

Chemische Spannungsquellen

Multivalent und unverzichtbar

Ohne chemische Energiequellen („Batterien“) kommen transportable UE- und IT-Geräte nicht aus. Hier beschreiben wir einige Aspekte, die bei der Anwendung beachtet werden sollten.



Bild 1: Gängige Bauformen. LR14, LR6, LR3 und 6F22 (von links)

Music und Information begleiten uns auf Schritt und Tritt. MP3- und CD-Spieler, Kameras, Blitzlichtgeräte, Modellfahrzeuge, Uhren und Uhrenradios – alle kommen ohne Netzanschluss aus und werden mit elektrischer Energie betrieben. Die wird von chemischen Spannungsquellen bereitgestellt, von Primärzellen, oft einfach als „Batterien“ bezeichnet, und von Sekundärzellen (Akkumulatoren). Beiden ist gemeinsam, dass durch chemische Prozesse im Innern der Zelle elektrische Energie gewonnen wird, die an zwei Elektroden abgenommen werden kann.

In Primärelementen wird die Spannung durch eine unmittelbar ablaufende elektrochemische Reaktion der Komponenten, also der Anoden- und Katodenmaterialien, erzeugt. Sekundärelemente dagegen nehmen vor der Benutzung elektrische Energie auf, speichern diese als chemische und geben sie bei Anschluss eines Lastwiderstandes wieder als elektrische ab.

Die körperliche Einheit, in der die Energie erzeugt wird, bezeichnet man als Zelle oder als Element. Mehrere Zellen können zusammengeschaltet werden, in Reihe, um die Ausgangsspannung zu erhöhen, oder parallel, um den Laststrom zu vergrößern. Diese Zusammenschaltungen werden dann als Batterien bezeichnet, wobei es im Grunde unerheblich ist, ob es sich um Primär- oder

Sekundärelemente handelt. Im folgenden Beitrag soll auf die wichtigsten dieser Zellen mit ihren technischen Eigenheiten eingegangen werden.

Bauformen

Um die weltweite Austauschbarkeit von Batterien zu gewährleisten, wurden internationale Normen vereinbart, die die häufigsten Bauformen und die wichtigsten elektrischen

Parameter festlegen. Die dafür zuständigen Normungsinstitute sind IEC (International Electrotechnical Commission), ANSI (American National Standards Institute) und JIS (Japanese Industrial Standards). Diese haben drei Normen mit drei Bezeichnungen verabschiedet: Nach IEC kennzeichnet LR6 eine Alkalizelle einer zylindrischen Bauform mit 1,5 V Nennausgangsspannung. Nach ANSI wird sie als AA bezeichnet, womit lediglich die geometrischen Abmessungen beschrieben werden. Nach JIS schließlich heißt dieser Typ AM-3. In der Tafel 1 sind die wichtigsten Bauformen zusammengestellt, wobei U_N die Nennspannung und C die Kapazität ist, die hier die Ladung (in Ah) kennzeichnet, der Buchstabe R steht generell für Rundzelle. Tafel 2 gibt einen Überblick über die Kennzeichnung der elektrochemischen Systeme. Der kennzeichnende Buchstabe steht dabei an erster Stelle, gefolgt von dem, der die Bauform (s. Tafel 1) bezeichnet.

Die im Bild 1 beispielhaft gezeigten Bauformen sind auch bei Sekundärelementen (Akkumulatoren) anzutreffen, so dass hier, bei vergleichbarer elektrischer Belastung, beide Typen problemlos verwendet werden können. Für spezielle Anwendungen sind auch Sonderbauformen weit verbreitet, die herstellerabhängig und in der Regel nicht kompatibel untereinander sind. Das betrifft

