

*Die Welt der*  
***Batterien***

*Funktion, Systeme, Entsorgung*



Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien

<b>Inhalt</b>	
Erster Teil	<b>Die Entwicklung und die Funktion der Gerätebatterien</b>
	Anfänge 4
	Funktionsweisen 4
	Unterschiede zwischen Primär- und Sekundär-Systemen 6
	Bezeichnungen 7
Zweiter Teil	<b>Die Technik und die Produktion der Primärbatterie-Systeme</b>
	Zink-Kohle 8
	Alkali-Mangan 8
	Zink-Luft 9
	Silberoxid 10
	Lithium-Mangandioxid 11
	<b>Die Technik und die Produktion der Sekundärbatterie-Systeme</b>
	Nickel-Cadmium 12
	Nickel-Metallhydrid 13
	Lithium-Ionen/Lithium-Polymer 14
Dritter Teil	<b>Die Entsorgung</b>
	Batterieverordnung 16
	Stiftung GRS Batterien 16
	Sortierverfahren 17
	Verwertungsverfahren 18
Vierter Teil	<b>Der Ausblick</b> 20
Fünfter Teil	<b>Der Anhang</b>
	Glossar 22
	Abkürzungen 23
	Quellen 23
	Impressum 23

# Vorwort

Überall erreichbar sein, beim Joggen nicht auf Musik verzichten, auch als Schwerhöriger wieder besser hören können – das Thema „mobile Stromversorgung“ erhält einen zunehmend wichtigen Stellenwert in unserer Gesellschaft.

Damit wächst auch das Interesse an den Energieträgern, die das leisten, den Gerätebatterien.

Über dieses Thema berichten wir in dieser Broschüre umfassend, aber nicht zu detailliert, sachlich, aber nicht zu trocken.

Sie beschreibt die Anfänge der Batterien, deren Aufbau und mögliche Anwendungen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Systeme. Dem Thema Entsorgung und der Darstellung einiger Verwertungsverfahren ist ein eigenes Kapitel gewidmet.

Wir hoffen, dass sie den neugierigen Leser informiert und den informierten Leser neugierig macht.



Dr. Jürgen Fricke  
Vorstandsvorsitzender GRS Batterien

Hamburg, im August 2001

# Gerätebatterien

# 1789

## Anfänge

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

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 so genannte „Ritter'sche Säule“. Die Säule bestand aus übereinander geschichteten und mit Tafelsalz (Natriumchlorid) getränkten Kupfer- und Kartonscheiben. Diese Vorrichtung konnte mit elektrischem Strom geladen werden und gab bei der Entladung Strom ab. Sie gilt als Urform des Akkumulators.

Die Industrialisierung beschleunigte die Entwicklung elektrochemischer Energiespeicher. Dynamo und Glühlampe waren gegen Ende des 19. Jahrhunderts erfunden – es gab einen rasch wachsenden Bedarf, elektrische Energie zu speichern.

Am Anfang der Entwicklung der Nickel-Cadmium-Batterie stehen zwei Namen: Waldemar Jungner (1869-1924) und Thomas Alva Edison (1847-1931). Die beiden Erfinder beschäftigten sich mit einer

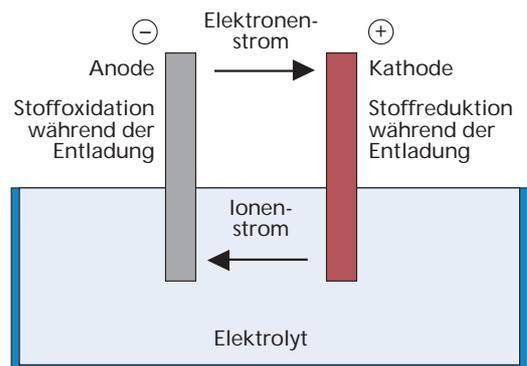
Reihe von elektrochemischen Energiespeicher-Geräten und erlangten 1901 Patente für den Nickel-Cadmium- beziehungsweise Nickel-Eisen-Akkumulator.

## Funktionsweisen

Elektrischer Strom besteht aus fließenden Elektronen. Sie bewegen sich infolge einer elektrischen Spannung als treibende Kraft. Sie fließen durch elektrische Leiter, wie zum Beispiel Kabel oder Glühlampen. Der Strom bringt den CD-Player zum Spielen und die Glühlampe zum Leuchten.

Strom kommt nicht nur aus der Steckdose. Auch eine Batterie stellt Strom zur Verfügung. Statt von Strom sollte man genauer von elektrischer Leistung sprechen, da der Strom stets von einer Spannung begleitet wird, und Strom mal Spannung ist Leistung. Leistung mal 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.

## Prinzip der Elektrolyse

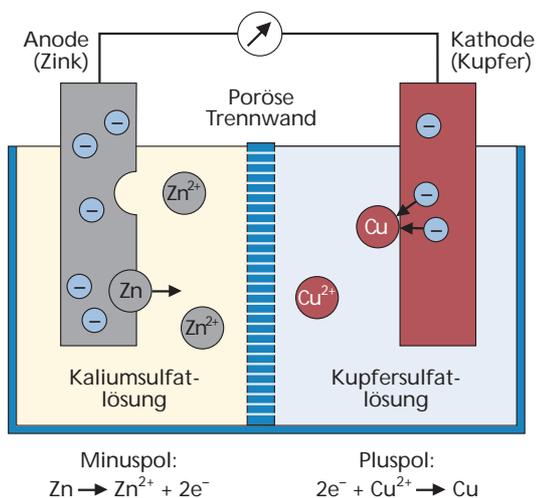


Der Strom hört in den Polen natürlich nicht auf, es gibt einen vollständigen Stromkreis. In der Batterie fließt der Strom als Ionenstrom in der Elektrolytflüssigkeit von einer Elektrode zur anderen. Hier laufen die dazugehörigen elektrochemischen Reaktionen ab. Verschiedene Elektrodenmaterialien geben die Elektronen ab (Minuspole), andere „saugen“ sie wieder auf (Pluspole). Für Taschenlampen und Kassettenrekorder 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. Hinter dem Pluspol befindet sich der Braunstein, der diese Elektronen dann wieder aufnimmt.

Diese Elektrodenmaterialien heißen „aktive Massen“. Sie 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.

#### Redoxreaktion als Spannungsquelle:

Zinkatome werden oxidiert, Kupferionen reduziert



Für die Entwicklung der elektrochemischen Energiespeicher stehen Namen wie Luigi Galvani (rechts oben), Alessandro Volta (rechts Mitte), Johann Wilhelm Ritter (rechts unten) und Thomas Alva Edison (unten). Als Urform des Akkumulators gilt die so genannte Ritter'sche Säule, die Ritter 1802 entwickelte.



Durch seine Poren fließen die Ionen vom Braunstein zum Zink, so dass sich der Stromkreis schließt.

