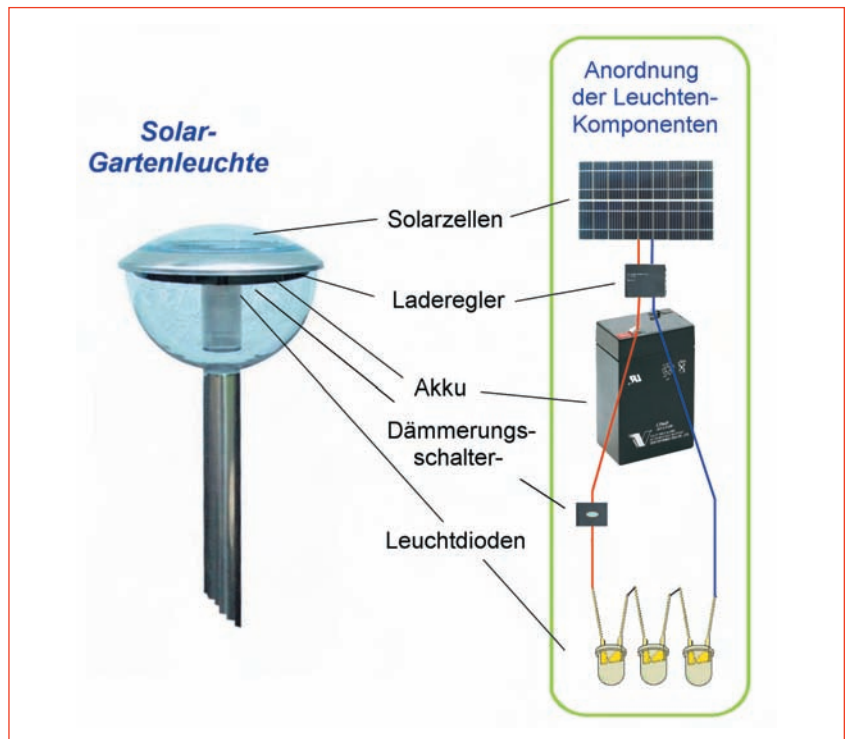


Abb. 14.1 – Das solarelektrische Innenleben einer Außenleuchte besteht nur aus wenigen Bauteilen.

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,

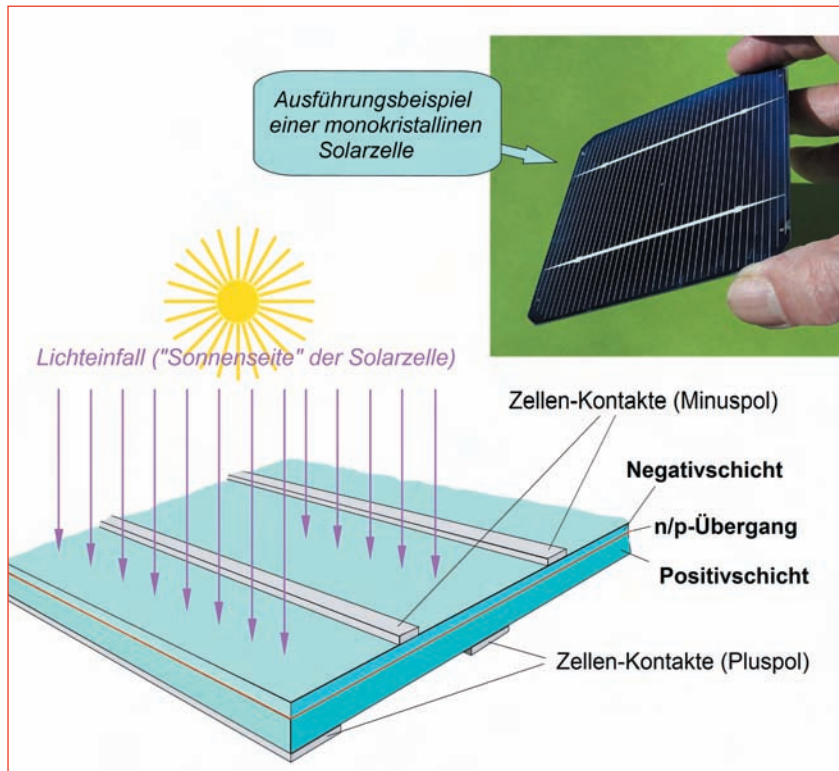


Abb. 14.2 – Eine herkömmliche Solarzelle im Schnitt (stark vergrößert; in Wirklichkeit ist eine solche Zelle nur ca. 0,3 bis 0,4 mm dick).

