

Die Welt der Batterien

Funktion, Systeme, Entsorgung



Stiftung
Gemeinsames
Rücknahmesystem
Batterien

Inhalt

Vorwort		
Erster Teil	Die Entwicklung und die Funktion der Gerätebatterien	
	Anfänge	4
	Funktionsweise	5
	Unterschiede zwischen Primär- und Sekundärsystemen	5
	Bezeichnungen	8
Zweiter Teil	Die Technik und die Produktion der Primärbatterie-Systeme	
	Zink-Kohle	9
	Alkali-Mangan	10
	Zink-Luft	11
	Silberoxid	11
	Lithium-Mangandioxid	12
	Die Technik und die Produktion der Sekundärbatterie-Systeme	
	Nickel-Cadmium	14
	Blei	15
	Nickel-Metallhydrid	15
	Lithium-Ion	16
	Lithium-Polymer	17
Dritter Teil	Die Entsorgung	
	Batterieverordnung	18
	Stiftung GRS Batterien	18
	Sortierverfahren	19
	Verwertungsverfahren	20
Vierter Teil	Der Ausblick	
	Die Zukunft von heute, morgen und übermorgen	23
Fünfter Teil	Der Anhang	
	Glossar	25
	Abkürzungen	26
	Quellen	26
	Impressum	26

Vorwort

Mobile Energieträger nehmen zunehmend Einfluss auf unser modernes Leben. Das ist wohl einer der Gründe dafür, dass sich die Broschüre „Die Welt der Batterien“ einer über die Jahre hinweg steigenden Beliebtheit erfreut.

Auch Batterien und Akkus wurden und werden ständig an den Stand der Technik angepasst: elektronische Geräte fordern auch von der Stromversorgung immer öfter eine höhere Leistung bei gleichzeitig geringerem Gewicht. Das wird deutlich in den Verkaufszahlen der Systeme Alkali-Mangan oder Lithium.

Doch auch heute gibt es noch keine „Wunderbatterie“, die alle gewünschten Eigenschaften wie hohe Energiedichte, leichte Bauweise, sichere Handhabung und viele Tausend Ladezyklen in sich vereint. Aus diesem Grund wird es auch in Zukunft noch viele unterschiedliche Batterie-Systeme und -Typen geben, um den jeweiligen Anforderungen an den Betrieb eines Geräts zu genügen.

Auch das Thema „Verwertungsverfahren für Batterien“ hat einen höheren Stellenwert in dieser Broschüre erhalten, denn zwischenzeitlich werden mehr als 90 % der Batterien metallurgisch verwertet.

Um der stetigen Weiterentwicklung auf dem Gebiet der mobilen Stromversorgung gerecht zu werden, ist eine komplette Überarbeitung dieser Broschüre notwendig geworden.

Wir freuen uns, Ihnen nunmehr die 2., völlig neu überarbeitete Auflage der „Welt der Batterien“ präsentieren zu können.



Dr. Jürgen Fricke
Vorstandsvorsitzender GRS Batterien

Hamburg, im Dezember 2007

Erster Teil: Die Entwicklung und die Funktion der Gerätebatterien

Anfänge 1789

Die Geschichte der elektrochemischen Energiespeicher begann mit der naturwissenschaftlichen Untersuchung der Elektrizität. Namen wie Luigi Galvani (1737–1798) und Alessandro Volta (1745–1827) sind mit diesen Arbeiten verbunden und leben auch heute noch in Bezeichnungen wie „galvanische Zelle“ und „Volt“ fort. Galvani fiel 1789 bei Experimenten auf, dass Froschbeine zu zucken beginnen, wenn sie mit zwei verschiedenen Metallen in Berührung kommen. Er schloss daraus auf einen Zusammenhang zwischen Elektrizität und Muskeltätigkeit.

Zehn Jahre später baute Volta die erste einfache Batterie: Er schichtete Kupfer- und Zinkscheiben abwechselnd übereinander und legte zwischen die Scheiben jeweils ein in Salzlösung getränktes Stück Pappe. Diese „Volta'sche Säule“ lieferte Energie, wenn die Scheiben durch Draht verbunden wurden. Die Spannung ließ sich mit mehreren in Serie geschalteten Säulen noch erhöhen.

Johann Wilhelm Ritter (1776–1810), der mit Goethe auf dem Gebiet der Naturwissenschaften zusammenarbeitete, entwickelte 1802 eine Batterie, die sogenannte „Rittersche Säule“. Die Säule bestand aus übereinandergeschichteten und mit Tafelsalz (Natriumchlorid) getränkten Kupfer- und Kartonscheiben. Diese Vorrichtung konnte mit elektrischem Strom geladen werden und gab bei der Entladung den Strom wieder ab. Sie gilt als Urform des Akkumulators – der wiederaufladbaren Batterie.

An galvanischen Elementen wurde in den folgenden hundert Jahren sehr intensiv weitergearbeitet, sodass schon um die Wende vom 19. ins 20. Jahrhundert aus der nur stationär zu betreibenden Batterie ein recht brauchbares Trockenelement entstand. Entscheidende Beiträge zur Verbesserung haben hier der französische Ingenieur Georges Leclanché (1839–1882), der deutsche Arzt Dr. Carl Gassner (1855–1942) und Paul Schmidt (1868–1948) geleistet. So erfand Leclanché das auch heute noch weit verbreitete Braunstein-Zink-Element mit Salmiakelktrolyten, während es Gassner und Schmidt später gelang, den bis dahin noch flüssigen Elektrolyten einzudicken und damit die Grundlage für eine transportable Batterie zu schaffen.

Geschichte der Batterieentwicklung

1600	Gilbert (England)	Beginn der elektrochemischen Untersuchungen
1789	Galvani (Italien)	Entdeckung von Elektrizität bei Tieren/ Frosch-Experiment
1800	Volta (Italien)	Entdeckung der Volta-Zelle/„Volta'sche Säule“
1802	Cruikshank (England)	Erste elektrische Batterie für Massenproduktion
1802	Ritter (Deutschland)	Erster Akkumulator „Rittersche Säule“
1820	Ampère (Frankreich)	Elektrizität durch Magnetfelder
1833	Faraday (England)	Bekanntgabe des Gesetzes von Faraday
1836	Daniell (England)	Entdeckung des „Daniell-Elements“/Galvanische Zelle
1859	Planté (Frankreich)	Erfindung der Blei-Säure-Batterie
1860	Leclanché (Frankreich)	Erfindung der „Leclanché-Zelle“ Braunstein-Zink-Element
1888	Gassner / Schmidt (Deutschland)	Erfindung von Trockenzellen
1899	Jungner (Schweden)	Erfindung der Nickel-Cadmium-Batterie
1901	Edison (USA)	Erfindung der Nickel-Metallhydrid-Batterie
1932	Schlecht & Ackermann (Deutschland)	Erfindung der gesinterten Elektroden
1947	Neumann (Frankreich)	Erfolgreiches Versiegeln der Nickel-Cadmium-Batterie
1960	Union Carbide (USA)	Entwicklung der Alkali-Mangan-Batterie
1970		Entwicklung der ventilregulierten Blei-Säure-Batterie
1990		Kommerzialisierung von Nickel-Metallhydrid-Batterien (z. B. für Fahrzeuge)
1992	Kordesh (Kanada)	Kommerzialisierung von wiederaufladbaren Alkali-Mangan-Batterien
1999		Kommerzialisierung von Lithium-Ion-Polymer-Batterien
2002		Begrenzte Herstellung von Brennstoff-Zellen (PEM, für Gerätebatterien und Fahrzeuge)
2006		Erster MP3-Player mit „Bakterien-Batterie“ (noch nicht kommerziell nutzbar)
2007		Erste „Papierbatterie“ (noch nicht kommerziell nutzbar)

Das Prinzip der chemischen Speicherung elektrischer Energie ist möglicherweise sehr viel älter: Bereits die Parther (ca. 250 v.Ch.) nutzten Tongefäße, in denen ein Kupferblech und ein Eisenstab steckten. Dies wird als Beweis dafür gesehen, dass die Menschen auch zu dieser Zeit bereits die Galvanisierung beherrschten. Den Ägyptern wird nachgesagt, sie hätten schon vor über 4300 Jahren mit Antimon galvanisierte Kupferplatten hergestellt.

Funktionsweise

Das Prinzip einer Batterie oder eines Akkumulators lässt sich mit zwei Wasserbehältern, die auf verschiedenen Höhen stehen, darstellen. Wird Wasser in den oberen Behälter gefüllt und werden beide Behälter mit einer Wasserleitung verbunden, kann durch den Wasserfluss ein Rad betrieben werden. Ist der obere Behälter leer, kann entweder neues Wasser eingefüllt oder aber das Wasser vom unteren in den oberen Behälter gefüllt werden. Letztlich funktioniert eine Batterie genauso wie diese beiden Wasserbehälter.

In einer Batterie werden die Behälter Elektroden genannt, und zwischen den Elektroden fließt kein Wasser, sondern Elektronen. Die Elektronen sind in den Elektroden „gespeichert“ und betreiben dann kein Wasserrad, sondern eben ein Handy oder einen MP3-Player. Batterien und Akkumulatoren unterscheiden sich dadurch, dass, wenn die Elektrode (oberer Behälter) leer ist, entweder eine neue Batterie eingesetzt wird (neues Wasser einfüllen) oder ein Akkumulator wieder geladen wird (das Wasser vom unteren Behälter wird in den oberen gefüllt). Je höher der eine Behälter steht und je steiler das Wasserrohr ist, desto schneller dreht sich das Wasserrad.



Als Urform des Akkumulators gilt die sogenannte „Rittersche Säule“, die Ritter 1802 entwickelte.

Im Fall der Batterie werden die Höhe Spannung und der Wasserfluss Strom genannt. Je höher die Spannung (je höher der Wasserbehälter steht), desto mehr Arbeit kann die Batterie oder der Akku (bei gleich großen Wasserbehältern) liefern. Je größer die Wasserbehälter sind, desto länger kann das Wasserrad gedreht werden. Im Fall der Batterie wird die Größe des Wasserbehälters als Kapazität bezeichnet. Sie gibt an, wie viele Elektronen in den Elektroden gespeichert werden können. Also: Je höher die Kapazität, desto länger läuft der MP3-Player.

Bei der Batterie sollte man statt von Strom besser von elektrischer Leistung sprechen, da der Strom stets von einer Spannung begleitet wird und Strom multipliziert mit Spannung Leistung ist. Leistung multipliziert mit Zeit ist Energie. Die Batterie ist ein elektrochemischer Energiewandler, der gespeicherte chemische Energie auf direktem Wege in elektrische Energie umwandeln kann. Bildlich gesprochen bietet der Minuspol die Elektronen in großer Stückzahl und mit „hohem“ Druck an, und der Pluspol „saugt“ die Elektronen wieder ab. Der „Druckunterschied“ entspricht der Spannung der Batterie; die pro Zeiteinheit fließende Menge der Elektronen ist der Strom.

Die Leistungsfähigkeit einer Batterie wird durch die Spannung in Volt (bestimmt durch die chemische Zusammensetzung einer Batterie) und die Kapazität in Amperestunden (bestimmt durch die Menge des aktiven Materials) definiert.

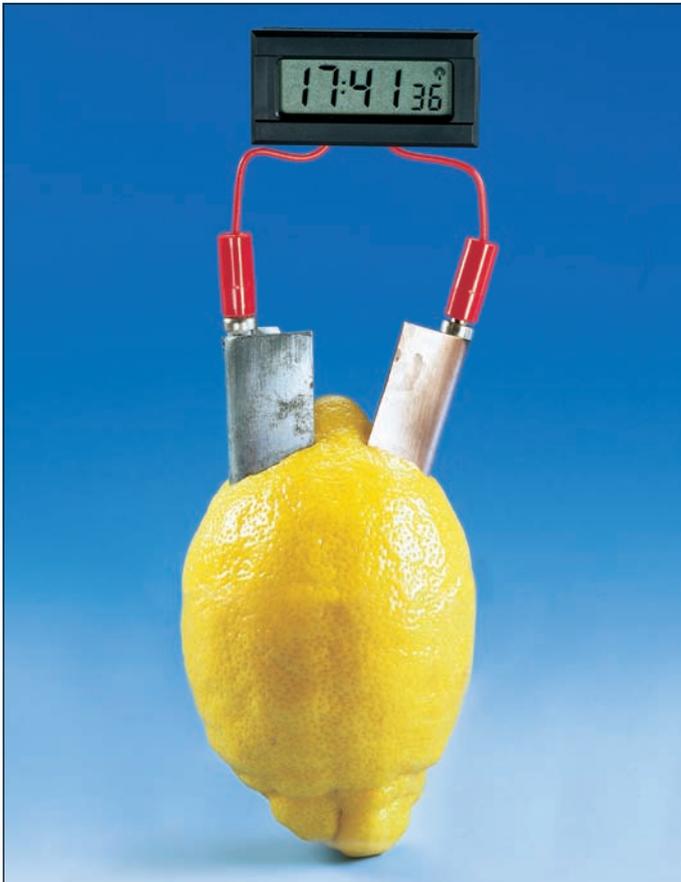
Ein MP3-Player braucht mehr Energie pro Zeiteinheit als eine Uhr. Das macht bei gleicher Leistungsfähigkeit unterschiedliche Bauformen notwendig.