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, Bleibatterie 2 V). 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 ist unabhängig vom Verbraucher. Sie ist bei Primärbatterien sehr klein, im Gegensatz zu wieder aufladbaren Systemen. Hier kann es Boten-Ionen geben, die die Selbstentladung fördern, wie etwa bei Nickel-Cadmium- (NiCd) und Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren (NiMH). Diese Boten-Ionen (der Fachmann spricht von einem so genannten Redox-System) wandern zwischen den Elektroden hin und her und transportieren dabei Ladungen. 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 sind bei diesen Systemen „normal“. Akkus sind also nach rund drei Monaten „leer“. Aus diesem Grund ist es nicht ratsam, Taschenlampen oder Warnleuchten mit Akkus 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.

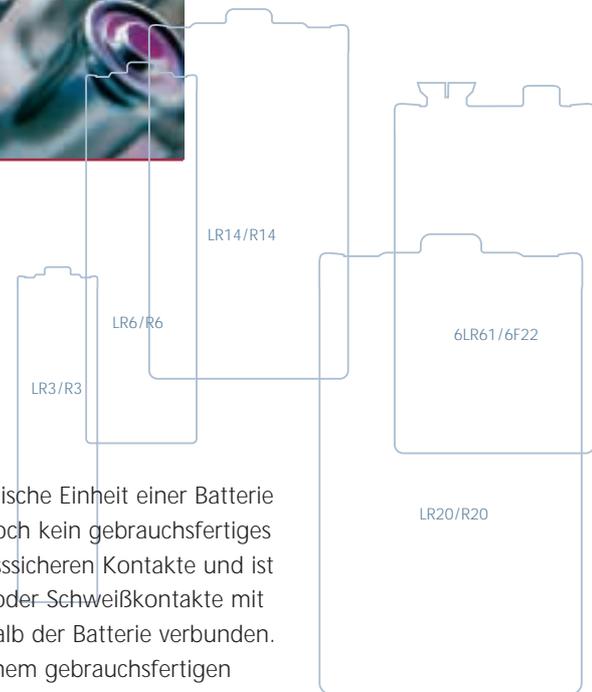
### Unterschiede zwischen Primär- und Sekundär-Systemen

Kommen wir zu wieder aufladbaren Batterien, auch Sekundärbatterien, Akkumulatoren oder kurz Akkus genannt. Hier lässt sich die verbrauchte chemische Energie durch einen Aufladevorgang wiederherstellen. Dafür pumpt das Ladegerät die Elektroden vom Pluspol zum Minuspol zurück, wobei die dazugehörigen entladenen Elektrodenmassen wieder aufgeladen und damit reaktiviert werden. Der Entlade-/Ladevorgang lässt sich bis zu 1.000-mal wiederholen. Primärbatterien sind dagegen nur einmal entladbar.

Deutliche Unterschiede zwischen Primär- und Sekundär-Systemen 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

<b>Primärbatterien</b>			
Bezeichnung	Spannung	Besondere Merkmale	Anwendungen
Zink-Kohle (ZnC)	1,5 Volt	Für weniger anspruchsvolle Anwendungen	Taschenlampen, Spielzeuge, Fernbedienung
Alkali-Mangan (AlMn)	1,5 Volt	Wird hoher Stromanforderung und Dauernutzung gerecht	Tragbare Audiogeräte, Fotoapparate, Spiele
Zink-Luft (Zn-Luft)	1,4 Volt	Hohe Belastbarkeit	Hörgeräte, Personenrufgeräte
Lithium (Li)	3,0 Volt	Hohe Belastbarkeit, niedrige Selbstentladung	Fotoapparate mit hohem Strombedarf (z. B. Blitz, automatischer Filmtransport), elektronische Datenspeicher
Silberoxid (AgO)	1,55 Volt	Hohe bis mittlere Belastbarkeit	Uhren, Fotoapparate, Taschenrechner
<b>Sekundärbatterien (Akkus)</b>			
Bezeichnung	Spannung	Besondere Merkmale	Anwendungen
Nickel-Cadmium (NiCd)	1,2 Volt	Sehr hohe Belastbarkeit, wieder aufladbar	Schnurlose Telefone, elektrische Zahnbürsten, Akkuwerkzeuge, Notbeleuchtungen
Nickel-Metallhydrid (NiMH)	1,2 Volt	Hohe Belastbarkeit, wieder aufladbar	Handys, schnurlose Telefone, Camcorder, Rasierer
Lithium-Ionen (Li-Ion), Lithium-Polymer (Lithium-Polymer)	3,7 Volt	Hohe Belastbarkeit, hohe Energiedichte, wieder aufladbar	Handys, Camcorder, Notebooks, Organizer

Gramm) oder zum Volumen (Energiedichte – Wattstunden pro Kubikzentimeter) in Beziehung gesetzt. Bei der Belastbarkeit ist die Reihenfolge genau umgekehrt: Hier weisen wieder aufladbare Systeme bessere Werte auf. Eine Ausnahme unter den wieder aufladbaren Systemen bezüglich ihres Energieinhalts bilden Lithium-Ionen-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. Selbstentladung ist bei Akkus deutlich höher als bei Primärbatterien. Eine Ausnahme sind Lithium-Ionen- 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.



### 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. Es verfügt über anschluss-sichere Kontakte und ist gekennzeichnet mit Hersteller- und Typangabe, Batteriespannung und weiteren Angaben.

Allgemeine Bezeichnung (Typ)	IEC-Bezeichnung Alkaline	IEC-Bezeichnung Zink-Kohle	ANSI-Norm	JIS-Norm Alkaline/ Zink-Kohle	Spannung in Volt Batterie/Akku	Maße in mm
Micro	LR 3	R 3	AAA	AM3 / UM3N	1,5 / 1,2	Ø 10,5x44,5
Mignon	LR 6	R 6	AA	AM4 / UM4N	1,5 / 1,2	Ø 14,5x50,5
Baby	LR 14	R 14	C	AM2 / UM2N	1,5 / 1,2	Ø 26,2x50,0
Mono	LR 20	R 20	D	AM1 / UM1N	1,5 / 1,2	Ø 34,2x61,5
9 V E-Block	6 LR 61	6 F 22	1604D	6AM6 / 006PN	9,0 / 8,4	26,5x17,5x48,5

IEC: International Electrotechnical Commission

ANSI: American National Standards Institute

JIS: Japanese Industrial Standard

# Primärbatterie-System

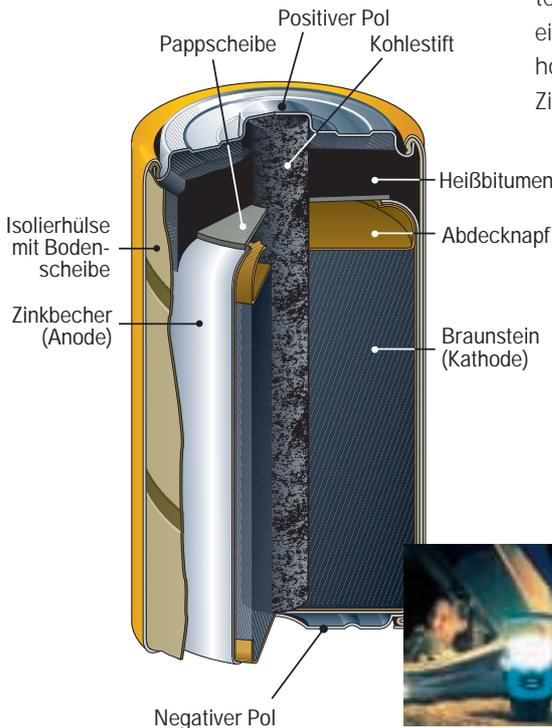
## Zn/C

### Zink-Kohle

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 gegenüber Alkali-Mangan-Batterien oder wieder aufladbaren Batteriesystemen. Steigende Ansprüche an Kapazität und Leistung verdrängen jedoch inzwischen langsam diesen Batterietyp.