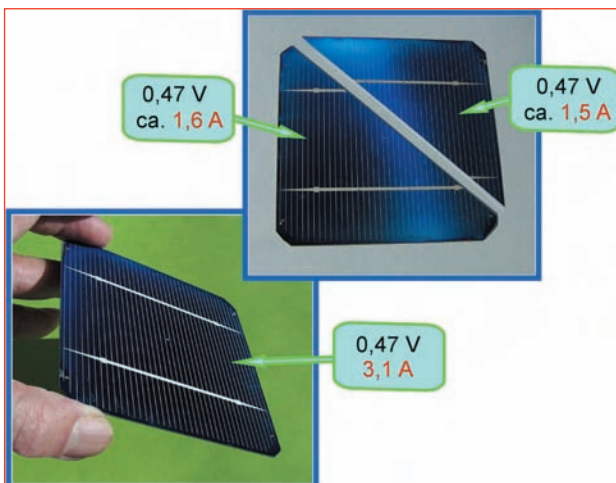


Abb. 14.3 – Wird eine Solarzelle in zwei oder auch in mehrere Stücke geteilt, teilt sich der maximale Zellenstrom proportional zu den Zellenflächen.

14 Solarelektrisches 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

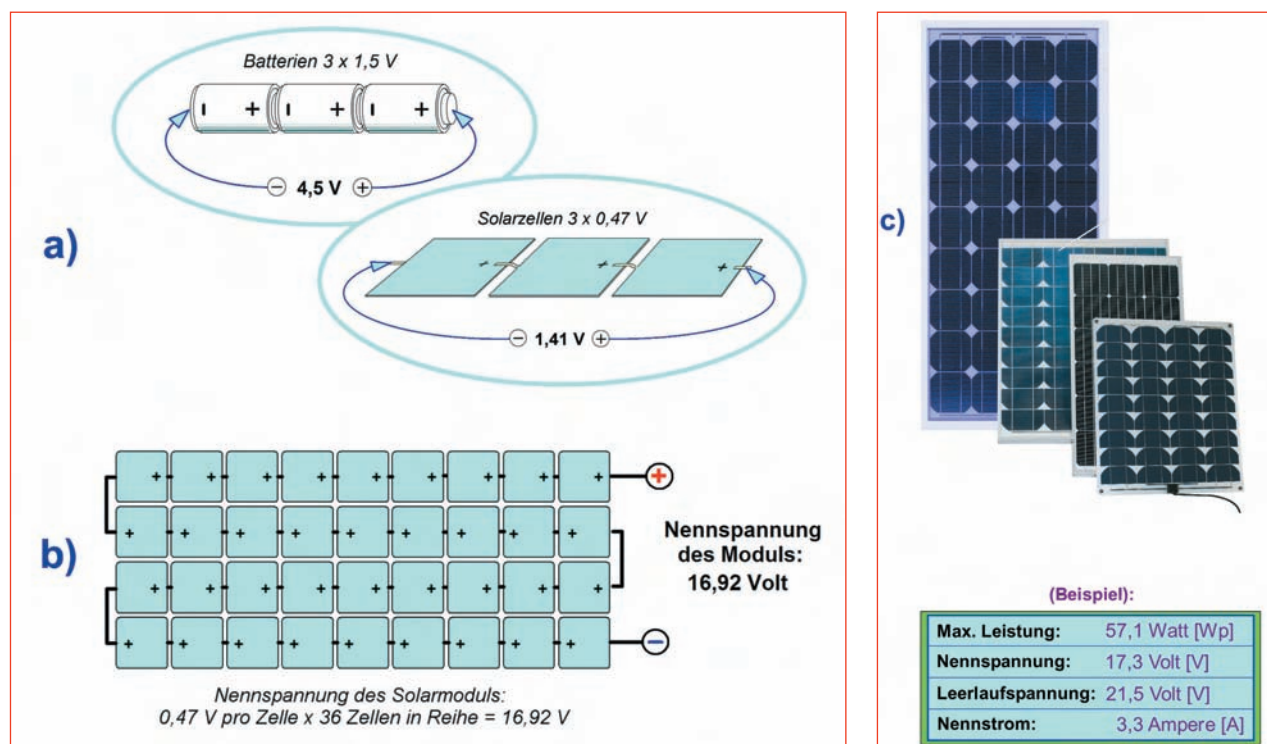
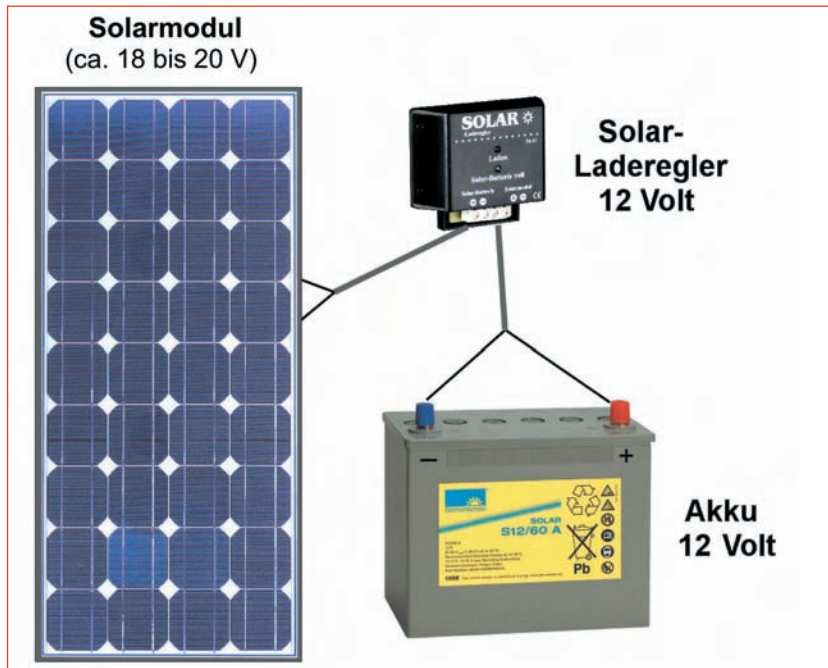


