

# Der Akkumulator

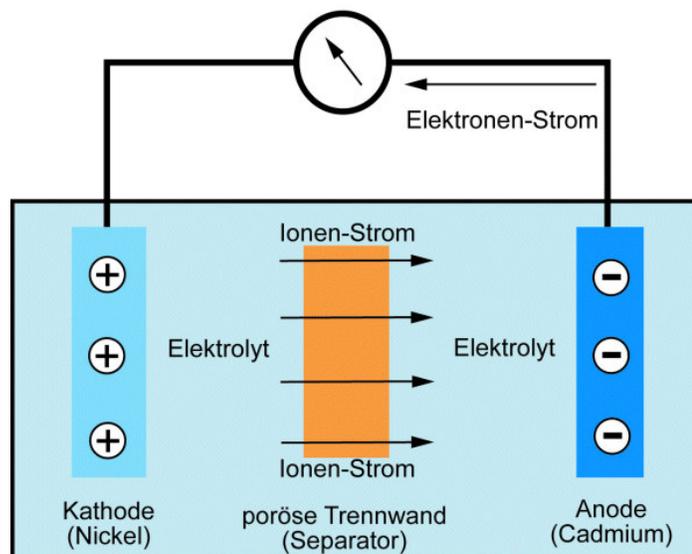
Akkus, auch Sekundärelemente genannt, zählen zu den elektrochemischen Energiewandlern. Sie können chemisch gespeicherte Energie in elektrische Energie umwandeln - und umgekehrt. Letzteres können herkömmliche Batterien (Primärelemente) nicht.

## **A Prinzipielle Funktionsweise eines Akkumulators**

Ein Akku funktioniert wie folgt: In einem Behälter befindet sich eine elektrisch leitende Flüssigkeit (Elektrolyt). Darin sind zwei unterschiedliche leitfähige Metalle (Elektroden) eingetaucht. Sie erzeugen durch die verschiedenen chemischen Zusammensetzungen untereinander eine Spannung. Diese Eigenschaft von Metallen entdeckte Alessandro Volta 1793 und definierte sie in der "Voltaschen Spannungsreihe". Sie besagt: Je weiter zwei bestimmte Metalle in der Spannungsreihe auseinander liegen, desto höher ist die elektrische Spannung zwischen diesen Elementen.

Funktionsprinzip einer Akkuzelle:

Durch einen elektrochemischen Prozess entsteht ein Spannungspotenzial zwischen Anode und Kathode.



Im Elektrolyt trennt eine poröse Wand (Separator) die beiden Metallelektroden (Anode und Kathode), um einen Kurzschluss durch Berührung zu vermeiden. An der Anode herrscht Elektronenüberfluss und an der Kathode Elektronenmangel. Diese Elektronendifferenz definiert die elektrische Spannung. Ein Verbraucher zwischen den Elektroden ermöglicht den Elektronen, die Spannung abzubauen. Den Elektronenfluss von der Anode zur Kathode

bezeichnet man als elektrischen Strom. Die Strommenge, die ein Akku über ein Zeitintervall abgeben kann, heißt Kapazität.

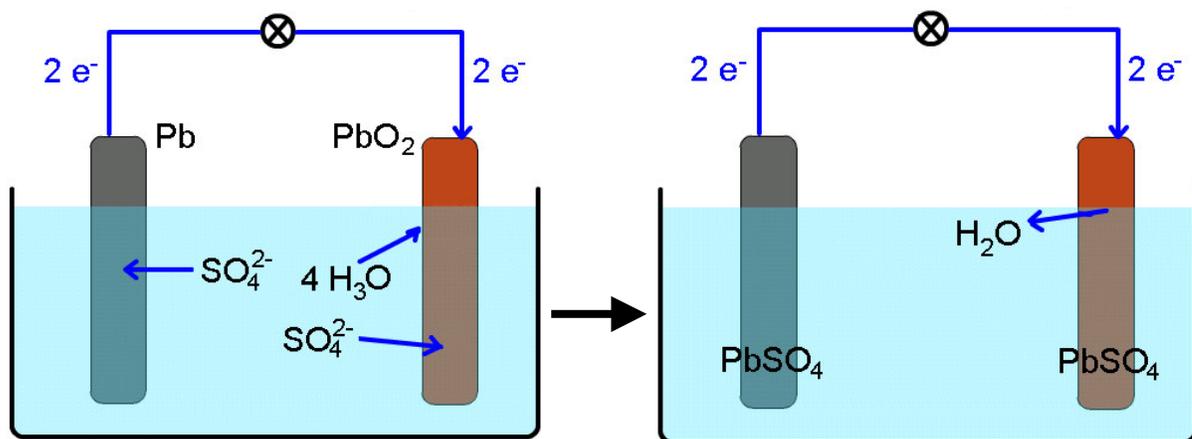
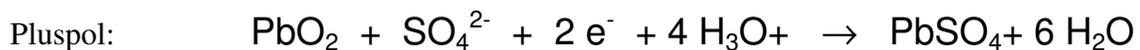
Für einen ständigen Elektronenfluss muss der Stromkreislauf auch im Elektrolyt geschlossen sein. Das übernimmt der elektrochemische Prozess im Elektrolyt durch Oxidation und Reduktion der entsprechend verwendeten Metalle. Wird der Stromkreislauf unterbrochen, stoppt der Prozess der "Entladung" - allerdings nicht vollständig. Bedingt durch einen temperaturabhängigen Reaktionsprozess im Akku wandern Ladungen zwischen den Elektroden und entladen das chemische System. Man spricht dabei von Selbstentladung. Je nach Akkutyp beträgt sie bis zu 30 Prozent der gespeicherten Kapazität pro Monat.