Das Zink-Kohle-Element müsste eigentlich „Braunstein/Zink-System mit Salmiak- beziehungsweise mit Zinkchlorid-Elektrolyten“ heißen. Statt dessen bezieht man sich in der Bezeichnung auf die Ableiter Kohle für die positive Elektrode und Zink für die negative Elektrode. Aus Zink besteht gleichzeitig das negative Elektrodenmaterial und das Zellengefäß. Das Zink besitzt in diesem Fall eine Mehrfachfunktion.

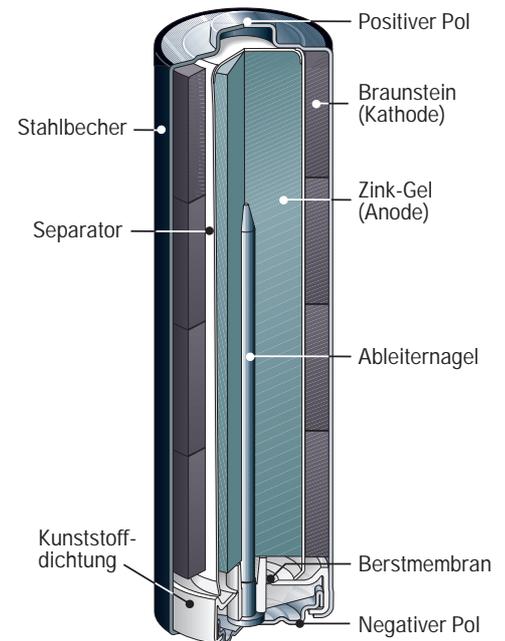
Die positive Elektrode besteht aus einer Braunstein-Masse mit einem zentral angeordneten Kohlestift als Ableiter. Als Elektrolyt dient – je nach System – eine Salmiaksalz- oder eine Zinkchloridlösung. Das höherwertige System ist das Zinkchlorid-System.



## Al/Mn

### Alkali-Mangan

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



Dieses Bild hat sich inzwischen total gewandelt. Seit Mitte der achtziger Jahre hat die alkalische Rundzelle absatzmäßig die Zink-Kohle-Zelle erstmalig in Europa überflügelt.

Die Alkali-Mangan-Batterie müsste richtiger als „Braunstein/Zink-Zelle mit alkalischem Elektrolyten“ bezeichnet werden, da weder Alkalien noch Mangan ihre aktiven Materialien darstellen. Bei diesem System wird Kaliumhydroxid als Elektrolyt verwendet. Die Anode besteht aus einem Gelkern mit gelöstem Zinkpulver, die Kathode aus einer Schicht aus Manganoxid und Grafit.



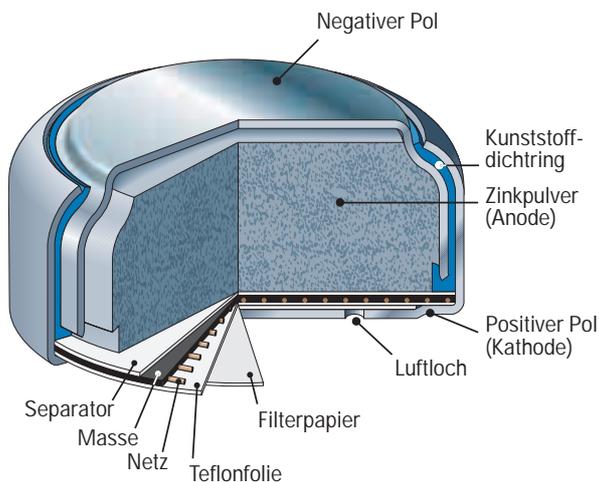
Viele netzunabhängige Geräte wie MP3-Player, Organizer (PDA), digitale Fotoapparate und Camcorder, tragbare CD-Spieler oder Telefone verlangen heute nach hochwertigen Batterien mit besonders großen Stromreserven. Für Hochstromanwendungen sind heute verbesserte Alkali-Mangan-Batterien erhältlich. Die verstärkte Kraft kommt durch mehr aktive Masse einer dickeren Kathode in einem größeren Zelleninnen-Volumen und einem verbesserten Elektrolyten mit hoher Leitfähigkeit. Diese verbesserten Alkali-Mangan-Batterien leisten bis zu 15-mal mehr als vergleichbare Zink-Kohle-Batterien.

# ZnLuft

## Zink-Luft

In Batterien dieses Typs reagiert Luftsauerstoff zusammen mit einer katalytischen Kathode und einer Zinkanode. 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 vom 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.

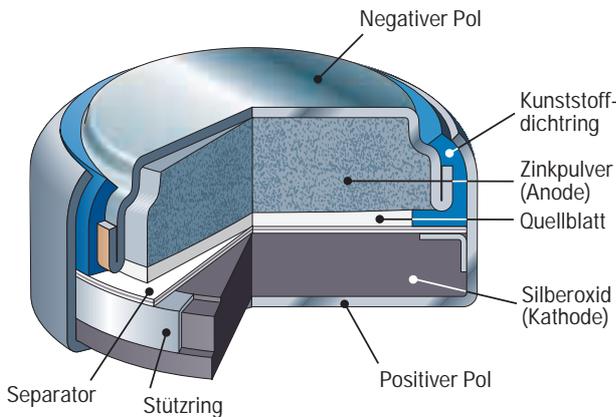


# AgO

## Silberoxid

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.



# LiMnO<sub>2</sub>

## Lithium-Mangandioxid

Die Forscher und Entwickler haben im letzten Jahrhundert so ziemlich alle denkbaren Elektrodenkombinationen und Elektrolyte untersucht. Ein ganz besonderes Interesse galt dem Lithium als leichtem Metall zum Einsatz als negative Elektrode.

Von Anfang an kannten die Entwickler die Problematik: Es galt eine geeignete positive Elektrode zur negativen Lithiumelektrode 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 Batteriesystemen kommen auch nur wasserfreie Elektrolyte zum Einsatz. Sie bestehen vielfach aus organischen und anorganischen Lösungsmitteln. Zusätze bestimmter Salze fördern die Leitfähigkeit.



Mehrere Lithium-Systeme sind heute verfügbar. Von allen am weitesten verbreitet ist das Lithium-Mangandioxid-System. Die negative Elektrode besteht hier aus Lithium und die positive Elektrode aus Mangandioxid.