Abb. 14.4 – Ähnlich wie Batterien werden auch Solarzellen in Reihe geschaltet, wenn eine höhere Spannung benötigt wird, als eine einzige Zelle liefern kann: **a)** Anordnungsbeispiel der Zellen in einem Solarmodul. **b)** Ausführungsbeispiele handelsüblicher Solarmodule.

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.

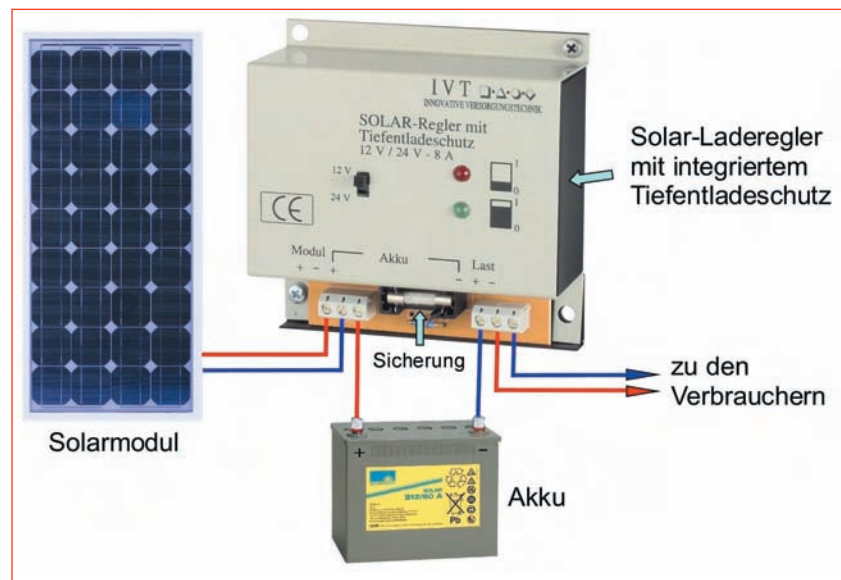


Abb. 14.6 – Die meisten Laderegler für solarelektrisches Laden verfügen über einen internen Tiefentladeschutz.