Tafel 1: Genormte Bauformen

IEC/JIS	ANSI	Zellname	Abmessungen in mm	U_N in V	C in mAh
LR61 ¹⁾	AAAA	Mini	∅ 8,3 × 42,5	1,5	500...600
LR3/AM-4	AAA	Mikro	∅ 10,3 × 45	1,5	900...1450
R3 ²⁾ /UM-4	AAA	Mikro	∅ 10,3 × 45	1,5	370...540
LR6/AM-3	AA	Mignon	∅ 14,3 × 51	1,5	2200...3500
R6/UM-3	AA	Mignon	∅ 14,3 × 51	1,5	700...1100
LR14/AM-2	C	Baby	∅ 27 × 50	1,5	8000
R14/UM-2	C	Baby	∅ 27 × 50	1,5	1800...3800
LR20/AM-1	D	Mono	∅ 35 × 62	1,5	20000
R20/UM-1	D	Mono	∅ 35 × 62	1,5	4000...8000
LR1/AM-5	N	Lady	∅ 12 × 30	1,5	800
R1/UM-5	N	Lady	∅ 12 × 30	1,5	400
6LR61/6AM-6	1604DPP3	9-V-Block	48,5 × 26,2 × 17	9,0 ³⁾	500...600
6F22 ²⁾	1604DPP3	9-V-Block	48,5 × 26,2 × 17	9,0 ⁴⁾	190...330

¹⁾ Alkali-Mangan-System, ²⁾ Zink-Braunstein-System, ³⁾ 6 Zellen LR61 à 1,5 V, ⁴⁾ 6 Flachzellen 22 à 1,5 V

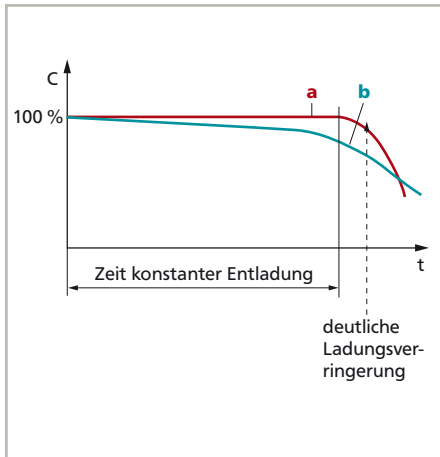


Bild 2: Entladekennlinien.
a) Ideal; b) real

besonders Akkumulatoren für digitale Kameras, bei denen es auf hohe Kapazität, geringe geometrische Abmessungen und Widerstandsfähigkeit gegen schwankende Umgebungsbedingungen ankommt. Zwar verwenden zahlreiche Kameras wieder-aufladbare Nickel-Metallhydrid-Zellen (NiMH) für die Spannungsversorgung, doch haben die sich vielfach als wenig geeignet gegenüber den benötigten Lastströmen erwiesen, sie sind einfach zu schnell entladen.

Auswahlkriterien

Im Handel befinden sich sehr viele Primärelemente sehr zahlreicher Hersteller, die kaum einen Überblick erlauben. Optisch unterscheiden sie sich durch Farbgebung, Aufmachung der Blisterpackungen und nicht zuletzt durch den Preis; Informationen über Anwendung, Entladeverhalten u. ä. sind dagegen kaum zu finden. In der Tafel 3 sind einige grundsätzliche Eignungen zusammengestellt. In der jüngeren Vergangenheit sind manche Hersteller dazu übergegangen, mit Symbolen die empfohlenen Einsatzgebiete zu kennzeichnen.

Die Batteriekapazität bezeichnet die gespeicherte elektrische Ladung und darf nicht mit der elektrischen Kapazität verwechselt werden. Sie wird in der Regel in Amperestunden (Ah) angegeben und erhöht sich bei der Parallelschaltung einzelner Zellen. Großen Einfluss auf sie haben die jeweiligen Entladebedingungen (z. B. Belastung, Entladeschlussspannung, Temperatur). Übliche Entladeverfahren sind die Entladung mit konstantem Strom, die über einen konstanten Widerstand und die mit konstanter Leistung, die jedoch unterschiedliche Ergebnisse zeigen. Die vom Hersteller angegebene Nennkapazität richtet sich also nach Entladeverfahren und -bedingungen.