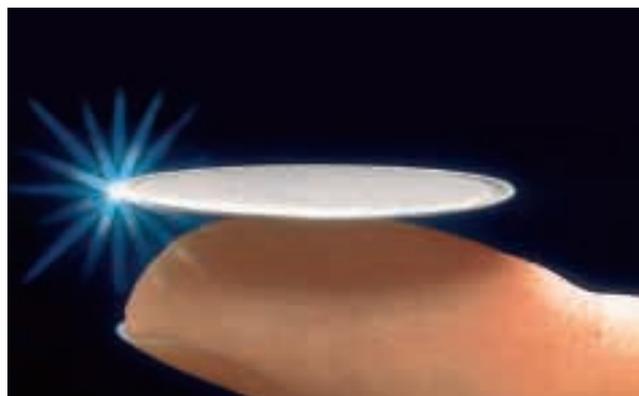
Die Vorteile der Lithium-Zellen sind: hohe Spannungslage, hohe Energiedichte, flache Entladekurven, sehr gutes Lagerverhalten und ein weiter nutzbarer Temperaturbereich. Sie sind in allen Bauformen erhältlich. Aufgrund der geringen Selbstentladung

eignen sich Lithium-Batterien für Langzeitanwendungen in der Elektronik, Telekommunikation und im Messwesen.

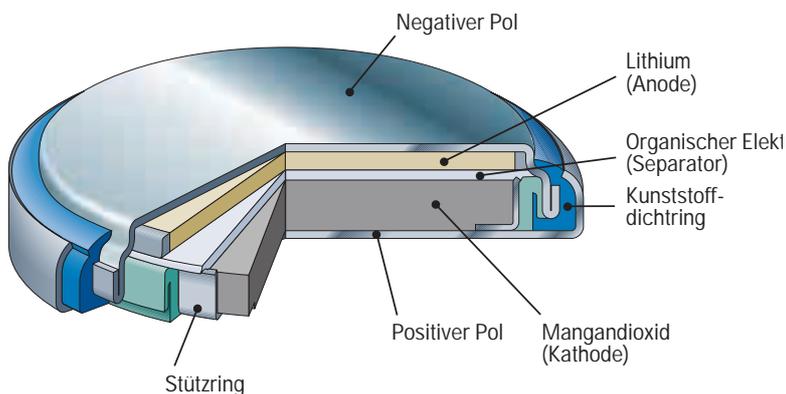
Darüber hinaus kommen sie häufig für Fotoanwendungen zum Einsatz. Mit ihrer Energie funktionieren bei modernen Fotoapparaten der automatische Filmtransport, die Belichtungskontrolle sowie das Blitzlicht.

Eine neue Entwicklung ist die ultra-dünne Lithium-Flachzelle, auch Lithium-Papierzelle genannt. Diese Batterie misst weniger als 0,4 Millimeter und passt perfekt in scheckkartengroße, intelligente Smart-Cards. Das sind aktive Karten mit batteriebetriebenen Mikrochip sowie integriertem Display. Ohne Batterie in der Karte sind die so genannten Transponderfunktionen über größere Entfernungen nicht möglich. „Transponder“ setzt sich zusammen aus **Transmitter** (Sender) und **Responder** (Beantworter). Das öffnet nicht nur Türen. Eine kleine Smart-Card kann den gesamten Zahlungsverkehr abwickeln. Egal, ob Fahrscheine im Personennah-

Lithium-Papierzelle für Smart-Card-Anwendungen



verkehr, 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.



# Sekundärbatterie-System

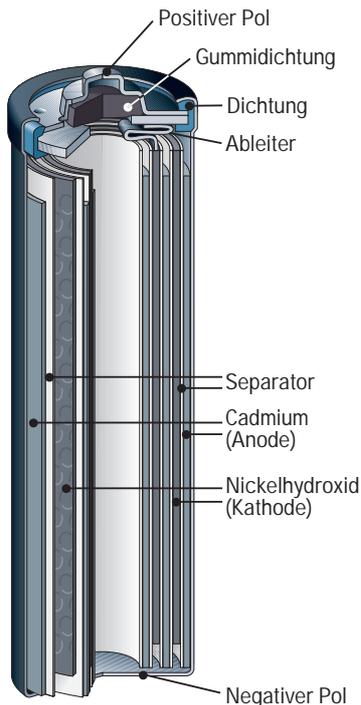
## NiCd

### Nickel-Cadmium

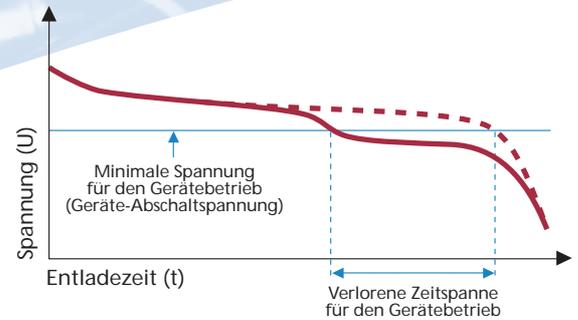
Die aktiven Komponenten von NiCd-Akkumulatoren sind im geladenen Zustand Nickelhydroxid in der positiven Elektrode und Cadmium in der negativen Elektrode. Der Elektrolyt besteht aus Kaliumhydroxid.

Die Vorteile dieses Batteriesystems, auch gegenüber neueren Akku-Systemen, sind hohe Belastbarkeit, Schnellladefähigkeit und Kältefestigkeit bis minus 15 °C. Ein 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: Bei einer Dauerladung mit niedrigen Strömen oder bei Aufladung vor der vollständigen



Kapazitätsverlust durch klassischen Memory-Effekt



Entleerung entstehen an der negativen Elektrode bestimmte metallische Kristalle. Dadurch verringert sich die verfügbare Kapazität der negativen Elektrode bei gegebener Belastung immer mehr, so dass 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 so genannte 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 von der eigentlichen Ladung bis zur maximalen Kapazitätsgrenze.



# NiMH

## Nickel-Metallhydrid

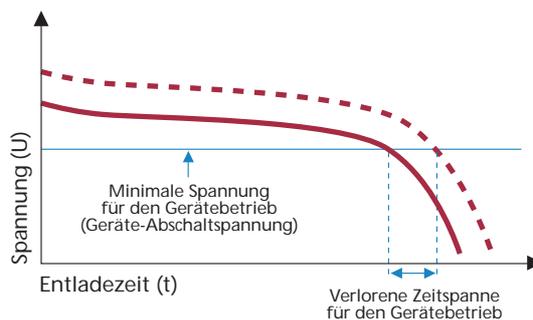
Batterien dieses Systems bestehen aus den folgenden Hauptkomponenten (geladener Zustand): einer positiven Elektrode aus Nickelhydroxid, einer negativen Elektrode aus einer Wasserstoff speichernden Legierung und einem alkalischen Elektrolyt. Der wesentliche Unterschied zwischen NiMH- und NiCd-Batterien besteht darin, dass das Cadmium vollständig durch eine Wasserstoff speichernde Legierung ersetzt ist. Die Energiedichte pro Volumen ist für NiMH-Akkus höher als bei herkömmlichen NiCd-Akkus. Sie kommen für fast alle Anwendungen als Ersatz für das NiCd-System infrage. Der prinzipielle Aufbau beider Batteriesysteme ist identisch.