14 Solarelektrisches Laden

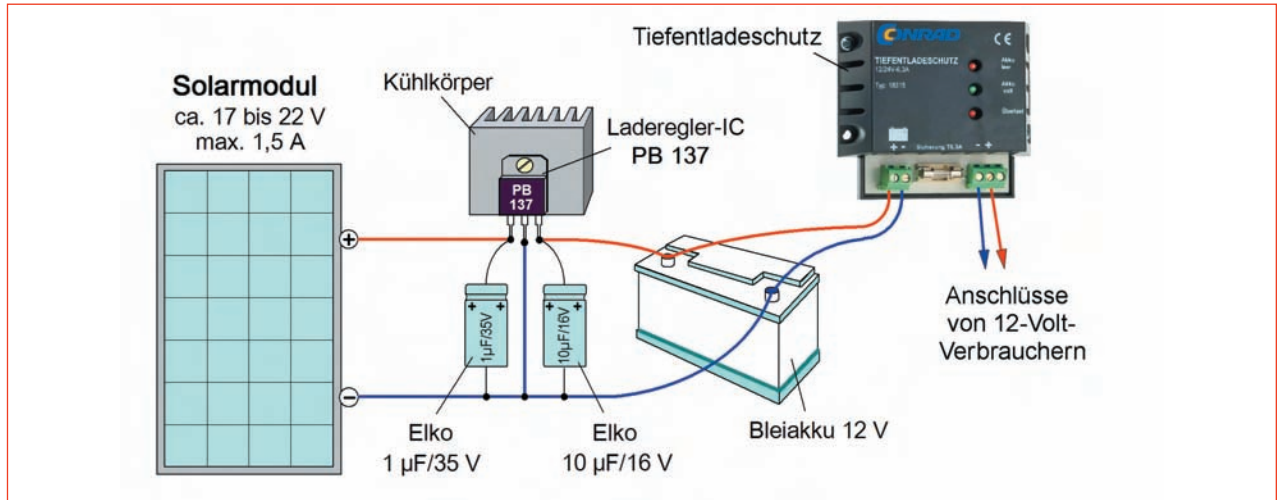


Abb. 14.7 – Conrad Electronic bietet ein Laderegler-IC (PB 137) an, mit dem eine 12-Volt-Bleiakku-Laderegelung für Solarmodule mit einem Nennstrom von maximal 1,5 Ampere (und Nennspannung von bis zu 40 V) im Selbstbau erstellt werden kann. Ein zusätzliches Tiefentladeschutz-Gerät ist ausgangsseitig erforderlich.

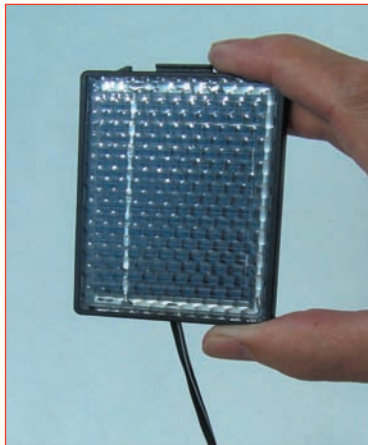


Abb. 14.8 – Für das Laden kleiner Akkus oder Akkupacks führt der Handel Mini-Solarmodule (Minipaneels) mit gekapselten Solarzellen (Foto: Conrad Electronic).







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).

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.

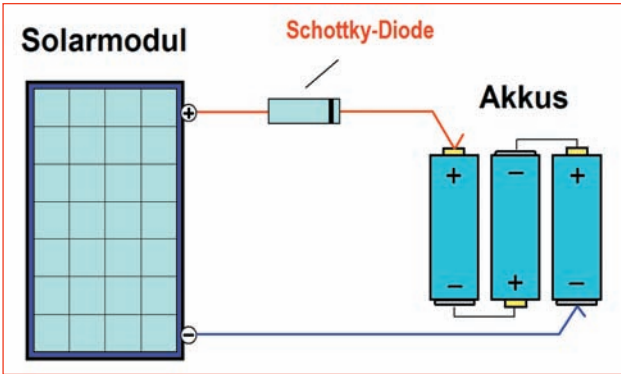
Beim solarelektrischen Laden, bei dem die Akkus nach dem Prinzip aus Abb. 14.10 geladen werden, darf selbstverständlich dem Akku keine höhere Solarspannung zugeführt werden, die seine Ladeschlussspannung überschreitet. Wird ein Akku an ein Solarmodul ohne jegliche zusätzliche Ladespannungsbegrenzung 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).

Typenbezogene Ladeschluss-Spannung der gängigsten Akkus *			
	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. Genaugenommen 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 Bleiakkuzellen. Diese beträgt theoretisch bei einem Standard-Bleiakku 7,23 V ($3 \times 2,41$ V), bei einem Akku der Marke Exide nur 7,05 V ($3 \times 2,35$ 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.