Für den Betrieb in Leuchtmitteln, z. B. in Taschenlampen, in einfachen Radios und in Quarzuhren genügen einfachste und damit



Bild 3: Prinzipieller Aufbau der Zink-Braunstein-Zelle

sehr preiswerte Zellen, z. B. einfache Zink-Braunstein-Systeme. In transportablen Audiogeräten sollten schon Alkali-Mangan-Zellen eingesetzt werden, die neben einer höheren Kapazität auch eine für diese Geräte vorteilhaftere Entladekurve haben. Diese sollte möglichst flach sein und zum Ende der Ladung möglichst steil abfallen (s. Bild 2). Würde die Ladung kontinuierlich abnehmen, wären die elektrischen Eigenschaften der Geräte wegen der schwindenden Versorgungsspannung beeinträchtigt, in Audiogeräten käme es z. B. zu Verzerrungen, und Modellfahrzeuge verlören an Geschwindigkeit. Besondere Bedürfnisse an chemische Spannungsquellen haben zweifelsohne digitale Kameras, Camcorder und IT-Geräte. Sie arbeiten mit relativ hohen Betriebsströmen, so dass höchste Anforderungen an Kapazität, Belastbarkeit und Entladeverhalten gestellt werden, ein Sinken der Betriebsspannung wirkt sich sofort auf die Funktionalität des Gerätes aus. Da die Betriebsspannung oft zwischen 3 V und 6 V liegt, werden zwei bzw. vier LR6-Zellen benötigt. Deren Leerlaufspannung liegt im Neuzustand bei etwa 1,6...1,8 V, unter Betriebsbedingungen bei 1,5 V (Nennspannung). Hier sind aus physikalischen Gründen den handelsüblichen Zellen noch enge Grenzen gesetzt, der Nachkauf neuer Alkalibatterien erweist sich als sehr kostspielig. Das ist auch der Grund, dass die Industrie für derart energieintensive Anwendungen auf eigene prismatische und wieder-aufladbare Systeme setzt, die deutlich vorteilhafter und für den Anwender letztlich auch preiswerter sind.

Wichtigste Primärelemente

Die älteste und auch einfachste Primärzelle ist das nach ihrem Erfinder benannte Leclanché-Element, dessen Entwicklung auf das Jahr 1867 zurückgeht und das heute noch in Millionenstückzahlen weltweit hergestellt wird (Bild 3). Die chemische Reaktion die-

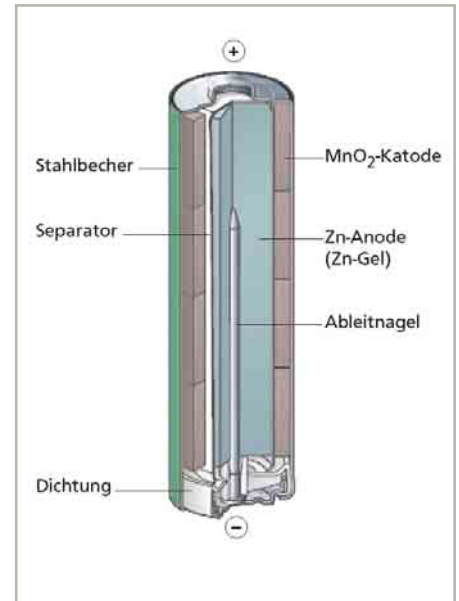


Bild 4: Prinzipieller Aufbau der Alkali-Mangan-Zelle

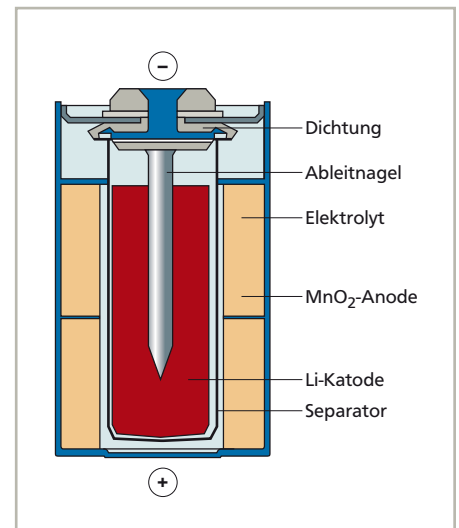


Bild 5: Prinzipieller Aufbau der Li-Braunstein-Zelle (Bobbin-Bauweise)