Bei der NiMH-Technologie kann ein Lazy-Battery-Effekt vergleichbar mit dem klassischen Memory-Effekt auftreten. Dieser lässt sich ebenfalls wieder vollständig beseitigen. 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: Den Akku von Zeit zu Zeit komplett entladen und dann wieder aufladen. 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



# Li-Ion

## Lithium-Ionen

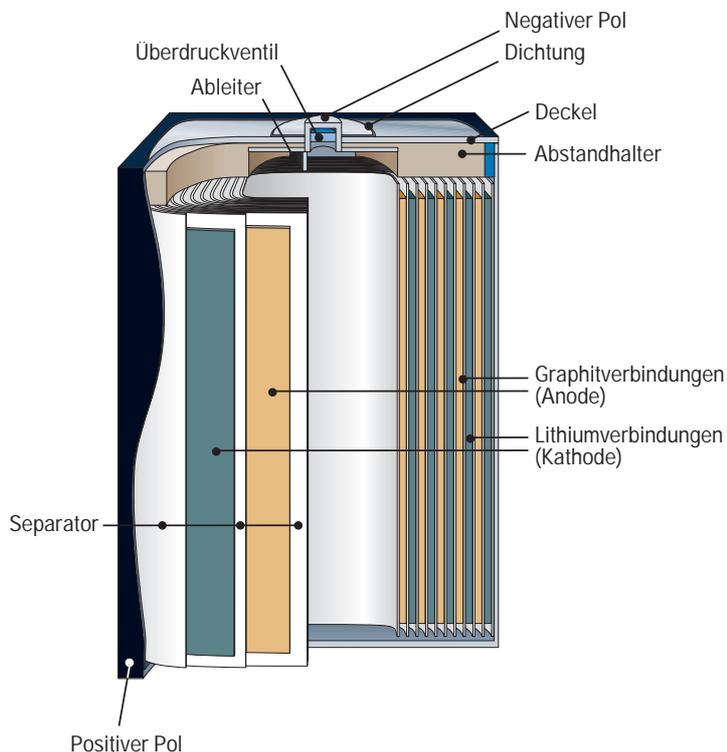
Diese Batterien besitzen von allen wieder aufladbaren Systemen die höchste Energiedichte und können daher am meisten Energie abgeben, bezogen auf ein bestimmtes Volumen oder Gewicht. Wie bei anderen Sekundär-Systemen hängt die Zyklendauer von der Anwendung ab.

Nicht wieder aufladbare Lithium-Batterien sind bereits seit über 20 Jahren im Handel. Ein wesentliches Anwendungsbeispiel liegt im Fotobereich (Hochstromanwendung). Die Batterien können bei Anwendungen im Niedrigstrombereich eine Lebensdauer von über zehn Jahren erreichen. Schon sehr früh versuchte man, wieder aufladbare Lithium-



Batterien zu entwickeln. Heute sind Lithium-Ionen-Batterien für viele Einsatzzwecke das System der Wahl, wenn es auf hohe Energiedichten ankommt. Hauptanwendungen sind Telekommunikation und tragbare Computer. Als Großbatterie finden Lithium-Ionen-Systeme ihren Einsatz in Hybridfahrzeugen oder in Fahrzeugen mit neuen Bordnetzen.

Lithium-Ionen-Akkus sind nicht kompatibel zu NiCd- oder NiMH-Akkus. Sie erfordern eine spezielle Ladetechnik und ein besonderes Zellenmanagement.



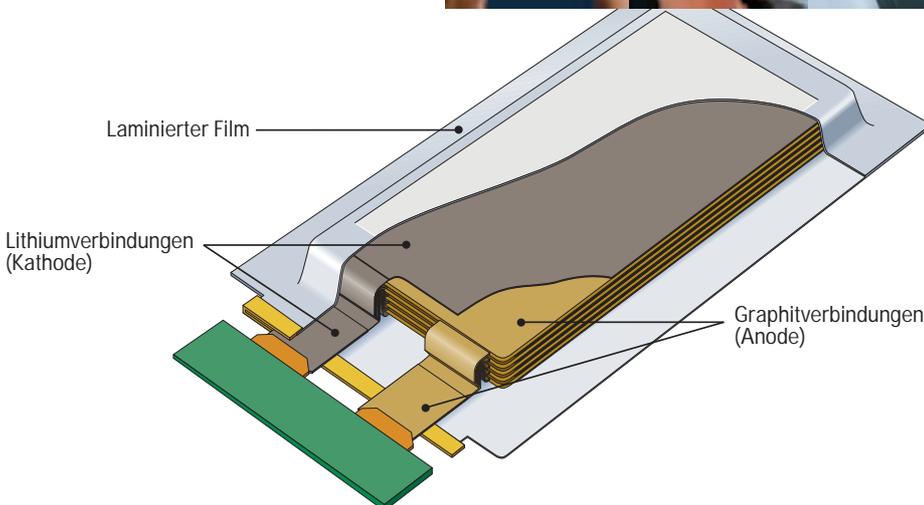
# Li-Polymer

## Lithium-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. Zellen in Polymertechnik sind wieder aufladbar. Sie verfügen über eine hohe Energiedichte. Da sie keinen freien, flüssigen Elektrolyten besitzen, sind sie absolut auslaufsicher.

Anstelle von Metallgefäßen als Zellengehäuse finden Aluminium- oder metallisierte Kunststoff-folien Verwendung. Es lassen sich beliebige Formen realisieren, um beispielsweise in Ge-räten Hohlräume zu nutzen. Auch besonders flache, folienähnliche An-ordnungen sind möglich.

*Die formbaren Lithium-Polymer-Batterien lassen sich leicht an das Design eines Handys oder Laptops anpassen*



# Entsorgung

## Batterieverordnung

Die Batterieverordnung (Verordnung über die Rücknahme und Entsorgung gebrauchter Batterien und Akkumulatoren (BattV) vom 27. März 1998) trat in zwei Schritten in Kraft: Der erste Schritt betraf die Kennzeichnungsvorschriften und Verbote des In-Verkehr-Bringens bestimmter schadstoffhaltiger Batterien. Sie gelten seit dem 1. April 1998 und sind eine direkte Umsetzung der EG-Richtlinie.

Der zweite Schritt betraf die Pflichten der Hersteller, Importeure, Vertrieber, öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (ÖRE) und Endverbraucher und wird seit dem 1. Oktober 1998 von diesen umgesetzt. Batterien dürfen nicht mehr in den Hausmüll, unabhängig vom elektrochemischen System und Schadstoffgehalt. Der Verbraucher ist der erste in der Rücknahmekette: Er muss gebrauchte Batterien dem Vertrieber zurückgeben, also dem Batterieverkäufer oder dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger.

Die Vertrieber und die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (Kreise und kreisfreie Städte) sind die zweiten in der Rücknahmekette. Sie haben eine unentgeltliche Rücknahmepflicht, und zwar unabhängig von der Marke und dem System.

Hersteller und Importeure von Batterien haben nun wiederum die Pflicht, Vertrieber und öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger mit geeigneten Sammelbehältern auszustatten und die gesammelten Gerätebatterien unentgeltlich zurückzunehmen.

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.