Unterschiede zwischen Primär- und Sekundärsystemen

Der Strom hört in den Polen natürlich nicht auf. In der Batterie gibt es immer einen vollständigen Stromkreis in dem der Strom als Ionenstrom in der Elektrolytflüssigkeit von einer Elektrode zur anderen „fließt“. Hier laufen die dazugehörigen elektrochemischen Reaktionen ab: Verschiedene Elektrodenmaterialien geben die Elektronen ab (Minuspol), andere „saugen“ sie wieder auf (Pluspol). Für Taschenlampen oder Fernbedienungen werden meistens Braunstein-Zink-Batterien benutzt. Hier gibt es die Varianten „Zink-Kohle“ und „Alkali-Mangan“, auch „Alkaline“ genannt. Bei beiden versorgt Zink den Minuspol mit Elektronen, weil das Zink seine Elektronen so schnell wie möglich abgeben möchte. Der Pluspol besteht aus Braunstein, der diese Elektronen dann wieder aufnimmt.

Diese Elektrodenmaterialien heißen „aktive Massen“ und dürfen sich in der Batterie nicht berühren, sonst entsteht ein Kurzschluss und die Batterie entlädt sich von selbst. Deshalb trennt ein Separator die aktiven Massen. Dieser besteht aus einer Art Papier, das mit Elektrolytflüssigkeit getränkt ist, und durch seine Poren fließen die Ionen vom Braunstein zum Zink – so schließt sich dann der Stromkreis.

Bei wiederaufladbaren Batterien (auch Sekundärbatterien, Akkumulatoren oder kurz Akkus genannt) lässt sich die verbrauchte chemische Energie durch einen Aufladevorgang wiederherstellen. Dafür pumpt das Ladegerät die Elektronen vom Pluspol zum Minuspol zurück,



Wenn man einen Kupferblech- und einen Zinkblechstreifen in eine Zitrone steckt, ohne dass die Bleche sich berühren, kann man zwischen den beiden Blechen eine Spannung von ungefähr 1 V messen. Diese Spannung reicht zum Betrieb einer elektrischen Uhr aus. Die beiden Metallstreifen werden Elektroden genannt. An ihnen laufen Reaktionen ab, bei denen Energie nicht als Wärme oder Licht, sondern in Form von elektrischer Energie abgegeben wird.

Die Zitrone kann man zum Beispiel durch eine Kochsalz- oder eine andere leitfähige Lösung ersetzen. Man kann also immer dann eine Spannung messen, wenn man zwei unterschiedliche Metalle in eine leitfähige Lösung eintaucht.

Die Zitronenbatterie zeigt, dass bei chemischen Reaktionen Elektrizität entstehen kann. Ohne solche elektrochemischen Vorgänge gäbe es keine Batterien und Akkumulatoren.

wobei die dazugehörigen entladenen Elektrodenmassen wieder aufgeladen und damit reaktiviert werden. Der Entlade-/Ladevorgang lässt sich bis zu tausendmal wiederholen. Primärbatterien sind dagegen nur einmal entladbar.

Die Zitronenbatterie zeigt, dass bei chemischen Reaktionen Elektrizität entstehen kann. Ohne solche elektrochemischen Vorgänge gäbe es keine Batterien und Akkumulatoren.

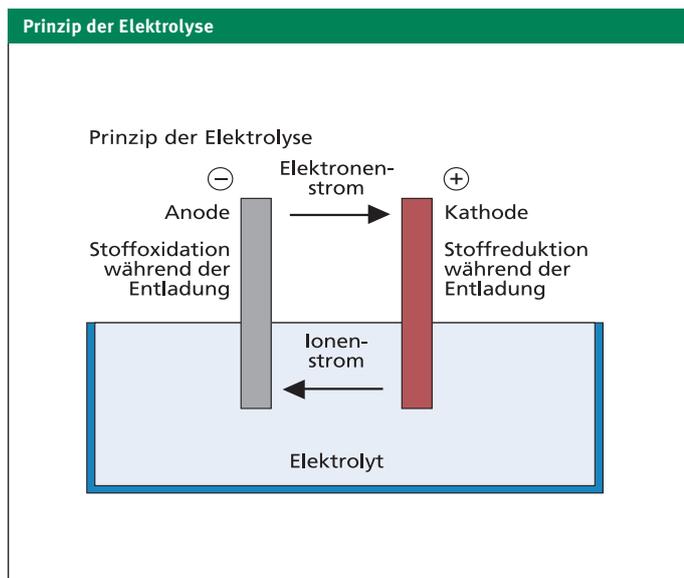
Deutliche Unterschiede zwischen Primär- und Sekundärsystemen bestehen bei der spezifischen, speicherbaren Energie und Belastbarkeit sowie der Selbstentladung. So ist beispielsweise die gewichts- und volumenbezogene Energiedichte von Primärbatterien in der Regel deutlich größer als die von Sekundärbatterien. Energiedichte ist die in einer Batterie oder Zelle gespeicherte Energie. Sie wird entweder zur Masse (spezifische Energie – Wattstunden pro Gramm) oder zum Volumen (Energiedichte – Wattstunden pro Kubikzentimeter) in Beziehung gesetzt.

Bei der Belastbarkeit ist die Reihenfolge genau umgekehrt: Hier weisen wiederaufladbare Systeme bessere Werte auf. Eine Ausnahme unter den wiederaufladbaren Systemen bezüglich ihres Energieinhalts bilden Lithium-Ion-Batterien. Diese können von allen Akku-Systemen pro Volumen oder Gewicht am meisten Energie speichern, und das für viele Male (Entladungen/Ladungen). Den höchsten Energieinhalt von allen elektrochemischen Systemen bietet die alkalische Zink-Luft-Primärzelle. Ist das Gerät ausgeschaltet, ruht auch die Batterie, und die Prozesse der Entladung kommen zum Erliegen. Die positive Elektrode und die negative Elektrode stellen unter dieser Bedingung ihr elektrochemisches Gleichgewicht ein. Dieses ist für ein gegebenes System mit einer bestimmten Spannung verbunden (zum Beispiel Zink-Kohle 1,5 V pro Zelle, Bleibatterie 2 V pro Zelle).

In der Praxis laufen unter dieser Bedingung noch Selbstentladungsvorgänge ab, die – je nach System – von unterschiedlich großem Einfluss sind. Die Selbstentladung ist ein temperaturabhängiger Reaktionsprozess an den Elektroden der Zelle und unabhängig vom Verbraucher. Sie ist bei Primärbatterien sehr klein, im Gegensatz zu wiederaufladbaren Systemen. Hier kann es Boten-Ionen geben, die eine Selbstentladung fördern, wie etwa bei Nickel-Cadmium (NiCd)- und Nickel-Metallhydrid (NiMH)-Akkumulatoren. Diese Boten-Ionen wandern zwischen den Elektroden hin und her und transportieren dabei Ladungen (der Fachmann spricht von einem sogenannten Redoxsystem). Bei den Systemen NiCd und NiMH kommt hinzu, dass ihre Nickel-(hydroxid-) Elektrode nicht lagerstabil ist. Eine Selbstentladung von bis zu 30 Prozent pro Monat ist bei diesen Systemen „normal“. Derartige Standardakkus sind also

nach rund drei Monaten „leer“. Aus diesem Grund ist es nicht ratsam, Taschenlampen oder Warnleuchten mit Standardakkus zu bestücken. Werden diese dann irgendwann gebraucht, sind die Batterien garantiert entladen. Für diese Zwecke empfehlen sich Primärbatterien der Systeme Zink-Kohle oder Alkali-Mangan.

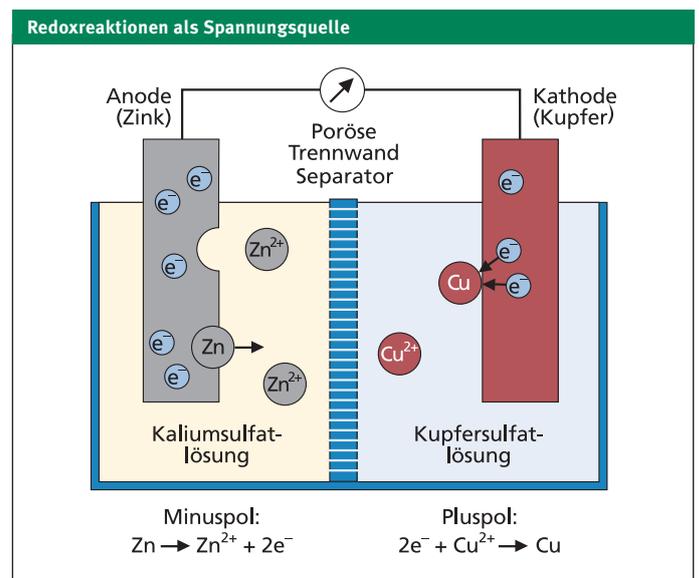
Seit einigen Jahren sind aber auch weiterentwickelte NiMH verfügbar, die als „low self discharge“ oder „ready to use“ vermarktet werden. Diese Akkus sind nach rund einem Jahr Lagerung noch immer zu circa 75 % „voll“. Der Grad der Selbstentladung ist also bei Akkus deutlich höher als bei Primärbatterien. Eine Ausnahme sind auch hier die Lithium-Ion- und Lithium-Polymer-Batterien. Ihre Stärke ist eine geringere Selbstentladung bei gleichzeitig hohem Energieinhalt und hoher Belastbarkeit.



Bei Primärbatterien ist die elektrochemische Selbstentladung nicht nennenswert. Sie liegt bei Raumtemperatur deutlich unter zwei Prozent pro Jahr.

Parallel wirken jedoch noch Vorgänge, die ihren inneren Widerstand während der Lagerung erhöhen. Diese Vorgänge sind mit einer Abnahme ihrer Belastbarkeit verbunden.

Bemerkbar macht sich der Verlust an nutzbarer Energie nur bei hohen Belastungen (Motor-Anwendung, Blitzlicht) – dieser Effekt hat jedoch nichts mit der elektrochemischen Selbstentladung zu tun. Bei niedrigen Entladeströmen ist der während der Lagerung gestiegene innere Widerstand nicht feststellbar.



Wird der Batterie elektrische Energie entnommen, geben die Zink-Atome (Minuspol) Elektronen ab (Oxidation) und gehen als Zink-Ionen in Lösung. Die Elektronen fließen über einen äußeren Leiter zum Verbraucher (beispielsweise eine Taschenlampe) und dann zum Pluspol der Batterie. Dort nehmen die Kupfer-Ionen die Elektronen auf (Reduktion). Diese Elektronenübertragung heißt in der Fachsprache Redoxreaktion. Der Stromkreis wird durch die Wanderung von Ionen zwischen den Elektroden durch den Elektrolyten geschlossen (Ionenstrom). Dieser Elektronenaustausch zwischen geeigneten Reaktionspartnern ist somit die Ursache der elektrischen Spannung in Batterien. An der Kathode findet also eine Reduktion und an der Anode eine Oxidation statt.

Kurzcharakteristika und Anwendungsbeispiele gebräuchlichster Batterie-Systeme							
Typ	Zink-Kohle	Alkali-Mangan	Silberoxid	Lithium	Nickel-Metallhydrid	Nickel-Cadmium-Akku	Lithium-Ion
Spannung	1,5 V	1,5 V	1,55 V	3 V	1,2 V	1,2 V	3,6 V
Minuspol Anode	Zink	Zink	Zink	Lithium	wasserspeichernde Metalllegierung	Cadmium	Lithium-Kobalt-Verbindungen
Pluspol Kathode	Mangandioxid	Mangandioxid	Silberoxid	Mangandioxid	Nickelhydroxid	Nickelhydroxid	Graphit
Elektrolyt	Salmiak- oder Zinkchlorid	Kalilauge	Kalilauge	Lithiumverbindung in org. Lösungsmittel	Kalilauge	Kalilauge	Lithiumverbindungen in org. Lösungsmitteln
Eigenschaften	Spannung sinkt bei der Entladung deutlich ab, preiswert	auslaufsicher, hohe Leistung, langlebig	Spannung bleibt lange konstant, sehr langlebig	sehr lange lagerfähig, Spannung bleibt sehr lange konstant	hohe Belastbarkeit, wiederaufladbar	wiederaufladbar, preiswert	Hohe Belastbarkeit, hohe Energiedichte, wiederaufladbar
Verwendung	Taschenlampen, Uhren	Radios, Kameras, Spielzeug	Armbanduhren, Rechner, Kameras	Fernbedienungen, Rechner, Back-up-Systeme	schnurlose Telefone, Digitalkameras, Rasierer	Videokameras, Werkzeuge	Handys, Laptops, Digitalkameras

Bezeichnungen

Die kleinste elektrochemische Einheit einer Batterie heißt Zelle. Sie besitzt noch kein gebrauchsfertiges Gehäuse, keine anschluss-sicheren Kontakte und ist in der Regel durch Löt- oder Schweißkontakte mit der Nachbarzelle innerhalb der Batterie verbunden.