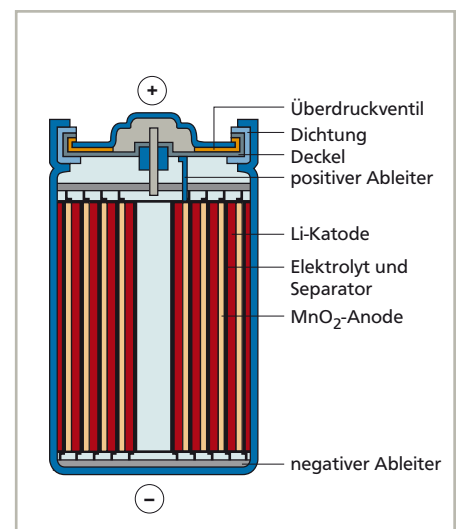


Bild 6: Prinzipieller Aufbau der Li-Braunstein-Zelle (Flachbauweise)

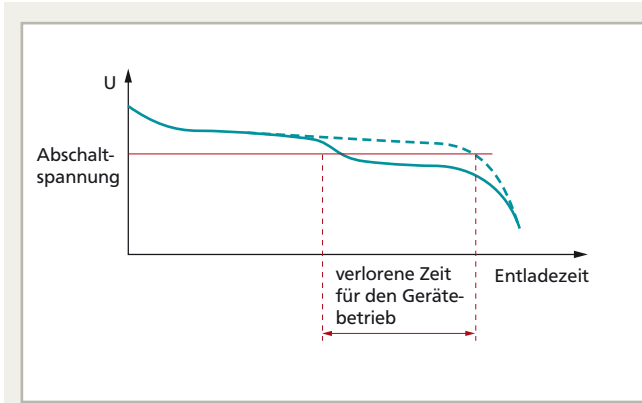


Bild 7: Memory-Effekt

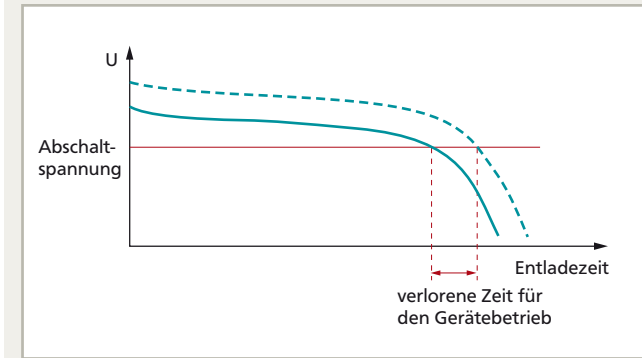


Bild 9: Lazy-Battery-Effekt

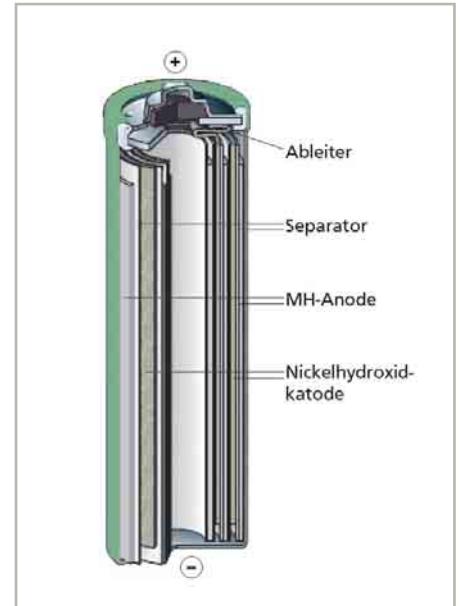
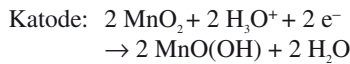
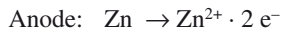


Bild 8: Prinzipieller Aufbau einer NiMH-Zelle

ser Zink-Braunstein-Zelle ist relativ übersichtlich. Die Katode besteht aus Braunstein (MnO_2), die Anode aus einem Zinkbecher, der zugleich Behälter ist. Zwischen beiden Elektroden befindet sich ein Elektrolyt (Ammoniumchlorid, NH_4Cl). Die Reaktion verläuft nach



Bei der Reaktion entsteht u. a. auch Wasser, das zusammen mit dem aggressiven Elektrolyten die Becherwand zerstören und die Gerätekontakte zerätzen kann. Es sollten daher auslaufsichere Typen verwendet werden, bei längerer Nichtnutzung des Gerätes empfiehlt sich die Entfernung der Batterien.