Obwohl erst seit einigen Jahren in Kraft, ist die Batterieverordnung bereits überarbeitet worden. Diese Novellierung der Batterieverordnung betrifft in erster Linie das Verbot des In-Verkehr-Bringens von

Batterien mit einem Quecksilbergehalt von mehr als 5 ppm Hg. Hierin eingeschlossen sind auch Batterien, die in Geräten eingebaut sind. Knopfzellen dürfen noch bis zu zwei Prozent Quecksilber enthalten.

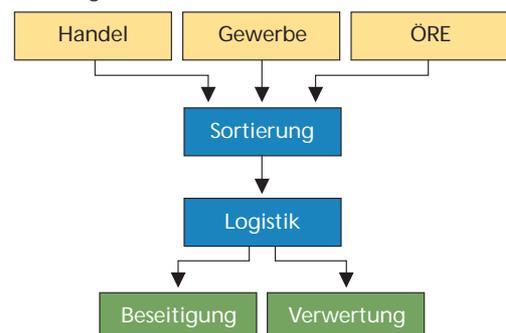
## Stiftung GRS Batterien

Die Batterieverordnung sieht ein gemeinsames Rücknahmesystem der Hersteller vor. Die Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS Batterien) ist eine Non-Profit-Organisation. Sie wurde gegründet von den Firmen: Duracell, Energizer, Panasonic, Philips, Saft, Sanyo, Sony, Varta und dem Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI). Im Mai 1998 genehmigte der Senat der Freien Hansestadt Hamburg die Stiftung.

Zwischenzeitlich nutzen mehr als 400 Hersteller und Importeure das GRS Batterien. Sie bezahlen einen Entsorgungsbeitrag für ihre in Deutschland in Verkehr gebrachten Batterien, abhängig von Gewicht und System.

Vertrieber, gewerbliche und industrielle Verbraucher und öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (ÖRE) erhalten von der Stiftung unentgeltlich Sammel- und Transportbehälter. GRS Batterien organisiert den Transport, die Sortierung und die nachfolgende Entsorgung. Mit der umfangreichen Dokumentation gegenüber den Landesbehörden übernimmt GRS Batterien ebenfalls die Erfolgskontrolle.

Der Weg der verbrauchten Batterie



Hg

## Sortierverfahren

Vor der Verwertung ist es notwendig, die eingesammelten Batterien nach den unterschiedlichen elektrochemischen Systemen zu sortieren. Zurzeit gibt es in Deutschland zwei verschiedene Sortierverfahren.

Das von der europäischen Batterieindustrie mitentwickelte elektromagnetische Verfahren nutzt den „elektrodynamischen Fingerabdruck“, um ein System zu erkennen. Die Anlage sortiert zuerst nach Größen und trennt die Batterien dann in „magnetische“ (rund 85 Prozent) und „nicht magnetische“ (rund 15 Prozent). Anschließend passieren die magnetischen Rundzellen einen Sensor. Dieser besteht aus einer Spule, durch die ein Strom fließt und ein Magnetfeld erzeugt. Je nachdem, welches elektrochemische System gerade den Sensor passiert, verändert sich das Magnetfeld. Anhand dieser Veränderung wird mit einer Geschwindigkeit bis zu acht Batterien pro Sekunde das jeweilige Batteriesystem erkannt.

Beim Röntgen-Verfahren passieren die Batterien nach der Größensortierung einen Röntgensensor. Anhand der Graustufung des Röntgenbildes lässt sich das System erkennen. Die Sortiergeschwindigkeit beträgt bis zu zehn Batterien pro Sekunde.

Unabhängig davon, nach welchem Verfahren die Batterien in die unterschiedlichen Systeme aufgeteilt wurden, durchlaufen alle Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien anschließend einen UV-Sensor. Bereits seit Ende der 90er Jahre kodieren die großen Batteriehersteller die quecksilberfreien AIMn- und einen Teil der ZnC-Batterien mit einem UV-sensiblen Pigment. Durchlaufen nun solche kodierten Batterien den UV-Detektor, werden sie als quecksilberfrei erkannt. So ist eine Trennung zwischen quecksilberfreien und quecksilberhaltigen Batterien möglich. Das ist wichtig für eine nachfolgende Verwertung. Quecksilberfreie AIMn- und ZnC-Batterien lassen sich ökonomisch und ökologisch sinnvoll recyceln.

Sammelbehälter des  
GRS Batterien

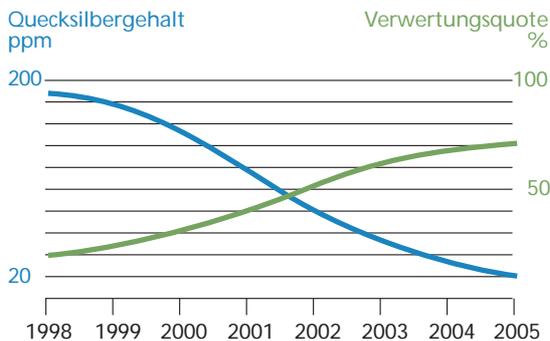


Automatische Sortieranlage  
der Trienekens AG



Prominente machen mit:  
Boxweltmeister  
Dr. Wladimir Klitschko  
wirbt für GRS Batterien

Noch befinden sich jedoch relativ viele quecksilberhaltige beziehungsweise ältere, nicht kodierte Batterien im Abfallstrom. Aus diesem Grund lassen sich zurzeit noch nicht alle Alkali-Mangan- und Zink-Kohle-Batterien verwerten. Diese müssen auf Sonderabfalldeponien beseitigt werden.

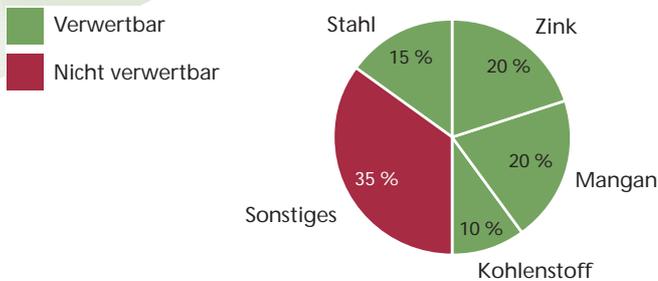


## Verwertungsverfahren

Die Industrie nutzt heute unterschiedliche metallurgische Verfahren zur Verwertung von Alkali-Mangan-, Zink-Kohle- und Zink-Luft-Batterien. Als Beispiele sind nachfolgend zwei Methoden beschrieben: Das Imperial-Smelting-Verfahren und die Verwertung im Elektrostahlofen. Zurzeit laufen Versuche, Batterien auch nach anderen metallurgischen Verfahren zu verwerten, beispielsweise im Blasstahlofen oder im Wälzofen.

werden, ist das Zink im Ofenschacht dampfförmig und wird mit dem Gichtgas ausgetragen. Im anschließenden Kondensator wird das zinkbeladene Gichtgas durch fein versprühtes Blei abgekühlt. Das Zink kondensiert an den Bleitropfchen. Dieses Blei wird aus dem Kondensator gepumpt und in einer Kühlrinne abgekühlt. Am Ende dieser Kühlstrecke liegen beide Metalle, Zink und Blei, flüssig nebeneinander vor. Anschließend fließt das Blei zurück in den Kondensator und kann erneut Zink aufnehmen. Das Zink wird flüssig abgestochen und der Raffination zugeführt.