Eine Batterie ist an einem gebrauchsfertigen Gehäuse zu erkennen. Sie verfügt über anschluss-sichere Kontakte und ist gekennzeichnet mit Hersteller- und Typangabe, Batteriespannung und weiteren Angaben.

Dabei ist die zylindrische Zelle noch immer die am weitesten verbreitete Bauform. Sie ist einfach zu produzieren, gestattet die größte Energiedichte und ist mechanisch sehr stabil. Der Zylinder weist die Fähigkeit auf, innerem Druck sehr gut zu widerstehen. Weitere Standardformen sind Knopfzellen, Rundzellen, prismatische Zellen oder die flexible Folienzelle.

Allgemeine Bezeichnung (Typ)	IEC-Bezeichnung	ANSI-Norm	JIS-Norm	Durchschnittsgewichte in g	Maße in mm
	AlMn/ZnC	AlMn/ZnC	AlMn/ZnC	AlMn/ZnC	
Micro	LR 3/R 3	AAA	AM4 /UM4	11/9	Ø 10,5 x 44,5
Mignon	LR 6 R 6	AA	AM3 /UM3	23/17	Ø 14,5 x 50,5
Baby	LR 14/R 14	C	AM2 /UM2	69/46	Ø 26,2 x 50,0
Mono	LR 20/R 20	D	AM1/UM1	141/95	Ø 34,2 x 61,5
9 V Block	6 LR 61/6 F 22	1604 D	6AM6/006P	46/37	26,5 x 17,5 x 48,5

Zweiter Teil: Die Technik und die Produktion der Primärbatterie-Systeme

Zink-Kohle Zn/C

1860 erfand der französische Ingenieur Georges Leclanché (1839–1882) das Braunstein-Zink-Element mit Salmiakelktrolyten. Von dem nach ihm benannten galvanischen Element werden noch heute weltweit pro Jahr mehrere Milliarden Stück hergestellt. Die klassische Zink-Kohle-Batterie ist nach wie vor eine günstige Alternative zu Alkali-Mangan-Batterien oder wiederaufladbaren Batterie-Systemen. Steigende Ansprüche an Kapazität und Leistung verdrängen jedoch inzwischen langsam diesen Batterie-Typ.

Das Zink-Kohle-Element müsste eigentlich „Braunstein-Zink-System mit Salmiak- beziehungsweise mit Zinkchlorid-Elektrolyten“ heißen. Stattdessen bezieht man sich in der Bezeichnung auf die Ableiter Kohle (für die positive Elektrode, Kathode) und Zink (für die negative Elektrode, Anode). Aus Zink bestehen gleichzeitig das negative Elektrodenmaterial und das Zellengefäß.

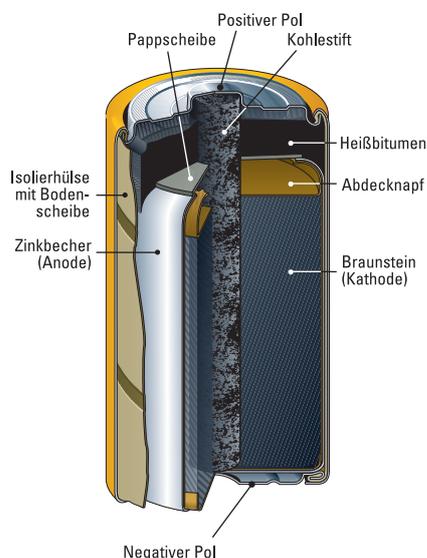
Die positive Elektrode besteht aus einer Braunsteinmasse mit einem zentral angeordneten Kohlestift als Ableiter. Als Elektrolyt dient – je nach System – eine Salmiak- oder eine Zinkchloridlösung. Das höherwertige System ist das Zinkchlorid-System.



Zink-Kohle/ Zn/C

Der Anwendungsbereich der Zink-Kohle-Batterien erstreckt sich hauptsächlich auf Geräte, die keine hohen Anforderungen an die Dauerleistung einer Batterie stellen, zum Beispiel Wecker, Fernbedienungen für den Fernseher oder Taschenrechner. Da immer mehr Geräte leistungsfähigere Batterien zum Betrieb benötigen, werden diese Batterien zunehmend von dem System Alkali-Mangan verdrängt. Auch wenn der Absatz von Zink-Kohle-Batterien rückläufig ist, gibt es doch noch einen bedeutenden Anteil im Abfallstrom. Fast alle Zink-Kohle-Batterien werden in den fünf Standardgrößen hergestellt, die sich im Abfallstrom wie folgt verteilen: 2 % AAA, 40 % AA, 24 % C, 28 % D und 6 % 9 V-Blocks.

Zink-Kohle/ Zn/C



Alkali-Mangan $AlMn$

Schon seit dem Zweiten Weltkrieg ist bekannt, dass sich bei Batterie-Systemen mit alkalischem Elektrolyt relativ hohe Energiedichten bei relativ hoher Belastbarkeit realisieren lassen. Damals versuchten Entwickler in den USA, eine Braunstein-Zink-Zelle mit alkalischem Elektrolyt zu bauen. Dieser Zellentyp war zuerst nur für den militärischen Bereich gedacht. Anfang der 70er-Jahre fand er erst einen geringen Verbreitungsgrad im zivilen Markt.

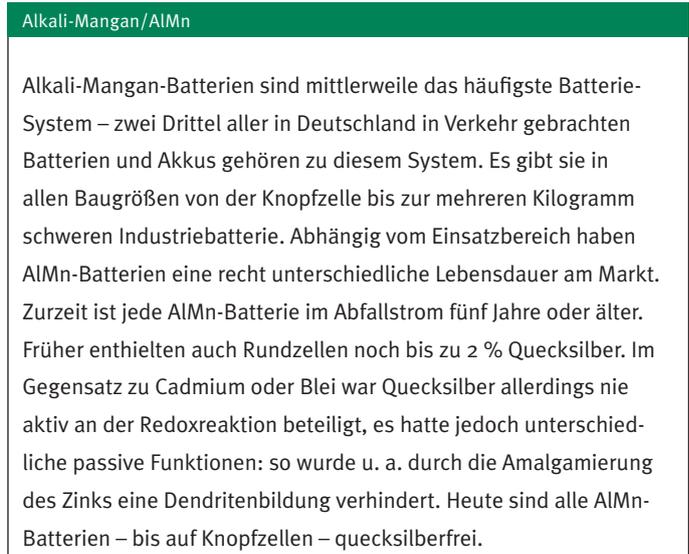
Dieses Bild hat sich inzwischen vollständig gewandelt: Seit Mitte der 80er-Jahre haben die Absätze der alkalischen Rundzellen die der Zink-Kohle-Zellen in Europa übertroffen.

Die Alkali-Mangan-Batterie müsste richtiger als „Braunstein-Zink-Element mit alkalischem Elektrolyt“ bezeichnet werden, da weder Alkalien noch Mangan ihre aktiven Materialien darstellen. Bei diesem System besteht die Kathode aus einer Mischung von Mangandioxid und Graphit und die Anode aus Zinkpulver. Kathode, Separator und Anode sind mit der als Elektrolyt dienenden Kalilauge getränkt.



Viele netzunabhängige Geräte wie MP3-Player, Organizer (PDA) und digitale Fotoapparate verlangen heute nach hochwertigen Batterien mit besonders großen Stromreserven. Für Hochstromanwendungen sind heute verbesserte Alkali-Mangan-Batterien erhältlich.

Die verstärkte Kraft kommt durch mehr aktive Masse einer dickeren Kathode in einem größeren Zellinnen-Volumen und einem verbesserten Elektrolyten mit hoher Leitfähigkeit. Diese verbesserten Alkali-Mangan-Batterien leisten bis zu 15-mal mehr als vergleichbare Zink-Kohle-Batterien.

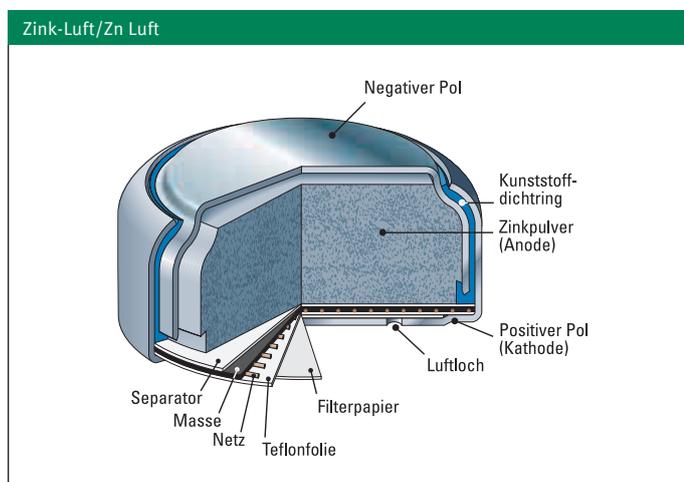


Zink-Luft ZnLuft

In Batterien dieses Typs reagiert Luftsauerstoff zusammen mit einer katalytischen Kathode und einer Zink-Anode. Da die Kathode (positiver Pol) sehr dünn ist, steht dem Anodenmaterial (Zinkpulver) sehr viel Platz zur Verfügung. Dadurch erreichen die alkalischen Zink-Luft-Zellen von allen elektrochemischen Systemen die höchste Energiedichte und die höchste spezifische Energie und Kapazität. Ein typisches Einsatzgebiet sind Hörgeräte.

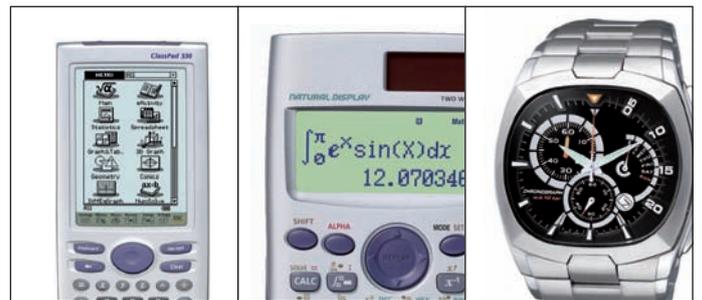


Sie erfordern kleinste Abmessungen, hohe Kapazitäten und eine flache Entladungskurve. Zink-Luft-Systeme sind im aktivierten Zustand (Klebefolie abgezogen, Luftöffnungen frei) nur begrenzt lagerfähig. Daher ist es erforderlich, sie bis zum Gebrauch luftdicht verschlossen zu halten. Nach Abziehen der Folie sollte die Zelle in einem Zeitraum von maximal 500 Stunden entladen werden. Dieses gilt insbesondere bei ihrem Betrieb in trockener Atmosphäre (beheizte Räume), da sie hier relativ schnell austrocknen können. Im versiegelten Zustand sind Zink-Luft-Batterien nahezu unbegrenzt lagerfähig.

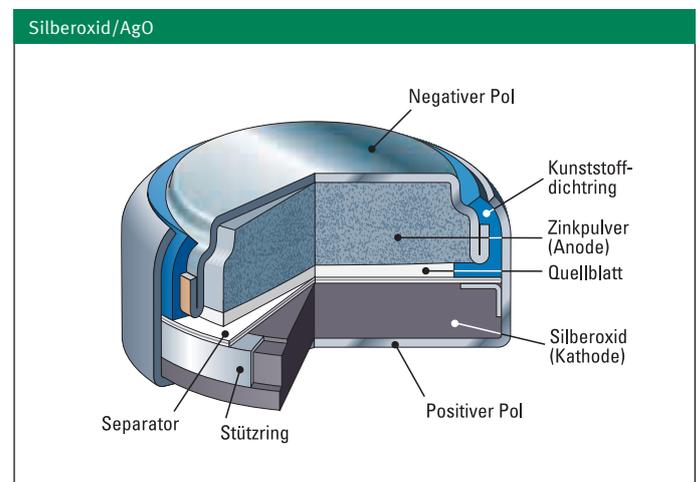


Silberoxid AgO

Dieses System wird überwiegend als Knopfzelle bis zu den kleinsten Abmessungen gefertigt. Es ähnelt im Aufbau den Alkali-Mangan-Zellen. Anstelle von Braunstein dient Silberoxid in Tablettenform als Kathodenmaterial. Die Anode besteht aus Zinkpulver.



Batterien dieser Art benötigen sehr teure Rohstoffe. Ihr Einsatz ist daher auf Anwendungen beschränkt geblieben, die auf kleinstem Raum eine Batterie mit hohem Energieinhalt und hoher Belastbarkeit benötigen.