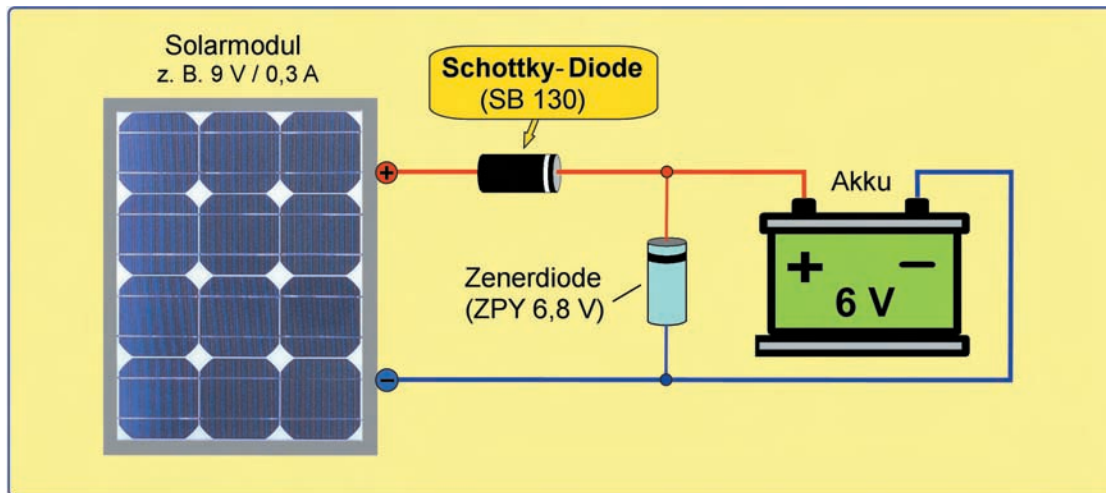


Abb. 14.11 – Beispiel einer einfachen Laderegulierung für einen kleinen 6-Volt-Bleiakku.

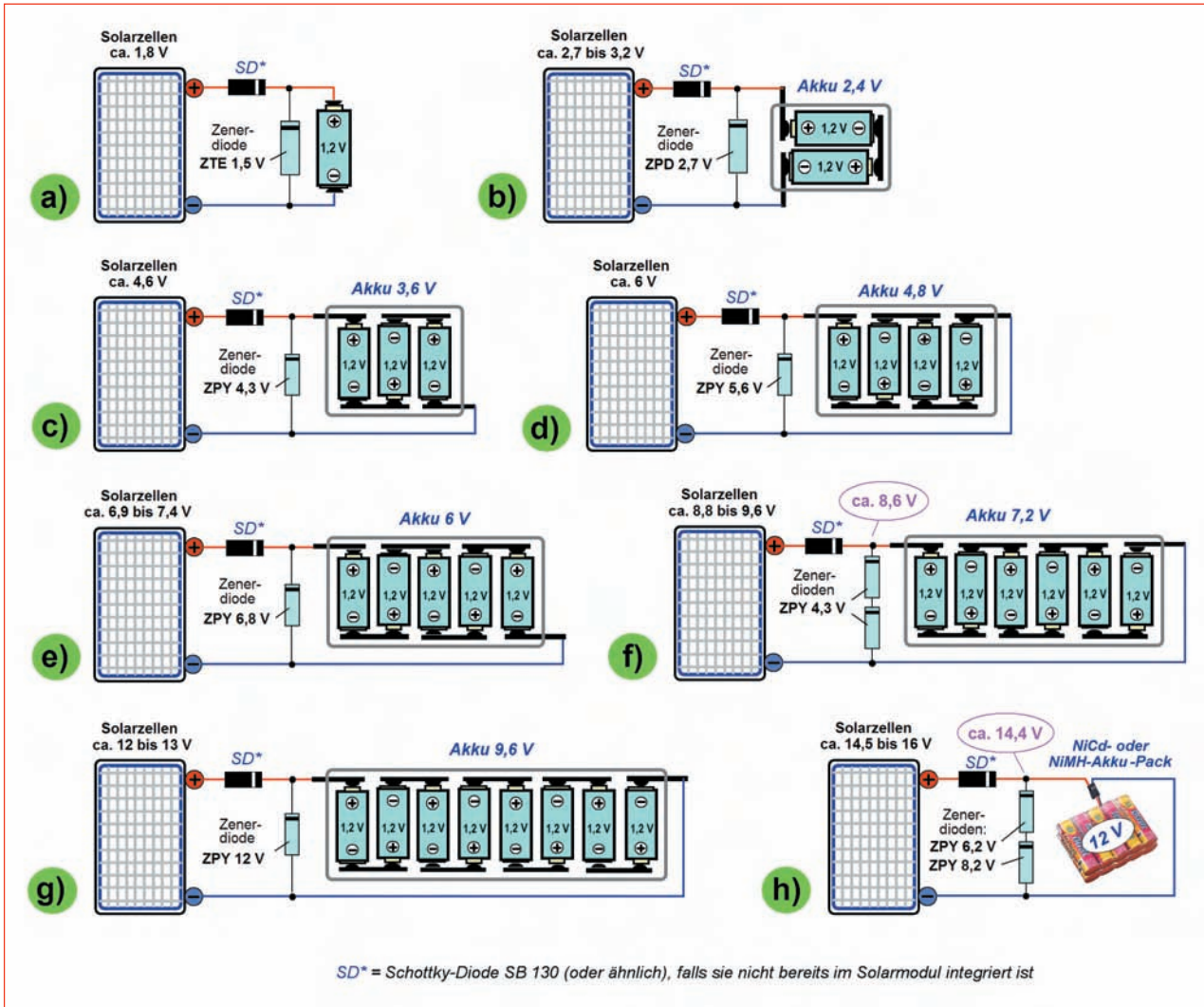


Abb. 14.12 – Beispiele einer einfachen Laderegulierung für kleinere Akkus: Die bei den Solarmodulen aufgeführten Spannungen sind als minimale Modul-Nennspannungen zu verstehen.