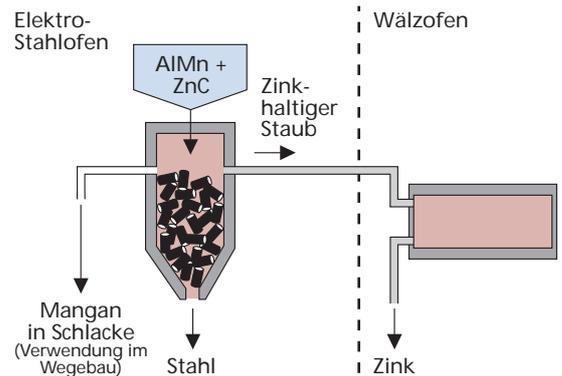
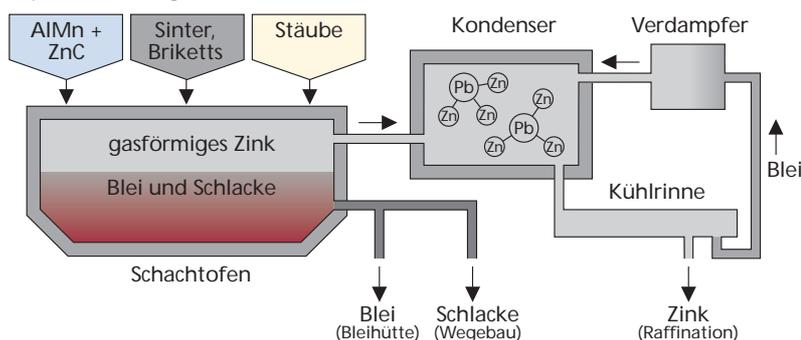
Anteile verwertbarer Materialien in Batterien



- Zink-Kohle und Alkali-Mangan  
Mit dem Imperial-Smelting-Verfahren lässt sich aus zinkhaltigen Vorstoffen Zink zurückgewinnen. Die unzerkleinerten Batterien gelangen direkt in den Schachtofen. Hier werden aus den unterschiedlichsten in den Prozess eingebrachten Materialien in einem Schritt gleichzeitig Zink und Blei (nicht aus Batterien) als Metalle erzeugt. Während Blei und die bei dem Prozess anfallende Schlacke gemeinsam flüssig abgestochen und erst später getrennt

Im Elektrostahlofen lässt sich das Zink als Zinkstaub zurückgewinnen. Im Wälzofen erfolgt die Weiterverarbeitung zu reinem Zink. 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, Flusstahl genannt, durch große Reinheit aus.

Imperial-Smelting-Verfahren



- Knopfzellen  
Gegenwärtig existieren in Deutschland mehrere Anlagen zur Aufbereitung quecksilberhaltiger Knopfzellen. Einige davon arbeiten nach dem Verfahren der Firma ALD. Diese Technik wird vorzugsweise eingesetzt, um Quecksilber aus quecksilberhaltigen Bauteilen zurückzugewinnen.

Beim ALD-Verfahren erfolgt die Behandlung der quecksilberhaltigen Abfälle vakuothermisch. Dies erfolgt in speziellen, hermetisch verschlossenen Anlagen. Bei Temperaturen zwischen 350 °C und 650 °C und Drücken von 0,1 bis 700 Millibar verdampft das enthaltene Quecksilber und kondensiert anschließend bei niedrigen Temperaturen. Danach ist es möglich, das Quecksilber wieder dem Fertigungskreislauf zuzuführen.

- Nickel-Cadmium

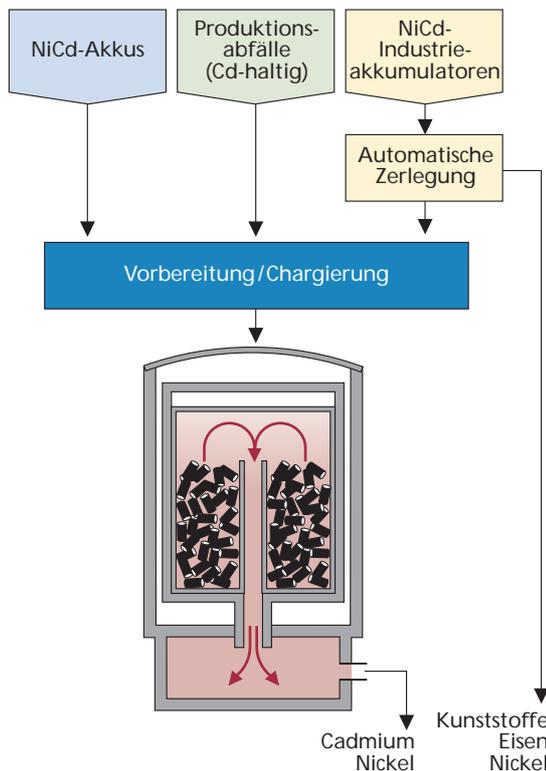
Für das Recycling verbrauchter Nickel-Cadmium-Akkumulatoren (NiCd) sind bislang nur thermische Verfahren von Bedeutung. Unter Vakuum (ALD) oder in einer Inertatmosphäre wird das Cadmium abdestilliert und das zurückbleibende Stahl-Nickel-Gemisch an die Edelstahlindustrie verkauft. Das recycelte Cadmium findet in der Regel erneut Verwendung bei der Herstellung von NiCd-Batterien.

- Nickel-Metallhydrid

Der Schwerpunkt beim Verfahren des Nickel-Metallhydrid-Recyclings liegt bei der Rückgewinnung von Nickel. Hier ist es möglich, dass sich Wasserstoff beim Zerkleinern der NiMH-Batterien freisetzt. Deshalb muss die Verarbeitung im Vakuum stattfinden. Über eine Vakuumschleuse kommen die Batterien in eine Schneidkammer. Messer öffnen das Gehäuse, der gespeicherte Wasserstoff entweicht und wird kontinuierlich abgeführt.

Anschließend gelangen die zerkleinerten Batterien in einen Sammelbehälter. Ein Sensor überwacht die „Beruhigungszeit“. Es folgt dann die Belüftung mit Inertgas. Nach Trennung der enthaltenen Kunststoffe entsteht ein nickelhaltiges Produkt. Dies ist ein wichtiger Legierungsbestandteil in der Stahlproduktion.

#### ALD-Verfahren



- Lithium

Die Wiederverwertung dieses sehr reaktiven Metalls erfolgt durch vakuumdestillative Verfahren. Wichtig ist hierbei die Wiedergewinnung der Metalle wie Nickel und Eisen. Das Lithium dient bei dem Verwertungsprozess als Reduktionsmittel.

Das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien erfolgt heute noch im Pilotverfahren. Die metallischen Elektrodenträger und der kobalthaltige Feinanteil werden getrennt und an die Metall produzierende Industrie als Rohstoff verkauft.

# Ausblick

Der Einsatz von Gerätebatterien, ob als Primärsysteme oder Akkus, nimmt weltweit deutlich zu. Immer neue elektronische Geräte, die unabhängig von der Steckdose verfügbar sein sollen, kommen auf den Markt. MP3-Player und Handy werden nicht die letzten sein.