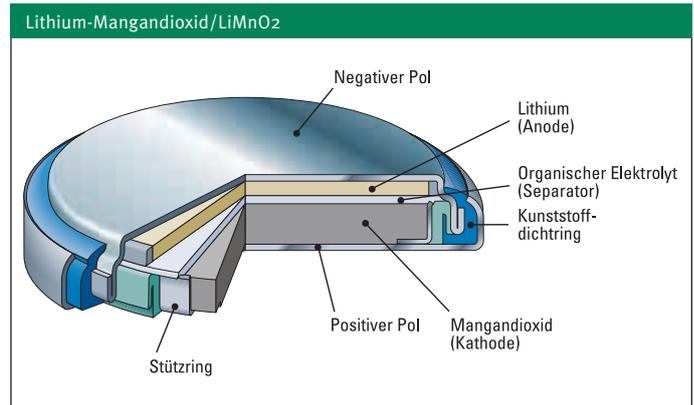
LiMnO₂

Lithium-Mangandioxid

Die Forscher und Entwickler haben im letzten Jahrhundert nahezu alle denkbaren Elektrodenkombinationen und Elektrolyte untersucht. Ein ganz besonderes Interesse galt dem Lithium zum Einsatz als negative Elektrode. Lithium ist ein Leichtmetall mit einer hohen spezifischen Kapazität (3,86 Ah/g) und einzigartigen elektrochemischen Eigenschaften. Von Anfang an standen die Entwickler jedoch vor Herausforderungen: Es galt, eine geeignete positive Elektrode zur negativen Lithium-Elektrode zu finden. Außerdem ist der Umgang mit Lithium schwierig. Es reagiert mit feuchter Luft und besonders intensiv mit Wasser. Schon bei 180 °C schmilzt es.

Aufgrund der heftigen Reaktionsfähigkeit des Lithiums mit Wasser werden in den Zellen nur wasserfreie Materialien verwendet. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Batterie-Systemen kommen auch nur wasserfreie Elektrolyte zum Einsatz. Sie bestehen vielfach aus organischen und anorganischen Lösungsmitteln. Zusätze bestimmter Salze fördern die Leitfähigkeit.

Es gibt mehrere Typen und ein breites Größensystem von Lithium-Primärbatterien. Sie unterscheiden sich durch die Zusammensetzung des Elektrolyts und des aktiven Materials der positiven Elektrode, also des sich beim Entladen reduzierenden Teils. Dieses Material kann flüssig sein oder fest wie bei den Lithium-Mangandioxid-Zellen. Bei diesen Zellen besteht die negative Elektrode aus Lithium und die positive Elektrode aus Mangandioxid. Das System Lithium-Mangandioxid ist am weitesten verbreitet. Zu den Vorteilen der Lithium-Zellen zählen



hohe Spannungslage, hohe Energiedichte, flache Entladungskurven, sehr gutes Lagerverhalten und ein weit nutzbarer Temperaturbereich. Sie sind zudem in allen Bauformen erhältlich. Aufgrund der geringen Selbstentladung eignen sich Lithium-Batterien für Langzeitanwendungen in der Elektronik, Telekommunikation und im Messwesen. Darüber hinaus kommen sie häufig für Fotoanwendungen zum Einsatz. Mit ihrer Energie funktionieren bei modernen Fotoapparaten der automatische Filmtransport, die Belichtungskontrolle oder das Blitzlicht.

Eine weitere Entwicklung ist die dünne Lithium-Flachzelle, auch Lithium-Papierzelle genannt. Diese Batterie misst weniger als 0,4 Millimeter und passt perfekt in scheckkartengroße, intelligente Smartcards. Das sind aktive Karten mit batteriebetriebenen Mikrochip sowie integriertem Display.



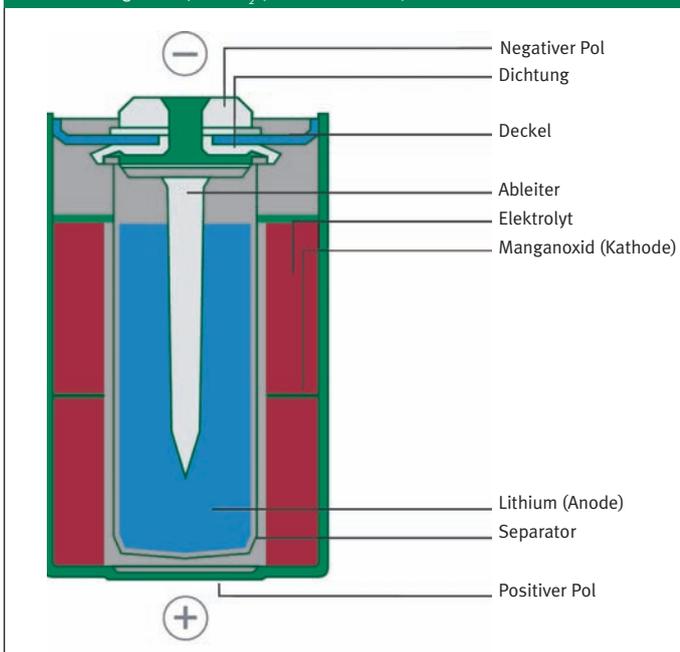
Ohne Batterie in der Karte sind die sogenannten Transponderfunktionen über größere Entfernungen nicht möglich. Die Bezeichnung Transponder setzt sich zusammen aus Transmitter (Sender) und Responder (Beantworter). Smartcards öffnen nicht nur Türen, sie können den gesamten Zahlungsverkehr abwickeln. Egal, ob Fahrscheine im Personennahverkehr, Flugtickets, Autobahn- oder Parkgebühren bezahlt werden müssen, ob beim Einchecken auf dem Flughafen oder im Hotel: Die „smarte Karte“ übernimmt für ihren Besitzer all diese Verpflichtungen. Die neue Flachzelle ist auch ideal geeignet für andere Anwendungen, bei denen sehr niedrige Bauhöhen flache Batterien erfordern.

Zunehmend erhalten auch andere Lithium-Systeme Eingang in den Verbrauchermarkt. Durch die Verbindung von Lithium und Elektrolyten mit niedrigem Gefrierpunkt – wie z. B. nicht entflammables Thionylchlorid (SOCl_2) – entstehen Batterien mit hoher Energiedichte, geringem Gewicht und niedriger Selbstentladung, die selbst unter extremen Bedingungen einsatzfähig sind. Je nach Zellentyp und Bauweise kommen die LiSOCl_2 -Zellen als Energiequelle für sehr unterschiedliche Anwendungen zum Einsatz, wie z. B. Back-up-Systeme, Verbrauchszähler oder Sicherheits-, Alarm- und Ortungssysteme.

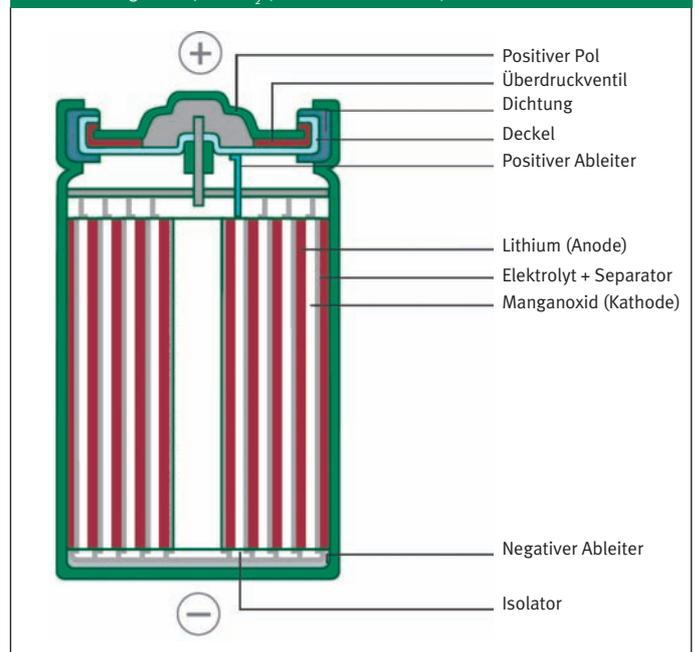
Lithium/Li

Lithium-Primärbatterien gibt es in unterschiedlichen Bauweisen. Bei der Bobbin-Konstruktion hat die Kathode eine zylindrische Form. Die Anode ist innen auf die Gehäusewand aufgewalzt. Dadurch ergeben sich einige Vorteile für die Sicherheit, da bei unbeabsichtigtem Kurzschluss die Ströme nicht sehr hoch werden. Die Wärme, die hauptsächlich an der Berührungsfläche zwischen Anode und Kathode gebildet wird, kann nach außen abgeführt werden. Das führt dazu, dass die Batterien auch ohne Sollbruchstelle keinen Überdruck aufbauen können. Bei der Flachzellenbauweise wird die Anode an den Becherboden gepresst. Die Kathode hat die Form einer Scheibe und befindet sich, durch den Separator getrennt, über der Anode. Diese Bauweise hat dieselben Vorteile im Hinblick auf die konstruktive Sicherheit wie die Bobbin-Bauweise. Bis auf das Dichtungssystem (gebördelte Kunststoffdichtung) sind Lithium-Knopfzellen ähnlich aufgebaut.

Lithium-Manganoxid/ LiMnO_2 (Bobbinbauweise)



Lithium-Manganoxid/ LiMnO_2 (Flachzellenbauweise)



Die Technik und die Produktion der Sekundärbatterie-Systeme

Nickel-Cadmium NiCd

Die aktiven Komponenten von NiCd-Akkumulatoren sind im geladenen Zustand Nickelhydroxid in der positiven Elektrode und Cadmium in der negativen Elektrode. Der Elektrolyt besteht aus Kaliumhydroxid. Die Vorteile dieses Batterie-Systems, auch gegenüber neueren Akku-Systemen, sind hohe Belastbarkeit, Schnellladefähigkeit und Kältefestigkeit bis minus 15 °C. Deshalb sind NiCd-Akkus in schnurlosen Werkzeugen immer noch sehr verbreitet. Für andere Anwendungen, wie zum Beispiel bei schnurlosen Telefonen, wird dieses System wegen des hohen Cadmiumgehalts nicht mehr verwendet und durch NiMH-Akkus ersetzt. Ein weiterer Nachteil ist der relativ geringe Energieinhalt gegenüber alkalischen und Lithium-Primärsystemen. Außerdem kann es zum Memory-Effekt kommen.

Der klassische Memory-Effekt hat mit den Eigenschaften der negativen Cadmium-Elektrode zu tun, tritt also nur bei Nickel-Cadmium-Akkus auf. Er ist ein Phänomen, das die Akkus bei falscher Handhabung schnell außer Gefecht setzen kann. Die technische Erklärung ist, dass bei einer Dauerladung mit niedrigen Strömen oder bei Aufladung vor der vollständigen Entladung an der negativen Elektrode bestimmte metallische Kristalle entstehen. Dadurch verringert sich die verfügbare

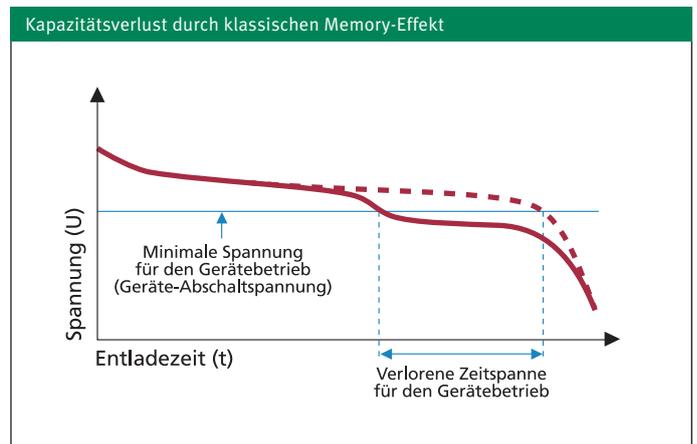
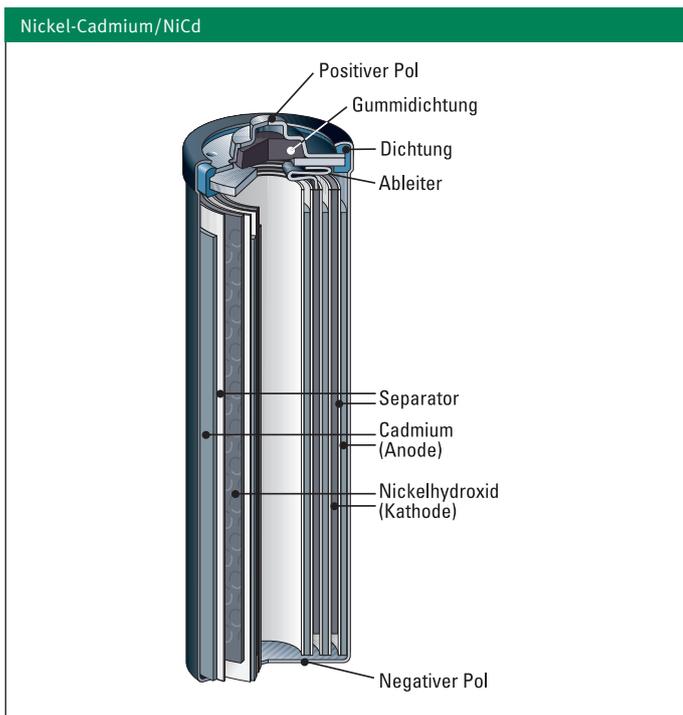


Kapazität der negativen Elektrode bei gegebener Belastung immer mehr, sodass der Akku nur noch wenige Minuten die nötige Spannung liefert. Jetzt empfiehlt sich, auf keinen Fall vorsorglich nachzuladen, sondern den Energiespeicher so weit zu entleeren, bis das Gerät nicht mehr funktioniert. Dann ist die sogenannte Geräte-Abschaltspannung erreicht und der Ladevorgang kann beginnen.