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 Laderegulierung, 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?

Bei 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 *unstabilisiert* 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.

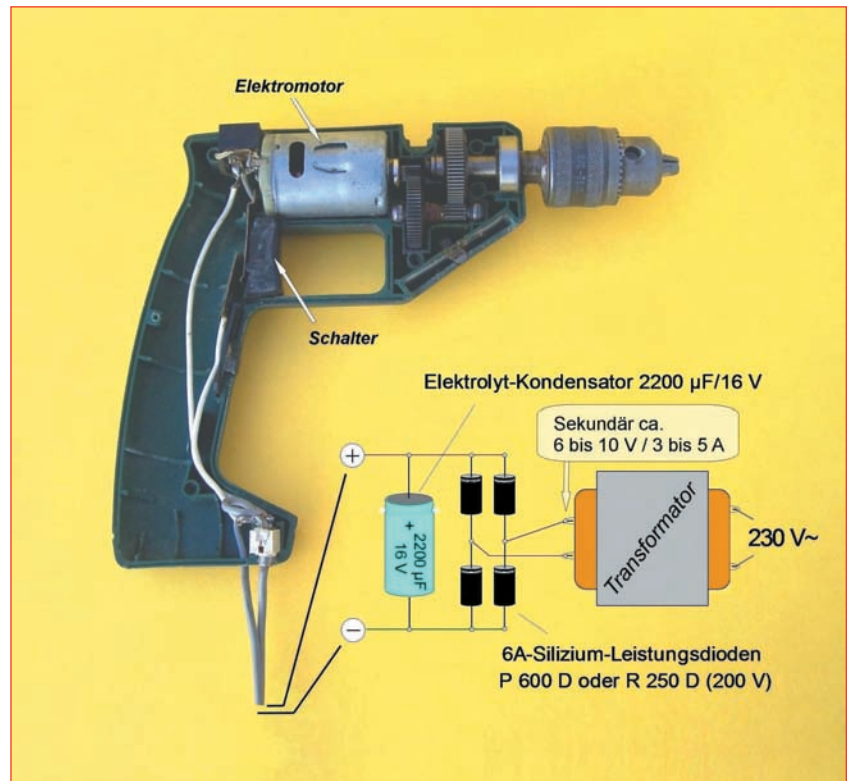


Abb. 15.2 – Umbau eines Akku-Bohrschraubers auf Netzbetrieb.

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 Spannungsbereich 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