Um einen Akku aufzuladen, pumpt ein Ladegerät Elektronen von der Kathode zur Anode und reaktiviert die entladenen Elektroden. Der Lade- und Entladevorgang lässt sich je nach Akkutyp bis zu etwa 1000 Mal wiederholen.

### Beispiel: Chemische Reaktion beim Entladen und Laden eines Blei-Säure-Akkus

#### Entladen:

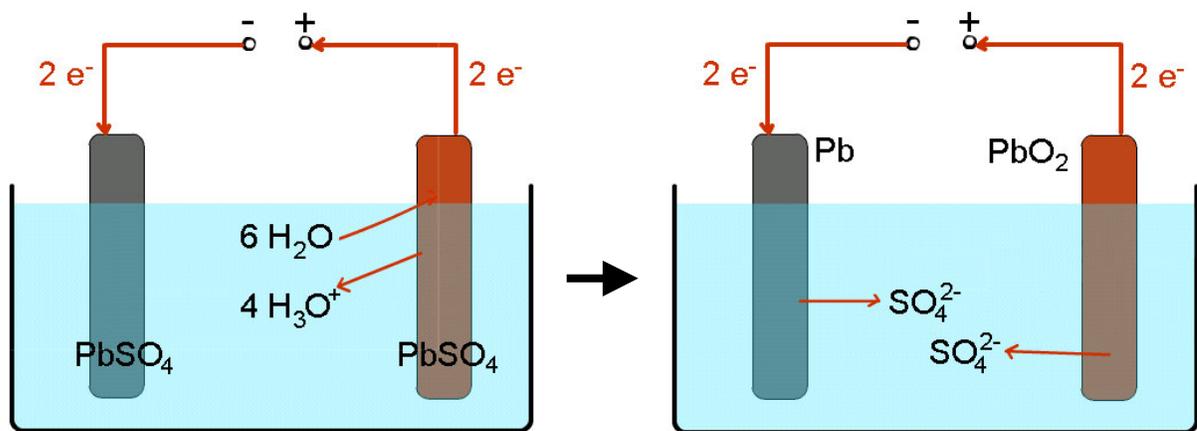
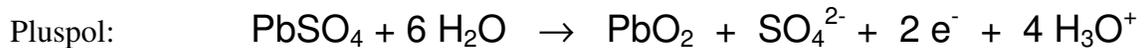
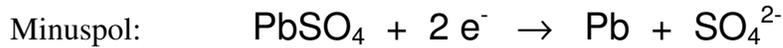
Bei der Stromentnahme fließen Elektronen vom Blei (Minuspole) zum Bleidioxid (Pluspol). Blei wird dabei zu  $Pb^{2+}$  oxidiert, Bleidioxid zu  $Pb^{2+}$  reduziert. Die an beiden Elektroden entstandenen  $Pb^{2+}$ -Ionen reagieren mit den Säurerestionen der Schwefelsäure ( $SO_4^{2-}$ , Sulfat-Ionen) zu schwerlöslichem, weißen  $PbSO_4$ , das sich an den Elektroden oder als Bodenkörper absetzt.



Das Entladen ist eine freiwillig verlaufende Redoxreaktion. Schwefelsäure wird verbraucht und es entsteht Wasser. Die Dichte der Säure sinkt bei diesem Prozess von ca. 1,26 g/cm<sup>3</sup> auf ca. 1,18 g/cm<sup>3</sup>. Man ist demnach in der Lage, den Ladungszustand des Akkus mit Hilfe der Säuredichte zu bestimmen.

### Laden:

Der Ladevorgang ist ein erzwungener Prozess, bei dem man Spannung an die Elektroden anlegt (bei einem Blei-Säure-Akku mit 6 mal 2V wird eine Gleichspannung von ca. 14,4 V angelegt) und so die Stromrichtung und die beim Entladen stattfindenden elektrochemischen Prozesse umkehrt.