Ein Akku kann auf einfache Weise entladen werden, indem man das Gerät so lange betreibt, bis dieses nicht mehr genügend Spannung erhält. Besser ist es jedoch, ein Ladegerät mit Entladefunktion zu

verwenden. Ist ein NiCd-Akku einmal durch den klassischen Memory-Effekt lahmgelegt, kann er durch vollständige Entladung mit einem speziellen Refreshing-Gerät wieder reaktiviert werden. Der klassische Memory-Effekt ist also reversibel.

Moderne Ladegeräte vermeiden den Memory-Effekt durch exakte Messung des Ladezustands sowohl vor der eigentlichen Ladung als auch bei Erreichen der maximalen Kapazitätsgrenze.



Blei – Pb

Der Bleiakkumulator gehört zu den ältesten Akku-Systemen überhaupt, er ist schon seit Mitte des 19. Jahrhunderts bekannt. Aufgrund des Haupteinsatzgebietes als Auto-, Antriebs- oder Industriebatterie wird er in dieser Broschüre nicht ausführlich behandelt. Im Unterschied zu anderen Akkumulatoren hat eine Zelle 2 V. Der Bleiakkumulator hat keinen Memory-Effekt, kann also unabhängig vom Entladezustand immer wieder geladen werden. Es existieren vornehmlich zwei Bauweisen:

Offene Zellen: Nachfüllen von Wasser ist möglich (z. B. bei Starterbatterien oder Notstromanlagen)

Verschlossene Zellen (wartungsfreie Zellen): Diese Zellen enthalten ein Überdruckventil, welches erhöhten Betriebsdrücken standhält. Der Elektrolyt wird dabei entweder in einem Gelkissen eingelagert oder in ein Vlies eingebunden. Blei-Akkumulatoren mit der Vlies-Technologie nehmen mittlerweile die bedeutendere Marktstellung ein.

Positive Elektrode: $\text{PbO}_2 + 3 \text{H}^+ + \text{HSO}_4^- + 2 \text{e}^- = \text{PbSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Negative Elektrode: $\text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$

Gesamtreaktion: $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 = 2 \text{PbSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Nickel-Metallhydrid NiMH

Batterien dieses Systems bestehen im geladenen Zustand aus den folgenden Hauptkomponenten: einer positiven Elektrode aus Nickelhydroxid, einer negativen Elektrode aus einer Wasserstoff speichernden Legierung und einem alkalischen Elektrolyten. Der wesentliche Unterschied zwischen NiMH- und NiCd-Batterien besteht darin, dass das Cadmium vollständig durch eine Wasserstoff speichernde Legierung ersetzt ist. Aufgrund der schnellen Innovationszyklen ist die Energiedichte pro Volumen für NiMH-Akkus inzwischen wesentlich höher als bei herkömmlichen NiCd-Akkus.



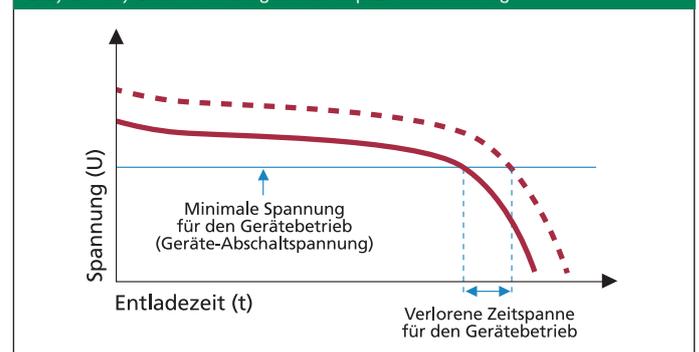
Die Entwicklung bei Nickel-Metallhydrid-Batterien geht in verschiedene Richtungen. Zum einen werden durch Optimierungen der Elektroden und Elektrolyte die mögliche Anzahl der Zyklen deutlich verbessert und nähern sich Bereichen, welche bisher nur von Nickel-Cadmium-Zellen erreicht wurden. Zum anderen geht die Entwicklung aber auch zu Zellen mit verringertem Innenwiderstand, um deutlich mehr Leistung bei gleichzeitig geringerer Erwärmung zu erhalten. Diese Zellen kommen unter anderem in Elektrofahrrädern zum Einsatz, wo sie zum Teil auch über einen längeren Zeitraum – wie an einer Steigung – Ströme bis zu 30 Ampere oder mehr liefern müssen. Ein weiterer Fortschritt ist die Entwicklung von NiMH-Zellen für Anforderungen im Hochtemperaturbereich. Genutzt werden diese in Notleuchten oder in Back-up-Anwendungen und bieten den Vorteil, dass sie bei gleicher Kapazität ein deutlich kleineres Volumen als Nickel-Cadmium-Batterien mit vergleichbarer Kapazität haben. So kommen NiMH-Batterien für viele Anwendungen

infrage, für die auch das System NiCd genutzt wurde – der prinzipielle Aufbau beider Batterie-Systeme ist identisch.

Bei der NiMH-Technologie kann ein Lazy-Battery-Effekt, vergleichbar mit dem klassischen Memory-Effekt, auftreten. Dieser lässt sich ebenfalls wieder vollständig beheben. Die Ursachen sind im Prinzip die gleichen wie beim klassischen Memory-Effekt (Dauerladungen beziehungsweise nur Teilentladungen), wirken sich aber auf die positive Nickelhydroxid-Elektrode aus. Die Entladespannung sinkt hier nur geringfügig ab, zudem gibt es die gleiche einfache Verjüngungskur, indem der Akku von Zeit zu Zeit komplett entladen und wieder aufgeladen wird, am besten zwei- bis dreimal hintereinander.

Für diesen Vorgang ist ein Ladegerät mit Entladefunktion von Vorteil. So lassen sich die Folgen des Lazy-Battery-Effekts vollständig beseitigen, und der Akku erhält seine alte Leistungsfähigkeit zurück. Der Lazy-Battery-Effekt ist weit weniger gravierend als der klassische Memory-Effekt. Die Spannung liegt zwar etwas tiefer als normal, die Nutzungsdauer bleibt jedoch fast vollkommen erhalten. Wie beim klassischen Memory-Effekt nimmt der Akku auch hier keinen Schaden.

Lazy-Battery-Effekt: Vorübergehende Kapazitätsminderung



Lithium-Ion Li-Ion

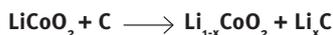
Schon sehr früh versuchte man, wiederaufladbare Lithium-Batterien zu entwickeln. Heute sind Lithium-Ion-Batterien für viele Einsatzzwecke, bei denen es auf hohe Energiedichten ankommt, das System der Wahl. Wiederaufladbare Lithiumbatterien enthalten kein metallisches Lithium. Hauptanwendungen sind Telekommunikation und tragbare Computer. Als Industriebatterie finden Lithium-Ion-Systeme ihren Einsatz in Hybridfahrzeugen oder in Fahrzeugen mit neuen Bordnetzen. Lithium-Ion-Akkus sind nicht kompatibel zu NiCd- oder NiMH-Akkus. Sie erfordern eine spezielle Ladetechnik und ein besonderes Zellenmanagement.



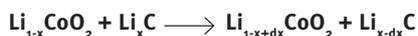
Zwar funktionieren Lithium-Batterien auch wie galvanische Zellen – allerdings findet bei ihnen keine chemische Reaktion der aktiven Materialien statt. Stattdessen werden in positiver Elektrode und negativer Elektrode Lithium-Ionen eingelagert, die beim Laden gewissermaßen von einer Elektrode zur anderen gepumpt werden. Sie werden quasi zwischen positivem und negativem Einlagematerial ausgetauscht.

Dieses ist eine sicherere Alternative im Vergleich zur Lithiummetall-Galvanisierung. Die Energiedichte wird dabei hauptsächlich durch das Kathodenmaterial bestimmt – gängig ist zurzeit vor allem Kobaltoxid, das für Werte von bis zu 180 Wattstunden pro Kilogramm geeignet ist. Mit Lithium-Nickel-Kobalt (LiNiCo) lassen sich sogar Energiedichten bis 240 Wh/kg erreichen. Die prinzipielle Reaktionsgleichung kann wie folgt dargestellt werden:

Anfangsladung:



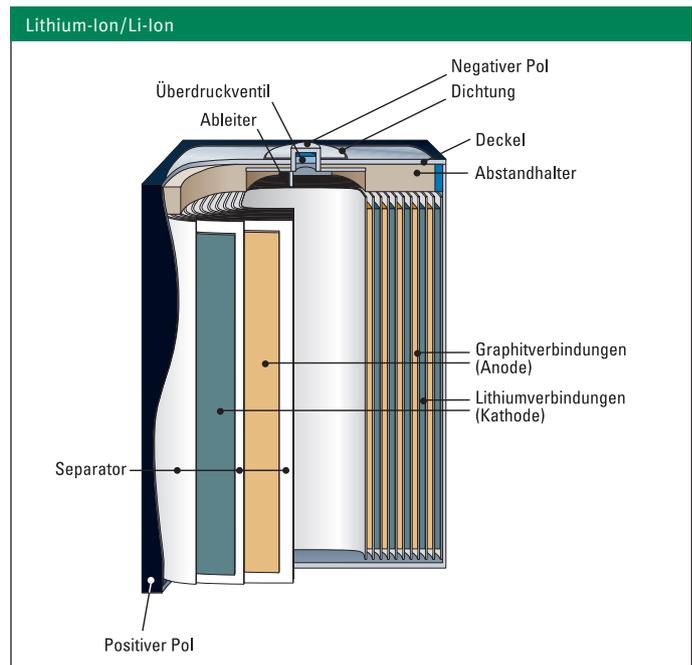
Beim Entladen findet der umgekehrte Vorgang statt: Lithium-Ionen werden vom negativen Material freigesetzt und kehren in das positive Material zurück:



Diese Batterien besitzen von allen wiederaufladbaren Systemen die höchste Energiedichte und können daher am meisten Energie bezogen auf ein bestimmtes Volumen oder Gewicht abgeben. Wie bei anderen Sekundärsystemen hängt die Zyklendauer von der Anwendung ab. Die Energiedichte von Lithium-Ion ist typischerweise etwa das Doppelte einer Standard-Nickel-Cadmium-Batterie. Zudem gibt es noch Potenzial für höhere Energiedichten. Die Belastungscharakteristik ist recht gut, sie verhält sich in Bezug auf die Entladung ähnlich wie Nickel-Cadmium. Die hohe Spannung von 3,6 V pro Zelle erlaubt den Bau einzelliger Batterien. Die meisten Mobiltelefone arbeiten mit einer Einzelzelle. Eine Batterie auf Nickelbasis benötigt zum Erreichen der gleichen Spannung drei in Serie geschaltete 1,2 V-Zellen.

Wiederaufladbare Lithiumbatterien haben keinen Memory- oder Lazy-Effekt.

Zur Lagerung empfehlen die meisten Hersteller eine 40-Prozent-Ladung in kühler Umgebung.



Lithium-Polymer Li-Polymer

Seit Jahren arbeiten Wissenschaft und Industrie an der Entwicklung fester Polymerelektrolyte, die konventionelle flüssige organische Elektrolyte ersetzen sollen und einen klassischen Separator überflüssig machen. Die Lithium-Polymer-Batterie unterscheidet sich also von anderen wiederaufladbaren Lithiumbatterien in der Art des verwendeten Elektrolyts. Dieser Elektrolyt gleicht einer plastikähnlichen Schicht, die für Elektrizität nicht leitfähig ist, aber einen Ionenaustausch gestattet (Austausch elektrisch geladener Atome oder Gruppen von Atomen).

Der Polymerelektrolyt ersetzt das traditionelle poröse Trennelement, welches mit Elektrolyt gesättigt ist. Da diese Akkus keinen flüssigen Elektrolyten besitzen, sind sie absolut auslaufsicher. Anstelle von Metallgefäßen als Zellengehäuse können daher Aluminium- oder metallisierte Kunststofffolien Verwendung finden.