Als Weiterentwicklung dieser Zink-Braunstein-Zelle hat sich die im Bild 4 gezeigte Alkali-Mangan-Zelle etabliert, die als Elektrolyten statt einer Salmiaklösung eine mit Zinkoxid gesättigte Kalilauge (KOH) enthält. Ihre Anode besteht aus gepresstem Zinkpulver, um die herum die Katode aus einer Mischung von Braunstein (MnO_2) und Kohle als Ring angeordnet ist. Anode, Katode und Separator sind mit Kalilauge getränkt. Diese Zelle hat eine etwa dreifach höhere Energiedichte gegenüber dem Leclanché-Element und einen geringeren Innenwiderstand. Ein weiterer Vorteil ist, dass ihr Spannungsabfall unter Last geringer ist, d. h., die Klemmenspannung sinkt weniger schnell, womit sie für anspruchsvollere Anwendungsgebiete prädestiniert ist. Weiterhin ist diese Zelle lagerfähig und auch bei geringen Temperaturen verwendbar. Ihre Selbstentladerate beträgt bei

22 °C nur 10 %/Jahr. Alkali-Mangan-Systeme bilden mit über 65 % Marktanteil das am meisten verkaufte System auf dem deutschen Markt, sie werden in fast allen Bauformen produziert und enthalten, bis auf einige Knopfzellen, kein Quecksilber. Weitere technische Verbesserungen dieser Zellen wurden durch eine Vergrößerung der aktiven Masse möglich, z. B. durch eine dickere Katode, ein größeres Zellvolumen und einen Elektrolyten mit höherer Leitfähigkeit. So können sie eine max. 15fache Kapazität gegenüber vergleichbaren Zink-Kohle-Batterien erreichen.

Für den Einsatz in Systemen mit hohem Strombedarf hat Panasonic mit der sog. Oxid-Technik die Standard-Alkaline-Technik modifiziert. Hier wird der Braunstein mit Nickel-Oxyhydroxid vermischt, zusätzlich wurde die Möglichkeit geschaffen, der Zelle mehr Elektrolyt als bei Standardzellen beizugeben.

Als Ergebnis stehen eine Zellenspannung von 1,7 V und eine sehr gleichmäßige Energieabgabe zur Verfügung, was vielen Geräten, z. B. Digitalkameras, eine längere Batterienutzung ermöglicht. Allerdings kann die erhöhte Betriebsspannung auch zu Problemen führen, wenn die Anwendergeräte ohne Spannungsregler arbeiten.

Auch für das dritte heute weit verbreitete Primärsystem ist Mangandioxid ein wichtiger Bestandteil – für die Lithium-Braunstein-Zelle ($LiMnO_2$). Bei diesem am weitesten verbreiteten Lithium-System besteht die Katode aus Lithium und die Anode aus Braunstein. Zu seinen Vorteilen gehören die hohe Spannungslage, hohe Energiedichte, flache Entladungskurven, sehr gutes Lagerverhalten und ein weit nutzbarer Temperaturbereich. Besonders häufig finden sie Anwendung in der Fototechnik.

Lithium hat eine spezifische Kapazität von 3,86 Ah/g, reagiert aber mit feuchter Luft und besonders intensiv mit Wasser, sein Schmelzpunkt liegt bei 180 °C. Es dürfen daher in Li-Zellen nur wasserfreie Materialien verwendet werden, das trifft auch für den

Tafel 2: Elektrochemische Systeme (Auswahl)

	Anode	Elektrolyt	Katode	UN	Produkt
-	MnO_2	$NH_4Cl/ZnCl_2$	Zn	1,5 V	Zn-C-Element
A	O_2	$NH_4Cl/ZnCl_2$	Zn	1,4 V	Zn-Luft-Element
C	MnO_2	organisch	Li	3,0 V	Li-Element
F	FeS_2	organisch	Li	3,0 V	Li-Element
H	NiO	Alkali	Metallhydrid	1,2 V	Ni-MH-Akku
L	MnO_2	Alkali	Zn	1,5 V	Alkaline-Element
K	NiO	Alkali	Cd	1,2 V	NiCd-Akku
S	Ag_2O	Alkali	Zn	1,55 V	Ag-Zn-Element

Elektrolyten zu, der aus organischen und anorganischen Lösungsmitteln und speziellen Salzen besteht. Die Anode kann wie bei Lithium-Mangandioxid-Zellen flüssig oder fest sein.