Gleichwohl wird der chemische Energiespeicher Batterie nicht zuletzt vor dem Hintergrund der europäischen Umweltpolitik kritisch betrachtet. Denn Batterien enthalten zur Speicherung elektrischer Energie chemische Substanzen, die zum Teil umweltrelevant sind. Die Batterieindustrie ist sich dieser Herausforderung bewusst und hat bereits in der Vergangenheit Maßnahmen ergriffen, um Produktion, Gebrauch und Entsorgung umweltverträglich zu gestalten. Hierbei konzentriert sie sich nicht allein auf den Lebenszyklus verkaufter Batterien: Sie treibt vor allem die Entwicklung noch leistungsfähigerer Batteriesysteme voran.



*BATT-Man sagt: Bring verbrauchte Energie zurück*



*Flexibler Armreif mit integrierter Uhr und SMS-Display*

Zum Umweltschutz gehört auch, dass verbrauchte Batterien nicht über den Hausmüll entsorgt werden dürfen; dies schreibt die deutsche Batterieverordnung vor. Verbrauchte Batterien gehören in die Sammelbehälter des GRS Batterien, die überall dort vorhanden sind, wo Batterien verkauft werden. Hier ist das aktive Engagement der Verbraucher gefordert.

Wie werden die Batterien der nahen Zukunft aussehen? Zu einem großem Teil sicherlich so wie heute. Die Leistungsdichte wird noch ansteigen und gleichzeitig wird sich das Volumen bei gleicher Leistung weiter verringern. Für neue Anwendungen wie Scheckkarten mit besonderen Sicherheitsanforderungen werden extrem flache Batterien zum Einsatz kommen und in weitere Bereiche vordringen. Vor allem werden die wieder aufladbaren Lithiumsysteme, wie zum Beispiel der Lithium-Polymer-Akku, zunehmend wichtiger und weiter entwickelt.

# 2001...2005...2009...

Miniaturbrennstoffzelle für Kleingeräte



„Intelligente“ Kleidung der Zukunft



Doch auch neue Stoffzusammensetzungen sind zu erwarten: So sind Hochleistungsbatterien in der Erforschung, die natürliche organische Verbindungen nutzen und am Lebensende biologisch abbaubar sind. Auch völlig andere Stromquellen für derzeit noch ungewöhnliche Anwendungen werden entwickelt. Man denke hier nur an zukünftige Kleidung mit Oberflächen aus flexiblen Solarzellenmaterialien.

Ebenfalls könnte zu der wieder aufladbaren Batterie die Brennstoffzelle in Wettbewerb treten. Schon heute sind Miniaturbrennstoffzellen zur Energieversorgung von Notebooks im Entwicklungsstadium. Die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC), ausgerüstet mit nachgeschaltetem DC-DC-Wandler zur Anpassung der Versorgungsspannung und betrieben mit kleinen Methanol-Ampullen, wird eines Tages für ein breites Anwendungs-

spektrum parallel zur Batterie zur Verfügung stehen. Aufgrund der enthaltenen Wertstoffe wird man auch verbrauchte Brennstoffzellen sammeln und verwerten können. Doch bis dahin werden noch einige Jahre vergehen, in denen die Batterie konkurrenzlos und einmalig als Speicher für elektrische Energie bleiben wird.

010...2015...2020

# 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.

**DC-DC-Wandler**, elektronische Schaltung, die eine Gleichspannungsanpassung vornimmt.

**Elektrode**, meistens ein metallischer Leiter, der dazu dient, elektrische Ladungsträger in eine Flüssigkeit, in ein Gas, ins 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 Edelgas.

**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.

**Primärbatterie**, einmal entladbare Batterie.

**Reduktion**, im weiteren Sinne die Aufnahme von Elektronen, wie der Übergang eines Metall-Ions in den elementaren Zustand oder in eine niedrigere Wertigkeitsstufe. Beispiel: Bei der Entladung wird die positive Elektrodenmasse reduziert, das heißt sie „saugt Elektronen auf“.

**Sekundärbatterie**, wieder aufladbare Batterie.

**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.

**vakuothermisch**, thermische Behandlung in sauerstofffreier Atmosphäre.

\* 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

**BattV**, Verordnung über die Rücknahme und Entsorgung gebrauchter Batterien und Akkumulatoren

**Hg-frei**, quecksilberfrei

**Hg-haltig**, quecksilberhaltig

**HgO**, Quecksilberoxid

**Li, primär**, Lithium, nicht wieder aufladbar

**Li-Ion**, Lithium-Ion, wieder aufladbar

**NiCd**, Nickel-Cadmium

**NiMH**, Nickel-Metallhydrid

**ppm**, parts per million (zum Beispiel ein Milligramm pro Tonne)

**SMS**, Short Message Service

**Zn-Luft**, Zink-Luft

**ZnC**, Zink-Kohle

## Quellen

Berndt, D.: Die Entwicklung der Batterie, Hannover, 1998

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

Richtlinie 98/101/EG zur Anpassung der Richtlinie 91/157/EWG

Kiehne, H.-A.: Entsorgung verbrauchter Gerätebatterien, 1996

Fricke, J./Knudsen, N.: Entsorgung und Verwertung verbrauchter Batterien, Hamburg, 2001

## Impressum

Herausgeber:

Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien  
Heidenkampsweg 44  
20097 Hamburg  
www.grs-batterien.de

Die Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien wurde gegründet von den Batterieherstellern Duracell, Energizer Deutschland GmbH, Panasonic Industrial Europe GmbH, Philips Licht GmbH, Saft GmbH, Sanyo Energy (Europe) Corporate GmbH, Sony Deutschland GmbH, VARTA Gerätebatterie GmbH und dem ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.)

Autoren:

Elke Döhring-Nisar, VARTA AG  
Dr. Reiner Korthauer, ZVEI  
Nicole Knudsen, GRS  
Helmut Siegmann, Panasonic

Layout: Frank Loeser

Abbildungen:

Seite 5: Deutsches Museum München, Varta

Seite 7: Varta

Seite 8: Varta, Panasonic, Zefa, Loewe, Handspring

Seite 9: Panasonic, Varta

Seite 10: Citizen, Bayer, Varta, Sharp

Seite 11: Varta, Panasonic, Hewlett Packard

Seite 12: Varta, Philips, Bosch

Seite 13: Siemens, Philips, Psion, Kress

Seite 14: Varta, Nokia, Psion

Seite 15: Nokia, Ericsson, Hewlett-Packard,  
Panasonic, Acer

Seite 16: GRS

Seite 17: GRS, Trienekens

Seite 19: Accurec

Seite 20: GRS, Fraunhofer ISE

Seite 21: Fraunhofer ISE, Klaus Steilmann Institut



Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien

**DURACELL**

**Energizer**



**PHILIPS**

**Panasonic**

**SAFT**

THE BATTERY COMPANY

**SANYO**

**SONY**

**VARTA**  
DIE BATTERIE-EXPERTEN

Zentralverband  
Elektrotechnik- und  
Elektronikindustrie e.V.  
**ZVEI**