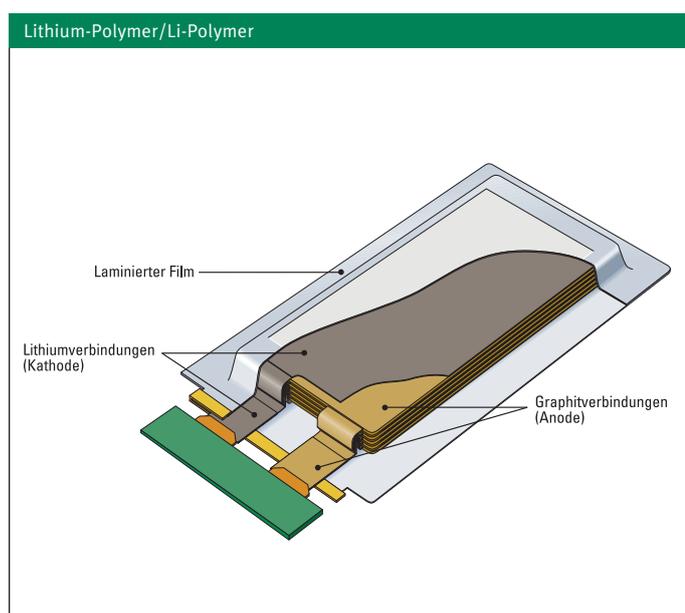
Die Lösung mit trockenem Polymer bietet Vereinfachungen in Bezug auf Herstellung, Robustheit, Sicherheit und schlanke Formen an. Es lassen sich beliebige Formen realisieren, um beispielsweise in Geräten Hohlräume zu nutzen. Auch besonders flache, folienähnliche Anordnungen sind möglich. Mit einer Zelldicke von etwa einem Millimeter können Gerätekonstrukteure ihrer Fantasie für Form, Beschaffenheit und Größe freien Lauf lassen.

Jedoch leidet das trockene Lithiumpolymer unter schwacher Leitfähigkeit. Der innere Widerstand ist zu hoch, um die für moderne Kommunikationsgeräte nötigen Stromspitzen liefern zu können, was zu Problemen mit der Festplatte von mobilen Computern führt. Eine Erwärmung der Zellen auf 60 °C und mehr verbessert zwar die Leitfähigkeit, ist aber eine Anforderung, die für tragbare Anwendungen nicht umsetzbar ist.



Die meisten kommerziellen Lithium-Polymer-Batterien, die heute für die mobile Telefonie verwendet werden, sind Hybridzellen und enthalten Gel-Elektrolyte. Die richtige Bezeichnung dafür ist Lithium-Ion-Polymer. Es ist die einzige funktionierende Polymer-Batterie für den mobilen Einsatz. Auch wenn Charakteristik und Leistung der beiden Typen (Lithium-Ion-Batterie und Lithium-Ion-Polymer-Batterie) ähnlich sind, ist die Lithium-Ion-Polymer-Batterie die einzige, bei der ein fester Elektrolyt das poröse Trennelement ersetzt.

Der Gel-Elektrolyt wird nur beigefügt, um die Ionenleitfähigkeit zu verbessern. Lithium-Ion-Polymer-Batterien finden ihren Markt in Nischenanwendungen immer dann, wenn ultradünne oder flexible Geometrien gebraucht werden, zum Beispiel für Kreditkarten.



Dritter Teil: Die Entsorgung

Batterieverordnung

Die Batterieverordnung (Verordnung über die Rücknahme und Entsorgung gebrauchter Batterien und Akkumulatoren – BattV) trat 1998 in Kraft. Sie wird seitdem regelmäßig überarbeitet und an die neuesten Umweltvorschriften der EU angepasst. Diese Novellierungen betreffen auch das Verbot des Inverkehrbringens von Batterien, die definierte Quecksilber-, Cadmium- oder Bleigehalte überschreiten.

Batterien und Akkus dürfen nicht in den Hausmüll, unabhängig vom elektrochemischen System und Schadstoff-(Schwermetall-)gehalt. Der Verbraucher ist der erste in der Rücknahmekette: Er muss gebrauchte Batterien und Akkus entweder dort zurückgeben, wo man Batterien oder Akkus kaufen kann, oder zu den Annahmestellen der Kommunen bringen. Sowohl Handel als auch Kommunen haben eine unentgeltliche Rücknahmepflicht, und zwar unabhängig von der Marke und dem System der Batterie. Hersteller und Importeure von Batterien haben nun wiederum die Pflicht, Handel und Kommunen mit geeigneten Sammelbehältern auszustatten und die gesammelten Gerätebatterien unentgeltlich zurückzunehmen.



Batterien gehören nicht in den Hausmüll.

Um diese umfassende Rücknahme zu gewährleisten, bietet die Batterieverordnung den Herstellern und Importeuren zwei Möglichkeiten: Entweder sie installieren ein individuelles Rücknahmesystem für ihre Batterien oder sie schließen sich einem Gemeinsamen Rücknahmesystem an.

Stiftung GRS Batterien

Die Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS Batterien) ist ein Gemeinsames Rücknahmesystem der Hersteller. Sie wurde 1998 von den Firmen Duracell, Energizer, Panasonic, Philips, Saft, Sanyo, Sony, Varta und dem Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) gegründet. Als Stiftung macht GRS Batterien keine Gewinne. Zwischenzeitlich (Ende 2007) nutzen 900 Hersteller und Importeure die Serviceleistungen von GRS Batterien. Sie bezahlen einen Entsorgungskostenbeitrag für ihre in Deutschland in Verkehr gebrachten Batterien und Akkus, der abhängig ist von dem Gewicht und dem elektrochemischen System.

Diese Hersteller und Importeure, die einen Vertrag mit GRS Batterien abgeschlossen haben, bringen jährlich fast 1,5 Milliarden Batterien und Akkus in Verkehr. Die Rücknahme wird von GRS Batterien organisiert, indem flächendeckend Handel, gewerbliche und industrielle Verbraucher, öffentliche Einrichtungen oder Kommunen unentgeltlich mit Sammel- und Transportbehältern ausgestattet werden. Ungefähr 170.000 solcher Sammelstellen für verbrauchte Batterien und Akkus gibt es bereits deutschlandweit. GRS Batterien organisiert anschließend den Transport der gefüllten Behälter, die Sortierung der Batterien und Akkus in die elektrochemischen Systeme und die nachfolgende Entsorgung (Verwertung oder Beseitigung).

Im Jahr 2007 nahm GRS Batterien bereits über 14.000 t gebrauchter Gerätebatterien und Akkus zurück und mehr als 90 % der Batterien und Akkus wurden verwertet. Darum heißt das Motto: „Recycling – Wertstoffe für die Zukunft“. Mit der umfangreichen Dokumentation aller Entsorgungsleistungen gegenüber den Landesbehörden übernimmt GRS Batterien ebenfalls die Erfolgskontrolle.

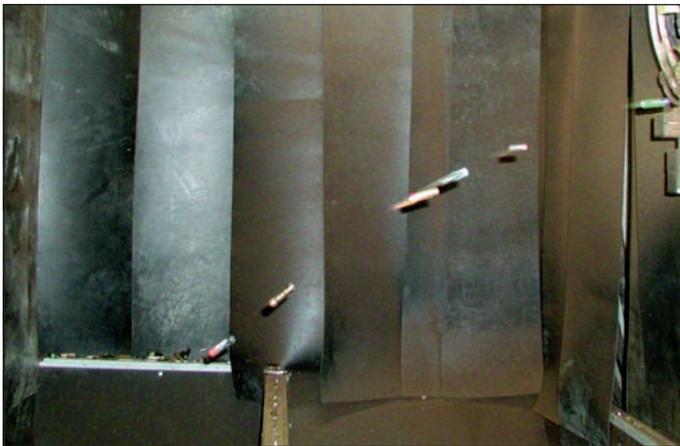
Die aktuellen Zahlen und Fakten zum System werden regelmäßig auf der Internetseite www.grs-batterien.de veröffentlicht.



Sortierverfahren

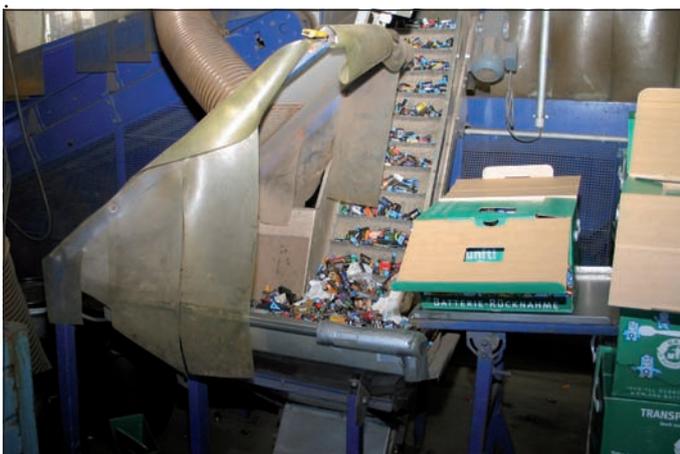
Die Sammlung der Gerätebatterien und -akkus erfolgt als Gemisch, da vom Verbraucher eine Vorsortierung nicht geleistet werden kann. Erst nach der Sammlung werden die Batterien und Akkus in die elektrochemischen Systeme getrennt. Diese Sortierung ist wichtig für die nachfolgende Verwertung, denn je nach Inhaltsstoff der Batterie gibt es unterschiedliche Verwertungsverfahren.

Zwei Sortierverfahren werden von GRS Batterien genutzt:



Das elektromagnetische Verfahren

Dieses Verfahren identifiziert das System magnetischer Rundzellen mithilfe eines elektromagnetischen Sensors. Je nachdem, welches elektrochemische System gerade den Sensor passiert, wird ein anliegendes Magnetfeld unterschiedlich gestört. Diese „Störung“ induziert eine Spannungsänderung, die man messen kann. So lassen sich mit einer Leistung von bis zu sechs Batterien pro Sekunde die jeweiligen Batterie-Systeme erkennen. Die Sortierreinheit beträgt dabei mindestens 98 %.



Das Röntgenverfahren

Nach einer Größensortierung werden die Rundzellen durch einen Röntgensensor geleitet. Das Batterie-System wird anhand der Graustufung im Röntgenbild erkannt. Mit diesem Verfahren können mehr als 26 Batterien pro Sekunde in einer Reinheit von mehr als 98 % sortiert werden.

Die Gesamtkapazität der Sortieranlagen beträgt über 15.000 t/a.

Unabhängig vom Sortierverfahren durchlaufen alle AlMn- und ZnC-Batterien anschließend einen weiteren Sortierschritt, den UV-Sensor. Bis zum Jahr 2005 haben europäische Batteriehersteller quecksilberfreie AlMn- und einen Teil der quecksilberfreien ZnC-Batterien mit einem UV-sensiblen Pigment im Lack versehen. Werden so markierte Batterien vom Sensor erkannt, sind diese garantiert quecksilberfrei und können kostengünstig verwertet werden.