Lithium-Primärbatterien gibt es in zahlreichen Bauformen. Bei der sog. Bobbin-Konstruktion (Bild 5) ist die Anode als Zylinder geformt, die Katode ist innen auf die Gehäusewand aufgewalzt. Entstehende Wärme wird nach außen abgeführt.

Der Vorteil der Li-Zellenspannung von 3 V wird auch genutzt, um IEC-kompatible Li-Batterien mit 1,5 V Nennspannung herzustellen, die relativ leicht und 10 Jahre lagerfähig sind, eine 35 % höhere Lebensdauer als Alkalizellen haben und in einem Temperaturbereich von -40...60 °C arbeiten. Im IEC-Code heißen sie FR6 bzw. FR3 und sind voll kompatibel mit alkalischen Primärelementen. Die Entwicklungsfirma war Energizer. Bei der Flachzellenbauweise nach Bild 6 wird die Anode an den Becherboden gepresst. Die Katode ist scheibenförmig und befindet sich über der Anode. Eine weitere Lithium-Flachzelle ist die sog. Li-Papierzelle, die nur 0,4 mm dick ist und in schekkartengroßen Karten mit batteriebetriebem Halbleiterchip und oft auch mit integriertem Display verwendet wird.

Wichtigste Sekundärelemente

Lange Jahre bildeten Nickel-Cadmium-Systeme den De-facto-Standard in den Haushalten. Ihr Nachteil war, neben der Giftigkeit des Materials Cadmium, der sog. Memory-Effekt (Bild 7). Dieser bewirkt, dass bei Nachladung einer z. B. nur halb entladenen NiCd-Zelle diese danach immer bei noch halber Ladung wie eine völlig leere reagiert – vollständige Entladung vor Wiederaufladung war unumgänglich. Heute sind NiCd-Systeme weitgehend durch solche auf Nickel-Metallhydrid-Basis (NiMH) ersetzt, in denen Cadmium vollständig durch ein Wasserstoff speicherndes Material (Hydrid) ersetzt wurde (s. Bild 8). Obwohl NiCd-Systeme sich durch sehr hohe Kapazitäten und eine hohe

Belastbarkeit auszeichnen, haben inzwischen NiMH-Akkus auch hier die besseren Eigenschaften. Statt des Memory-Effektes gibt es bei den Metallhydridsystemen aber den sog. Lazy-Battery-Effekt (Bild 9), der sich ähnlich auswirkt: Bei Dauerladungen oder Teilentladungen sinkt die Entladespannung, von Zeit zu Zeit sollte der Akku also komplett ent- und neu aufgeladen werden.

Für Einsatzzwecke, bei denen es auf hohe Energiedichten ankommt, sind Lithium-Ionen-Systeme (Li⁺) kaum noch wegzudenken (Bild 10), z. B. in Digitalkameras, Handys und tragbaren Computern. Sie sind nicht kompatibel zu NiMH-Akkumulatoren und erfordern eine spezielle Ladetechnik. In der positiven und in der negativen Elektrode werden Lithium-Ionen eingelagert, die beim Ladevorgang von einer Elektrode zur anderen wandern. Die erzielbare Energiedichte wird im wesentlichen durch das Katodenmaterial bestimmt: Mit Kobaltoxid werden max. 180 Wh/kg erreicht, mit Lithium-Nickel-Kobalt (LiNiCo) sogar 240 Wh/kg. Dank dieser Energiedichten können Li⁺-Akkumulatoren die größte Energie, bezogen auf Volumen oder Masse, speichern und abgeben. Die hohe Spannung von 3,6 V je Zelle gestattet, einzellige Systeme zu bauen, wie sie in vielen Mobiltelefonen verwendet werden. Zum Vergleich: Eine NiMH-Batterie benötigt für die Abgabe von 3,6 V drei in Reihe geschaltete 1,2-V-Zellen. Obendrein kennen Li⁺-Systeme keinen Memory- oder Lazy-Battery-Effekt.