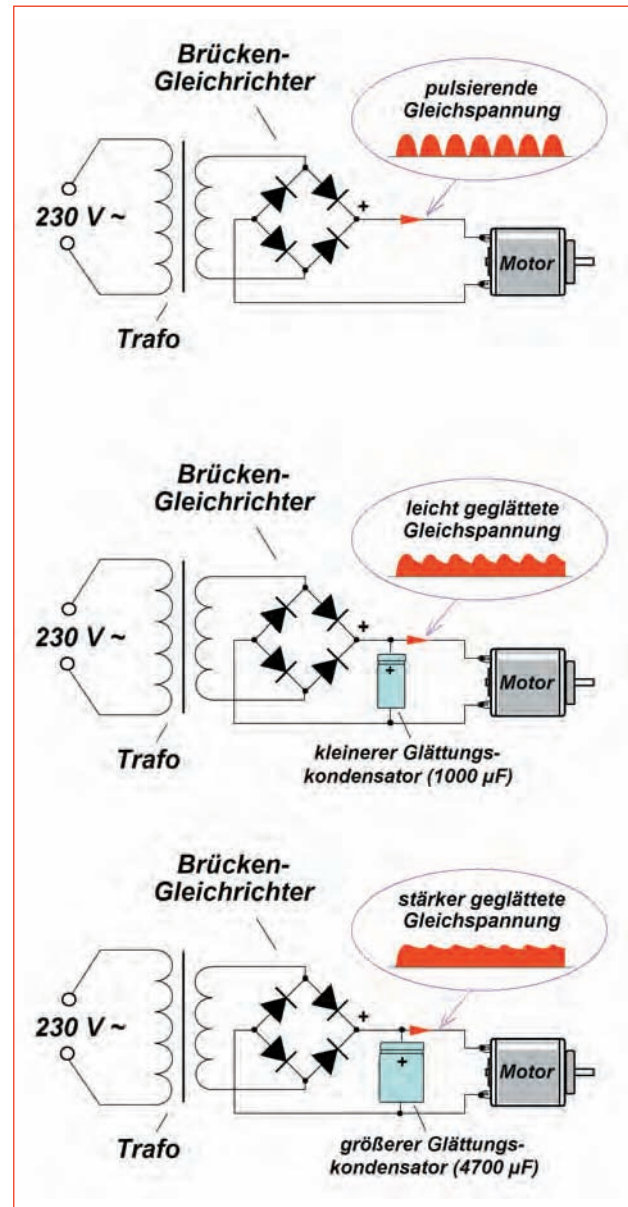


Abb. 15.3 – Glättung der pulsierenden Gleichspannung mit einem Glättungskondensator.

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 Akkuschaubern, 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.

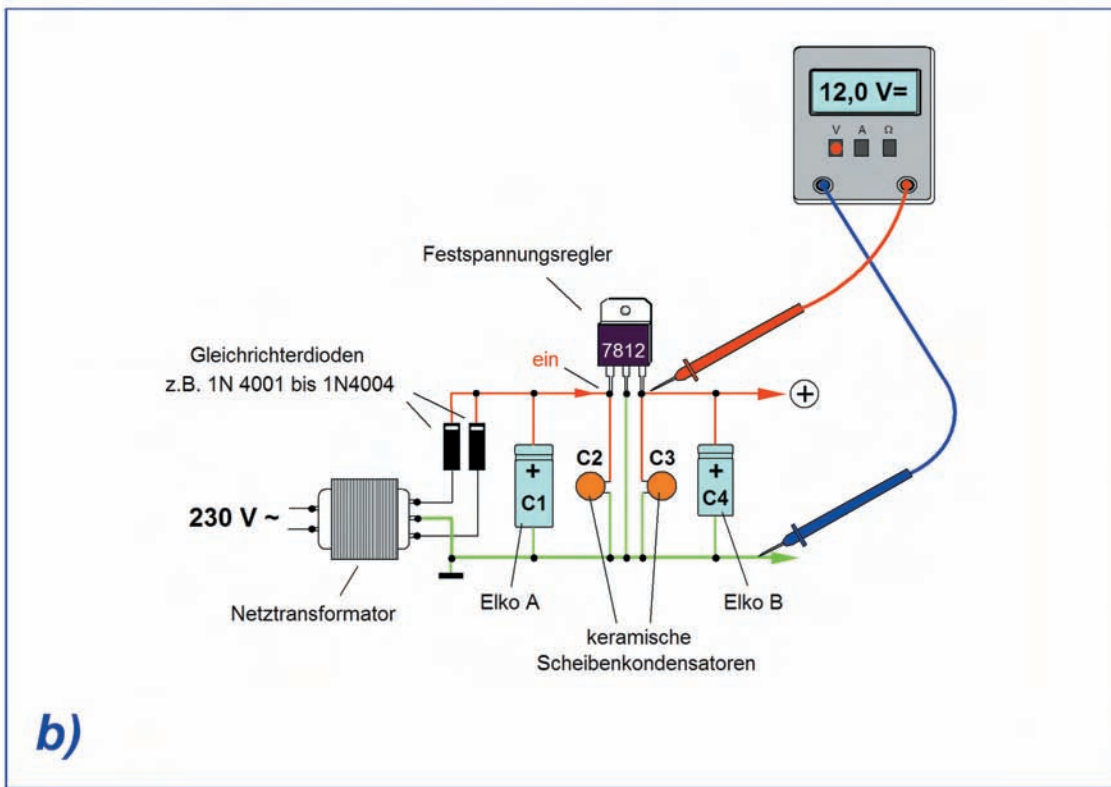
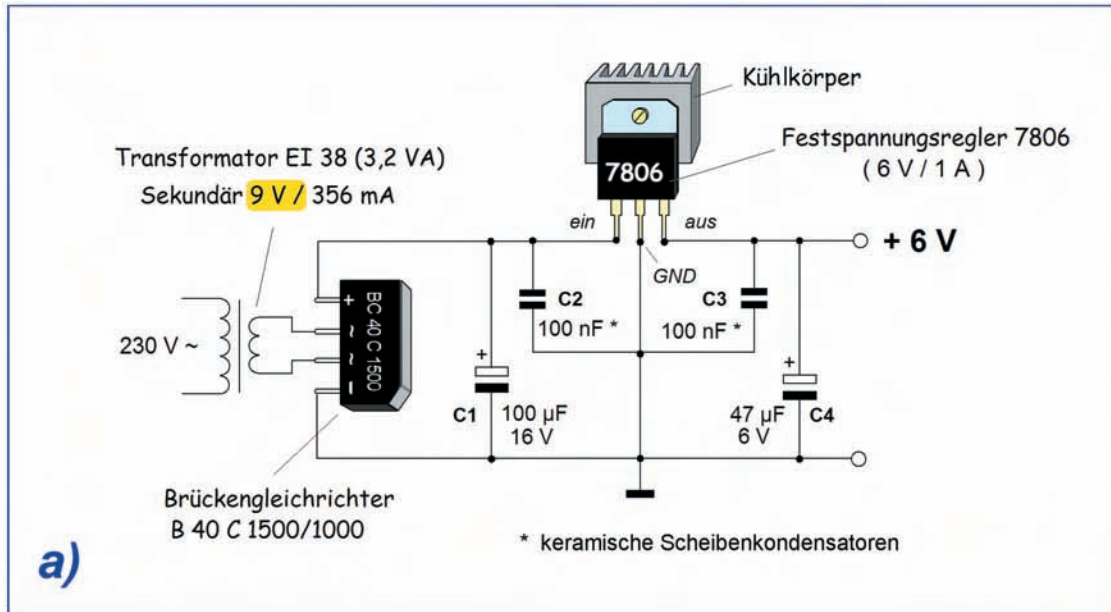