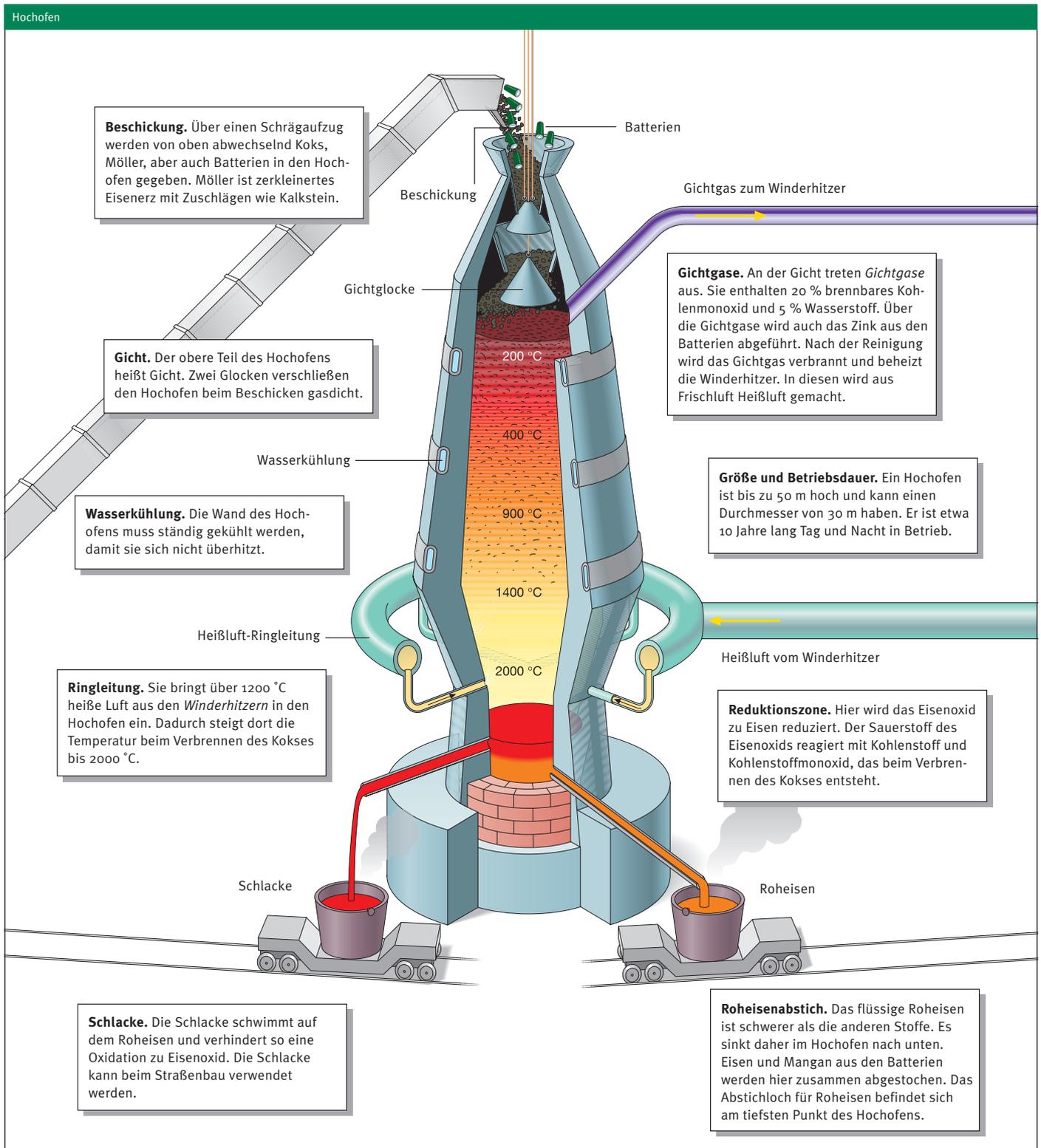
Zwar ist bereits seit 2001 das Inverkehrbringen quecksilberhaltiger Batterien (bis auf Knopfzellen) verboten, doch befinden sich noch immer ältere Batterien mit einem unbekanntem Quecksilbergehalt im Abfallstrom. GRS Batterien ermittelt durch Analysen regelmäßig den Quecksilbergehalt gesammelter AlMn- und ZnC-Batterien. Die Ergebnisse zeigen, dass der Quecksilbergehalt kontinuierlich abnimmt. Deshalb ist das UV-sensible Pigment nicht mehr notwendig.

Somit sind gute Voraussetzungen geschaffen, um den Anteil der Batterien, die verwertet werden können, kontinuierlich zu erhöhen.

Verwertungsverfahren

Der Anteil verwertbarer Batterien steigt kontinuierlich. Zurzeit werden mehr als 90 % der sortierten Batterien metallurgisch recycelt, Tendenz steigend. Ein Augenmerk liegt dabei auf Verwertungsverfahren, die qualitativ hochwertige Produkte erzeugen.

Eines der Verwertungsverfahren, das eine hohe Verwertungsqualität garantiert, ist der Hochofen. Hier können quecksilberfreie Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien wiederverwertet und dabei vor allem die Produkte Roheisen, Zinkkonzentrat und Schlacke erzeugt werden.

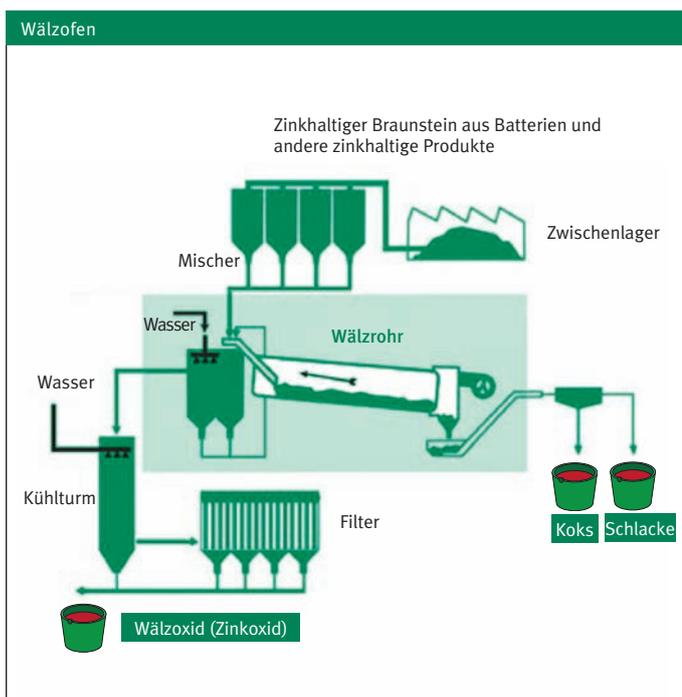


Nachfolgend werden einige Verwertungsverfahren für bestimmte Batterie-Systeme ausführlicher beschrieben:

AlMn- und ZnC-Batterien

Neben der Verwertung im Hochofen werden noch andere Verfahren genutzt.

1. Zum Beispiel können Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien in einem überwachten Prozess zerkleinert und anschließend der Eisenanteil vom zinkhaltigen Braunstein (Manganoxid) getrennt werden. Der Eisenanteil wird an Stahlwerke weitergegeben und der zinkhaltige Braunstein in Drehrohröfen (Wälzöfen) zu Zinkoxid weiterverarbeitet.
2. Der Elektrostahlofen erzeugt u. a. aus Batterien Ferromangan, das Zink lässt sich als Zinkstaub zurückgewinnen. Eventuell anfallende Schlacke kommt im Wegebau zum Einsatz. Die elektrische Beheizung erfolgt durch einen zwischen zwei Kohlelektroden gebildeten Lichtbogen oder durch Widerstandsheizung. Verunreinigungen durch Brennstoffe und Feuerungsgase können nicht auftreten. Deshalb zeichnet sich der aus Elektroöfen gewonnene flüssige Stahl, Flussstahl genannt, durch große Reinheit aus.



NiCd-Batterien

In der Regel wird das Cadmium im Vakuum oder in einer inerten Atmosphäre abdestilliert und das zurückbleibende Stahl-Nickel-Gemisch zur Stahlerzeugung weitergegeben. Das Cadmium findet in der Regel Verwendung bei der Herstellung neuer NiCd-Batterien.

NiMH-Batterien

Hier liegt der Verfahrensschwerpunkt auf der Wiedergewinnung des Nickels. Wegen der möglichen Wasserstofffreisetzung bei der Zerkleinerung der NiMH-Batterien muss die Verarbeitung in einer überwachten Atmosphäre stattfinden. Nach Separation der enthaltenen Kunststoffe liegt ein hochnickelhaltiges Produkt vor, das als wichtiger Legierungsbestandteil bei der Stahlproduktion verwendet wird.

Lithium-Batterien

GRS Batterien lässt Lithium-Primärsysteme (LiMnO_2) über ein vakuumdestillatives Verfahren wiederverwerten. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf Wiedergewinnung von nickelhaltigem Eisen und Ferromangan. Lithium dient dem Prozess als Reduktionsmittel. Das Recycling der wiederaufladbaren Lithium-Systeme (Li-Ion bzw. Li-Polymer) erfolgt ebenfalls metallurgisch, insbesondere zur Wiedergewinnung von Kobalt, Nickel und Kupfer.

Quecksilberhaltige Knopfzellen

Gegenwärtig existieren in Deutschland mehrere Techniken zur Aufbereitung quecksilberhaltiger Knopfzellen. Diese Techniken werden vorzugsweise eingesetzt, um Quecksilber aus quecksilberhaltigen Bauteilen zurückzugewinnen. Hierbei werden die quecksilberhaltigen Abfälle vakuo-thermisch behandelt. Bei Temperaturen zwischen $350\text{ }^\circ\text{C}$ und $650\text{ }^\circ\text{C}$ verdampft das enthaltene Quecksilber, kondensiert anschließend bei niedrigeren Temperaturen und kann so dem Wirtschaftskreislauf wieder zugeführt werden. Der quecksilberfreie „entquicte“ Stahl wird verkauft.

Durch das Batterierecycling können unter anderem folgende Wertstoffe gewonnen werden:

Rohstoffgewinnung durch Batterierecycling

Eisen

Eisen in der Batterie
In der Batterietechnik findet Eisen Verwendung als Gehäusematerial sowie als Legierungs-, Matrix- oder Trägermaterial für Elektroden. Batterien mit reinen Eisen-Elektroden wurden zwar realisiert, konnten sich jedoch nicht durchsetzen, zum Beispiel der Nickel-Eisen-Akkumulator.

Eisen als Wertstoff
Eisen ist für die Herstellung von Stahl sehr bedeutsam. Stähle sind Legierungen des Eisens, die beim Vermischen (Legieren) mit anderen Metallen und auch Nichtmetallen (insbesondere Kohlenstoff) entstehen. Eisen ist das weltweit meistverwendete Metall und erreicht eine hervorragende Festigkeit und Zähigkeit durch Legierung mit anderen Metallen wie Chrom, Molybdän oder Nickel. Es wird bei der Herstellung von Fahrzeugen, Schiffen und im gesamten Baubereich (Stahlbeton) eingesetzt und ist (neben Kobalt und Nickel) eines jener drei ferromagnetischen Metalle, die mit ihrer Eigenschaft den großtechnischen Einsatz des Elektromagnetismus in Generatoren, Transformatoren und Elektromotoren ermöglichen.

Zink

Zink in der Batterie
Metallisches Zink gehört zu den wichtigsten Materialien für negative Elektroden (Anoden) in nicht wiederaufladbaren Batterien. Daneben dient bei der ZnC-Batterie ein zinkhaltiger Gefäßbecher als negative Elektrode, an der Zink zu Zinkoxid oxidiert wird. Zink hat sich als Anodenmaterial in vielen Primär-Batterie-Systemen bewährt. Es bildet ein hohes Spannungspotenzial, ist preiswert, leicht verfügbar und umwelttechnisch unbedenklich.

Zink als Wertstoff
Zink ist ein bläulich weißes, unedles Metall, welches bei Zimmertemperatur und oberhalb 200°C ziemlich spröde ist. Zwischen 100°C und 200°C lässt es sich leicht verformen. An der Luft bildet Zink eine witterungsbeständige Schutzschicht aus Zinkoxid und -carbonat. Daher verwendet man es trotz seines ansonsten unedlen Charakters als Korrosionsschutz.

Mangan

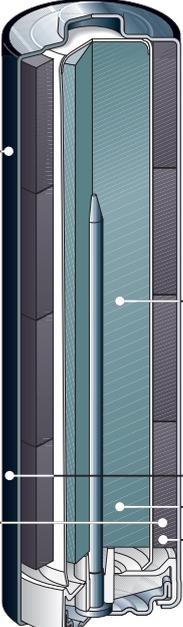
Mangan in der Batterie
Mangandioxid (Braunstein) dient als Oxidationsmittel und Elektrodenmaterial in Trockenbatterien. Erstmals wurde das Prinzip in einer ZnC-Batterie des Franzosen Georges Leclanché 1860 realisiert. Dort wurde die Graphit-Kathode mit Braunstein umhüllt. In der Sekundärbatterietechnik spielt Mangan als Bestandteil der Mischmetall-Legierungen für NiMH-Akkus eine Rolle sowie als Kathodenmaterial von Li-Ion-Akkus.

Mangan als Wertstoff
Mangan ist ein grau-weißes, hartes und sehr sprödes Metall. Wegen seiner hohen Reaktionsfreudigkeit mit Schwefel oder Sauerstoff sowie seiner werkstoffverbessernden Eigenschaften ist es von hoher Bedeutung für die Metallindustrie. Mangan dient z. B. zur Desoxidation und Entschwefelung oder als festigkeitssteigerndes Legierungselement in Stählen. Nach Eisen ist Mangan das zweithäufigste Metall.

Nickel

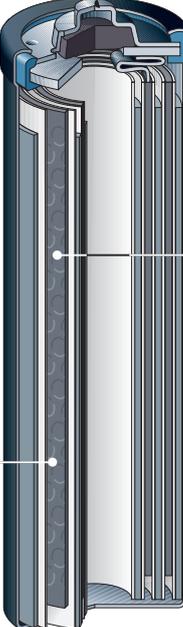
Nickel in der Batterie
Nickel findet in der Batterietechnik hauptsächlich Anwendung als Kathodenmaterial. Seit der Entwicklung des Nickel-Cadmium-Akkumulators um 1899 durch Waldemar Jungner hat es sich in verschiedenen Akkumulatoren-Systemen (z. B. NiCd oder NiMH) bestens bewährt. Da Nিকেlelektroden in der Praxis nur eine recht unbefriedigende elektrische Leitfähigkeit aufweisen, wird das Nickel gewöhnlich als Nickelschwamm, auf einer gut leitfähigen Matrix aufgebracht, verwendet.