Wenn man bei einer Säuredichte von 1,15 g/cm<sup>3</sup> nicht nachlädt, wird der Akku irreversibel beschädigt. Der Akku ist erschöpft, wenn das gesamte Bleidioxid reduziert wurde.

### Altern des Akkumulators (speziell Blei-Säure-Akku)

Das Laden und Entladen ist theoretisch unbegrenzt wiederholbar. Praktisch ist dies jedoch nicht möglich, weil unter anderem die Raumbeanspruchung von Bleisulfat größer ist, als die von Bleioxid oder Blei. Dadurch lockert sich im Laufe des Betriebs die aktive Masse immer mehr auf und verliert allmählich an Festigkeit. Masseteilchen der Platten brechen aus und nehmen nicht mehr am aktiven Batterieleben teil. Bei Starterbatterien füllen sie als Bleischlamm den Schlammraum am Boden des Akkus. Ist soviel Blei zu Boden gesunken, dass der Schlamm die Plattenunterkante berührt, kommt es zum Kurzschluss. Die Batterie ist "platt", und das geschieht meist zu Beginn des Winters über Nacht.

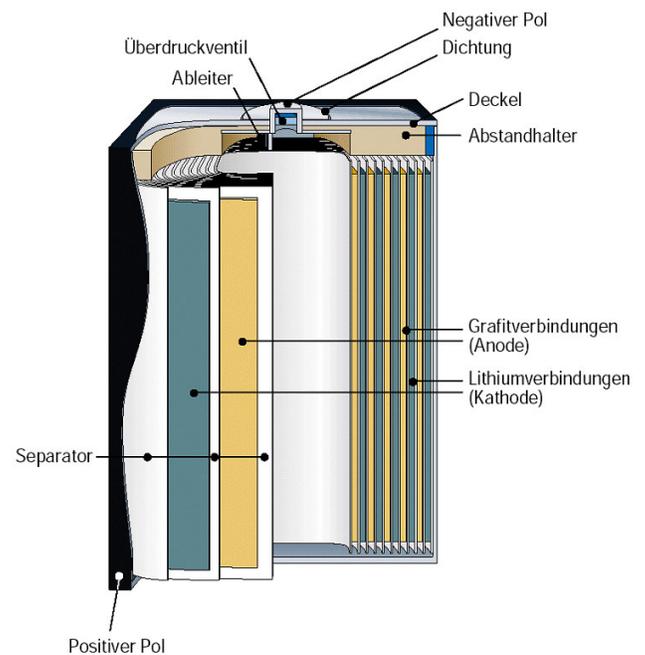
## B Akkumulator – Typen

### 1.) Lithium-Ion-Akku:

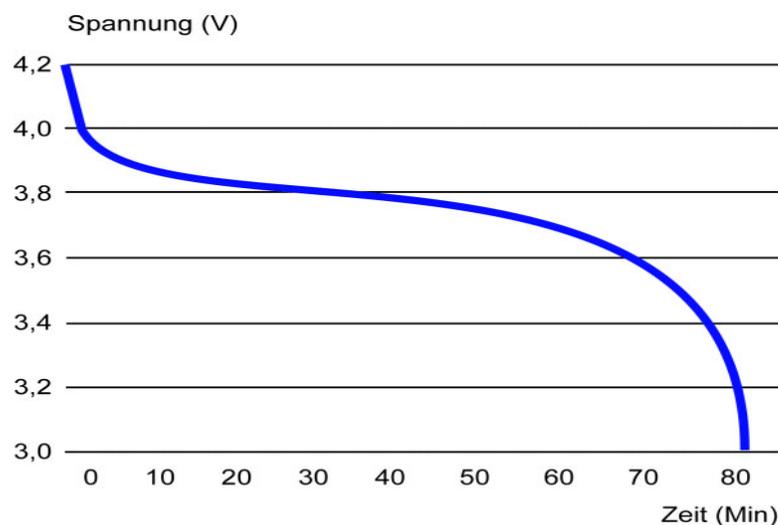
Der Lithium-Ionen-Akku ist die jüngste Evolution in der Akkutechnologie. Er besitzt mit 90 bis 110 Wh/kg die höchste spezifische Energie unter den wiederaufladbaren Systemen. Ein zusätzliches Plus besteht in der geringen Selbstentladung und somit über lange Lagerfähigkeit ohne erneutes Aufladen der Zellen. Ein besonderer Vorteil der Lithium-Ionen-Technologie ist, dass weder Memory-Effekt noch Lazy-Battery-Effekt auftreten. Auch liefert die Lithium-Ionen-Zelle über den gesamten Entladezeitraum eine nahezu konstante Ausgangsspannung, die deutlich über der Nennspannung von zirka 3,6 V liegt.