Abb. 15.4 – Glättung der pulsierenden Gleichspannung mithilfe eines Festspannungsreglers: **a)** Beispiel mit einem Brückengleichrichter. **b)** Beispiel mit einem Zweipunktgleichrichter und mit bildlich dargestellten Bauteilen.

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.)
- Sanitäranlagen 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

ELV
Tel.: (04 91) 60 08 88,
Fax: (04 91) 70 16
www.elv.de

Reichelt Elektronik, Elektronik-
ring 1, 26452 Sande
Tel. (0 44 22) 95 53 33,
Fax (0 44 22) 95 51 11
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

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-Torantriebeinheit 75
Spannungsüberwachung 80
Speicherbatterie einer
 photovoltaischen Anlage 50
Speicherkondensatoren 9
Spezialbatterien für Handys 54
Stift-Multimeter 21
Sulfatablagerung 82
Super-Caps 55

T

Tiefentlade-Abschaltschwellen 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

Akkus und Batterien richtig pflegen und laden

Wiederaufladbare Batterien, kurz „Akkus“, werden in vielen Geräten eingesetzt – im Hobby, in der Freizeit sowie im täglichen Leben sind sie nicht mehr wegzudenken. Ersatzakkus sind häufig teuer und oft nur schwer erhältlich. Deshalb sind für Batterien und Akkus die optimale Pflege und das richtige Laden unentbehrlich.

Worauf ist zu achten?

Welche Ladegeräte sind am besten?

Mit welchen Akku-Vergleichstypen lassen sich Kosten sparen?

In diesem Praxisbuch finden Sie Antworten auf Ihre Fragen – garantiert objektiv, aus Sicht der Technik und der Kosten.

Wenn Sie auf das richtige Laden von Akkus achten, erhöhen Sie die Lebensdauer und können damit Geld sparen. Deshalb sollten Sie Batterien richtig pflegen und Akkus richtig laden, egal in welchen Geräten sie eingesetzt sind.

Vermeiden Sie Fehler beim Laden und voreilige Investitionen bei der Auswahl des richtigen Ladegeräts. Welches Ladegerät für welchen Einsatzzweck am besten geeignet ist, wie Sie es richtig handhaben und worauf Sie beim Kauf achten müssen, lesen Sie in diesem Buch.

Außerdem sollten Sie wissen, welche Akkus sich für ein Vorhaben am besten eignen oder wo Sie Gold-Caps als vorteilhafte Energiespeicher verwenden können.

Mit vielen Abbildungen und Zeichnungen zeigt Ihnen der Autor aus der Praxis, wie Sie auch Akkus und Speicherkondensatoren mit einer Solarzelle laden können. Dazu runden diverse praxiserprobte Anleitungen für den Selbstbau dieses Werk ab.

Aus dem Inhalt

- Eigenschaften von Batterien und Akkus
- Ladetechniken
- Ladegeräte – darauf sollten Sie beim Kauf achten
- Selbstentladung, Kapazität, Nennspannung

Zum Autor

Bo Hanus zählt zu den erfahrensten Autoren von „DO-IT!“-Büchern. Mit seinen etwa 50 Ratgebern zu den verschiedensten Themen hat er wohl manchem aus der sprichwörtlichen Patsche geholfen.

Leicht gemacht, Geld und Ärger gespart!

Besuchen Sie uns im Internet: www.franzis.de