Nickel als Wertstoff
Nickel ist ein silbrig-weißes Metall. Es ist hart, schmelzbar, plastisch verformbar und lässt sich ausgezeichnet polieren. Es ist wie Eisen und Kobalt ferromagnetisch. Nickel ist ein bedeutendes Legierungsmetall, das hauptsächlich zur Stahlveredelung verwendet wird. Es macht Stahl korrosionsbeständig und erhöht seine Härte, Zähigkeit und Verformbarkeit. Mit Nickel legierte Stähle werden bei besonders korrosiven Umgebungen eingesetzt.



Stahlbecher
Zink-Gel (Anode)
Braunstein (Kathode)

Abbildung: Alkali-Mangan Batterie



Nickelhydroxid (Kathode)

Abbildung: Nickel-Cadmium-Batterie

Vierter Teil: Der Ausblick

Die Zukunft von heute

Das Periodensystem bietet nur eine begrenzte Anzahl geeigneter Elemente für eine Batterie. Deswegen wird es wohl auch in naher Zukunft keine wesentlich neuen Batterie-Systeme geben. Doch keine Regel ohne Ausnahme: seit einigen Jahren ist das System Nickel-Zink vermehrt auf dem Markt und verdrängt bei Hochstromanwendungen zum Teil bereits die Alkali-Mangan-Batterie. Nickel-Zink (Abkürzung ZR) ist ein alkalisches System, bei dem die positive Masse überwiegend aus Nickel-Hydroxid besteht, die negative Masse überwiegend aus Zink. Eine Entwicklung wird bereits seit einigen Jahren deutlich: die Miniaturisierung. Immer kleiner werdende Anwendungen erfordern ein immer komplexer werdendes Energiemanagement auf immer kleinerem Raum. Hierfür sind bereits aufladbare Lithium-Polymerbatterien mit einem Gewicht von nur noch 8 g auf dem Markt.



Heute gibt es kaum noch einen Tag ohne Batterien, keinen Anwendungsbereich, bei dem keine mobile Stromversorgung gefragt ist. An batteriebetriebene Milchaufschäumer hat man sich ja schon gewöhnt. Kaum sichtbar hingegen verrichten etliche „heimliche“ Batterien ihren Dienst, zum Beispiel in elektronischen Steuerelementen, die permanent den Reifendruck von Fahrzeugen der gehobenen Preisklasse ermitteln, in Wärmehählern oder Back-up-Systemen. Salonfähig geworden ist mittlerweile auch die sogenannte intelligente Kleidung. Längst aus den (blinkenden) Kinderschuhen herausgewachsen, erobert die batteriebetriebene Garderobe die internationale Modewelt. Unter dem Namen „Wearable Technologies“ verzichtet kaum ein namhafter Designer auf intelligente Kleidung in seinem Portfolio. Die Kleidung selbst wird dabei

zum Stromversorger: Handys werden in die Jackenärmel eingenäht und der Akku dabei über eingebaute Solarzellen im Kragen wieder aufgeladen. So geht dem Träger (zumindest bei unbewölktem Himmel) nicht so schnell der Strom aus. Schuhe, die nicht nur die Füße schützen, sondern dem Läufer via eingebauter Sensoren den aktuellen Puls mitteilen, wandeln sich so vom Kleidungsstück zum Kommunikationsdesign. Die Kleidung der Zukunft soll nicht nur wärmen, sondern ein Klimamanagement aufrechterhalten. Zentral gesteuert werden dann Anrufe, Puls und Herzfrequenz oder „gefühlte“ Klimadaten über den nur wenige Gramm schweren Computer im Rückenteil.

Die Zukunft von morgen

Doch nicht nur Kleidung wird intelligent. Bereits seit einigen Jahren sind die sogenannten Smartcards auf dem Markt. Sie sehen zwar aus wie eine gewöhnliche Kreditkarte, haben aber nebenbei noch zahlreiche andere Funktionen und sind in der Lage, eine begrenzte Anzahl von Informationen neu aufzunehmen und zu speichern. Ermöglicht wurde dieses mit einer nur 0,4 Millimeter dünnen Lithiumbatterie. Und die Entwicklung geht weiter: Ein zukünftig breites Anwendungsgebiet werden sicherlich „intelligente“ Zeitungen mit organischen Elektronikkomponenten und aufgedruckten Batterien und Displays haben. Die Zeitung der Zukunft wird eine Chimäre zwischen digitaler und gedruckter Welt. Wer freut sich nicht auf bewegte Bilder, die einem aus der Tageszeitung entgegenwinken, Minivideos, die einem die schönsten Tore des letzten Fußballspiels noch einmal zeigen, oder den Artikel, der einem auf Wunsch von der Zeitung selbst vorgelesen wird.



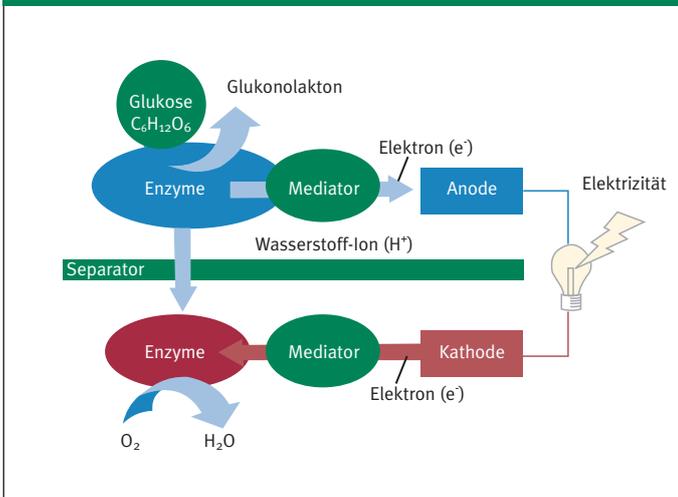
Die Zukunft von übermorgen

Strom aus Zucker? Mit einer Batterie, die durch Zucker angetrieben wird, könnten umweltbewusste Verbraucher angesprochen werden. Ein Prototyp der Biobatterie hat bereits bis zu 50 Milliwatt Leistung produziert.

Trinken wird man den zuckerhaltigen Fitnessdrink also nicht mehr selbst, sondern dieser wird dann dem MP3-Player den notwendigen Strom liefern. In dem Batterie-System wird mithilfe von Enzymen und einem leitenden Metall aus Zucker Strom erzeugt. Die Enzyme sollen dabei nur in der Nähe der Anode arbeiten. Eine neu entwickelte Struktur der Kathode sorgt dafür, dass das System mit ausreichend Sauerstoff versorgt und die notwendige Menge Wasser beibehalten wird. Ein optimierter Elektrolyt ermöglicht es schließlich, den vergleichsweise hohen Energielevel zu erreichen.



Prinzip der „Biobatterie“



Hierbei wurden Forscher von der Photosynthese bei Pflanzen inspiriert. Im Inneren der Batterie zerlegen Enzyme den Zucker in seine Bestandteile. Dabei werden Elektronen und Wasserstoff frei, der sich mit Sauerstoff aus der Luft zu Wasser verbindet. Die frei werdende Energie speist das elektrische Kleingerät.

„Zuckerbatterien“ sind natürlich völlig biologisch abbaubar – die Kohlenhydrate zur Herstellung der Batterien könnten überall auf der Welt leicht aus Pflanzen gewonnen werden. Von Marktreife kann man allerdings noch nicht sprechen. Ein einzelnes würfelförmiges Batteriemodul hat eine Kantenlänge von vier Zentimetern. Vier Stück muss man davon zusammenstecken, um z. B. einem MP3-Player Töne zu entlocken.

Zwar hat sich seit Galvanis zuckenden Froschbeinen vor fast 220 Jahren einiges getan, doch ist die Geschichte der Batterie lange nicht am Ende. Wer weiß, was uns noch erwartet? Die Broschüre „Die Welt der Batterien“ wird ihre Leser auf dem Laufenden halten.

Fünfter Teil: Der Anhang

Glossar

Aktive Masse: das Material in den Elektroden, das an den Lade- und Entladereaktionen teilnimmt.

Anode*: negative Elektrode jeder elektrochemischen Stromquelle während der Entladung. Bei Batterien besteht die Anode aus einem Metall, beispielsweise Zink oder Blei, das bei Entladung „kalt verbrannt“ wird, das heißt es wird oxidiert.

Elektrode: meistens ein metallischer Leiter, der dazu dient, elektrische Ladungsträger in eine Flüssigkeit, in ein Gas, in ein Vakuum oder auf die Oberfläche eines festen Körpers zu leiten, zum Beispiel bei der Elektrolyse.

Elektrolyse: das Zerlegen einer Ionen leitenden Flüssigkeit (Elektrolyt) bei Anlegen einer ausreichend hohen Spannung. Die Elektrolyseprodukte eines wässrigen Systems sind die Gase Wasserstoff und Sauerstoff.

Elektrolyt: Ionen leitende Flüssigkeit, die im Innern der Batterie/ des Akkus den funktionsnotwendigen Ladungs- und Stofftransport zwischen den Elektroden sicherstellt. Zum Einsatz kommen flüssige, pastöse oder feste Elektrolyte.

Elektron: negativ geladenes Teilchen

Inertgas: reaktionsträges Gas

Ion: elektrisch geladenes Teilchen

Kathode*: Bezeichnung für die positive Elektrode jeder elektrochemischen Stromquelle während der Entladung. Bei geladenen Batterien/Akkus besteht die Kathode aus einem Metalloxid.

Sekundärbatterie: wiederaufladbare Batterie, Akku

Selbstentladung: Kapazitätsverlust einer Zelle während der Lagerung. Die Höhe der Selbstentladung wird von der Umgebungstemperatur beeinflusst.

Vakuumdestillativ: temperaturabhängige Abtrennung der einzelnen Anteile eines Stoffgemisches im Vakuum.

* Bei einem Primärelement ist die negative Elektrode immer die Anode – und die positive Elektrode immer die Kathode. Gleiches trifft beim Akku nur bei der Entladung zu.

Abkürzungen

AgO: Silberoxid

AlMn: Alkali-Mangan

ANSI: American National Standards Institute, US-amerikanische Stelle zur Normung industrieller Verfahrensweisen. Das deutsche Gegenstück ist das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN)

BattV: Verordnung über die Rücknahme und Entsorgung gebrauchter Batterien und Akkumulatoren

Hg-frei: quecksilberfrei

Hg-haltig: quecksilberhaltig

HgO: Quecksilberoxid

IEC: International Electrotechnical Commission, internationales Normierungsgremium im Bereich der Elektrotechnik und Elektronik mit Sitz in Genf

JIS: Japanese Industrial Standard, japanische Organisation für Normung

Li, primär: Lithium, nicht wiederaufladbares Lithium-System

Li-Ion/Li-Polymer: Lithium-Ion, Lithium-Polymer, wiederaufladbares Lithium-System

NiCd: Nickel-Cadmium

NiMH: Nickel-Metallhydrid

ppm: parts per million (zum Beispiel ein Milligramm pro Kilogramm)

Zn-Luft: Zink-Luft

ZnC: Zink-Kohle

Quellen

Verordnung über die Rücknahme und Entsorgung gebrauchter Batterien und Akkumulatoren – Batterieverordnung vom 27. März 1998 und erste Verordnung zur Änderung der Batterieverordnung vom 26. Juni 2001

Battery University, www.batteryuniversity.com (Stand 2007)

Batterielexikon, www.sat-akku.ch (Stand 2007)

Fraunhofer, www.ict.fraunhofer.de/deutsch/glossar/batterie.html (Stand 2007)

Drösser Stahllexikon, www.droessler.de (Stand 2007)

NATUR PLUS 7-10 Chemie, © 2003 Schroedel Verlag

Umweltrelevante Inhaltsstoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.

Augsburg, 2002 – ISBN 3-936385-05-X

Impressum

Herausgeber:

Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien

Heidenkampsweg 44

20097 Hamburg

www.grs-batterien.de

info@grs-batterien.de

Abbildungen:

Seite 5: Varta

Seite 6: NATUR PLUS 7-10 Chemie, © 2003 Schroedel Verlag

Seite 9: Siemens, Varta, WMF

Seite 10: Sony, Varta

Seite 11: Casio, Citizen, Siemens Hörgeräte, Varta

Seite 12: Ista, Varta, Volvo

Seite 13: Varta

Seite 14: Procter & Gamble, Varta

Seite 15: Philips

Seite 16: Dell, Varta, Volvo

Seite 17: Panasonic, Varta

Seite 18: GRS Batterien

Seite 19: Uni-Cyc GmbH

Seite 20: NATUR PLUS 7-10 Chemie, © 2003 Schroedel Verlag

Seite 22: Varta

Seite 23: Zegna, Plastic Logic

Seite 24: Sony

Recycling 
Wertstoffe für die

Zukunft

PHILIPS



ZVEI:

DURACELL

SANYO

SONY



Energizer



Stiftung Gemeinsames
Rücknahmesystem Batterien
Heidenkampsweg 44
D 20097 Hamburg
Telefon: +49 (40) 23 77 88
Telefax: +49 (40) 23 77 87
E-Mail: info@grs-batterien.de
www.grs-batterien.de