Schließlich seien noch die Lithium-Polymer-Systeme erwähnt, in denen sich statt eines flüssigen organischen ein fester Polymerelektrolyt befindet, wodurch der Separator hinfällig wird (Bild 11). Der Elektrolyt ist nicht leitfähig, gestattet aber einen Ionenaustausch. Da diese Akkus mangels Flüssigkeit nicht auslaufen können, ist es möglich, für die Zellogehäuse solche aus Aluminium oder metallisierten Kunststoffen zu verwenden, die frei formbar sind, um z. B. auch Hohlräume zu nutzen. Das trockene Lithiumpolymer ist nur wenig leitfähig, so dass für moderne Kommunikationsgeräte die nö-

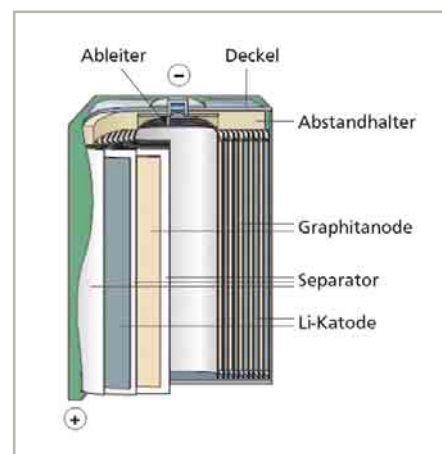


Bild 10: Prinzipieller Aufbau einer Li⁺-Zelle

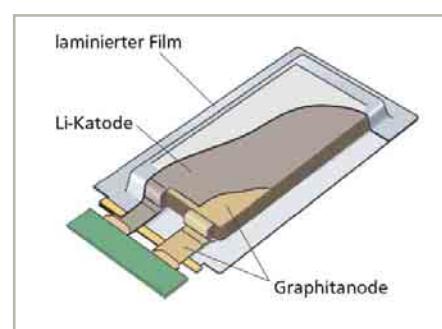


Bild 11: Prinzipieller Aufbau einer Li-Polymer-Zelle

tigen Spitzenströme nicht bereitgestellt werden können. Kommerziell für mobile Geräte verwendete Li-Polymer-Systeme enthalten daher Gel-Elektrolyte und werden als Li⁺-Polymer-Zellen bezeichnet. Der feste Elektrolyt ersetzt das poröse Trennelement.

Zusammengefasst

Das Angebot an Primär- und Sekundärzellen im Handel ist vielfältig und auch unübersichtlich. Dieser Beitrag soll ein Minimum an Grundwissen vermitteln, um Händler, aber auch deren Kunden zu befähigen, die richtige Batterie für die jeweils gewünschte Anwendung zu finden. Problematisch ist, dass selbst Markenhersteller markige, aber inhaltsleere Schlagworte auf ihren Batterieprodukten bevorzugen, statt so einfache Werte wie Nennkapazität oder Strombelastbarkeit anzugeben. Die Nennspannung bei Rundzellen (1,5 V) und der IEC-Schlüssel sind zwar wichtig, genügen allein jedoch nicht. Zusätzlich tummeln sich zahllose Billiganbieter mit Produkten aus Fernost auf dem Markt, deren Produktqualität aber oft enttäuscht. Grundsätzlich ist auch bei so einfachen Zubehörtiteln wie Batterien ein höherpreisiges Markenprodukt gegenüber einem billig erscheinenden zu bevorzugen: Wer billig kauft, kauft zweimal, und das ist teuer.

Wolfgang E. Schlegel

Tafel 3: Anwendungsfälle

	Merkmale	Anwendungen
Primärzellen		
Zink-Kohle	geringe Ansprüche	Taschenlampen, Fernbedienungen
Alkali-Mangan	hohe Lastströme	Audiogeräte, Kameras, Spiele
Lithium (3 V)	hohe Lastströme	Kameras mit Blitz, Datenspeicher
Sekundärzellen		
Nickel-Metallhydrid (1,2 V)	hohe Lastströme	DECT-Telefone, Handys, Camcorder
Li-Ionen (3,7 V)	hohe Lastströme,	Handys, Kameras, Camcorder, Palmtops
Li-Polymer (3,7 V)	hohe Energiedichte	