Die Lithium-Ionen-Technologie besitzt im Vergleich zu den herkömmlichen Akkus wie NiCd oder NiMH die höchste spezifische Energie.

Anders als NiCd- oder NiMH-Akkus verfügt ein Li-Ion-Energiespeicher über eine Systemspannung von typisch 3,6 V statt 1,2 V. Verantwortlich dafür ist der besondere Aufbau. So enthält der Li-Ion-Akku als Material für die Kathodenelektrode eine Lithiumverbindung, die aus Cobalt-, Mangan- oder Nickel-Oxid bestehen kann. Die Anode setzt sich aus einer Graphitverbindung zusammen. Die Isolierung zwischen den beiden Elektroden besteht aus einer mikrodurchlässigen Kunststoffmembran. Als Elektrolyt dient ein gelöstes Lithiumsalz in einem organischen Lösungsmittel.



Entladekurve eines Lithium-Ionen-Akkus: Die Spannung während des Entladevorgangs liegt nahezu über die gesamte Zeitspanne über der Nennspannung von 3,6 V. Negative Phänomene wie der Memory- oder Lazy-Battery-Effekt treten nicht auf.



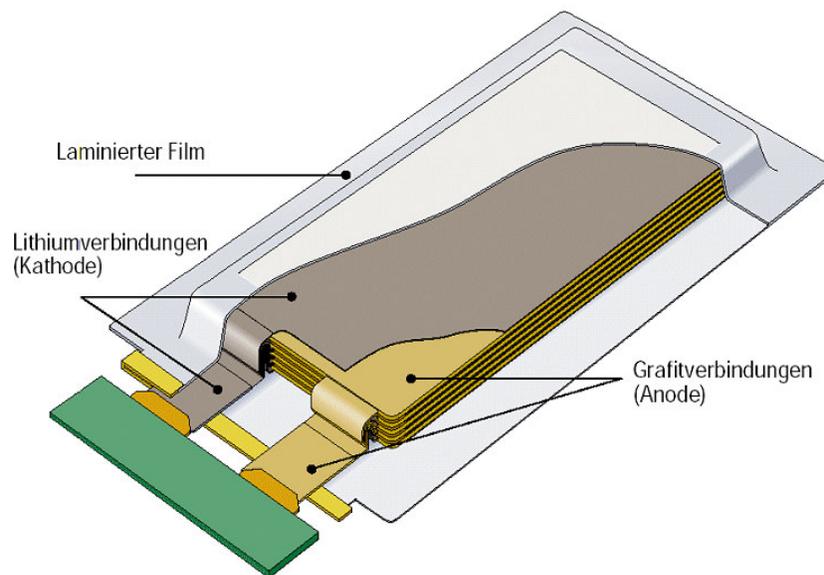
Lithium ist ein hoch reaktives Leichtmetall, so dass bei starker Erwärmung das leicht entzündliche Material explodieren kann. Aus diesem Grund verwenden die heutigen Akkus - wie oben beschrieben - ein organisches Elektrolyt. Trotzdem besitzt jeder Lithium-Ionen-Akku aus Sicherheitsgründen ein Ventil zum Druckabbau und ein besonders druckfestes Gehäuse. Zusätzlich muss jeder Lithium-Akku mit einer speziellen Ladeelektronik ausgestattet sein. Sie verhindert einen zu hohen Stromfluss vom und zum Akku, regelt das Lade- und Entladeverhalten und schützt die Energiezelle vor Überhitzung. Alle diese Sicherheitsmaßnahmen schlagen sich im Preis nieder. So ist eine wiederaufladbare Lithium-Ionen-Batterie gegenüber einem NiMH-Akku um zirka 30 Prozent teurer.

In Bezug auf Gewicht und Volumen hat die Lithium-Ionen-Technologie das höchste Energiespeichervermögen gegenüber den herkömmlichen Akkus wie NiCd und NiMH. Allerdings erreichen die Lithium-basierenden Akkuzellen nicht die Kapazität. Die bevorzugten Einsatzgebiete für Lithium-Ionen-Akkus sind Handys und Notebooks.

## 2.) Lithium-Polymer-Akku:

Die Lithium-Polymer-Akkus besitzen prinzipiell den gleichen Aufbau wie Lithium-Ionen-Zellen - mit einem Unterschied: Sie enthalten keine wässrigen Elektrolyte und sind daher auslaufsicher. Den flüssigen Reaktionsstoff ersetzen die Entwickler durch ein festes beziehungsweise Gel-artiges Polymerelektrolyt. Die Lithium-Polymer-Akkus verfügen über die gleiche hohe spezifische Energie, wie das Lithium-Ionen-Pendant.

Durch das feste Polymer-Elektrolyt lassen sich die Abmessungen des Akkus (Gehäuseformen) frei variieren.



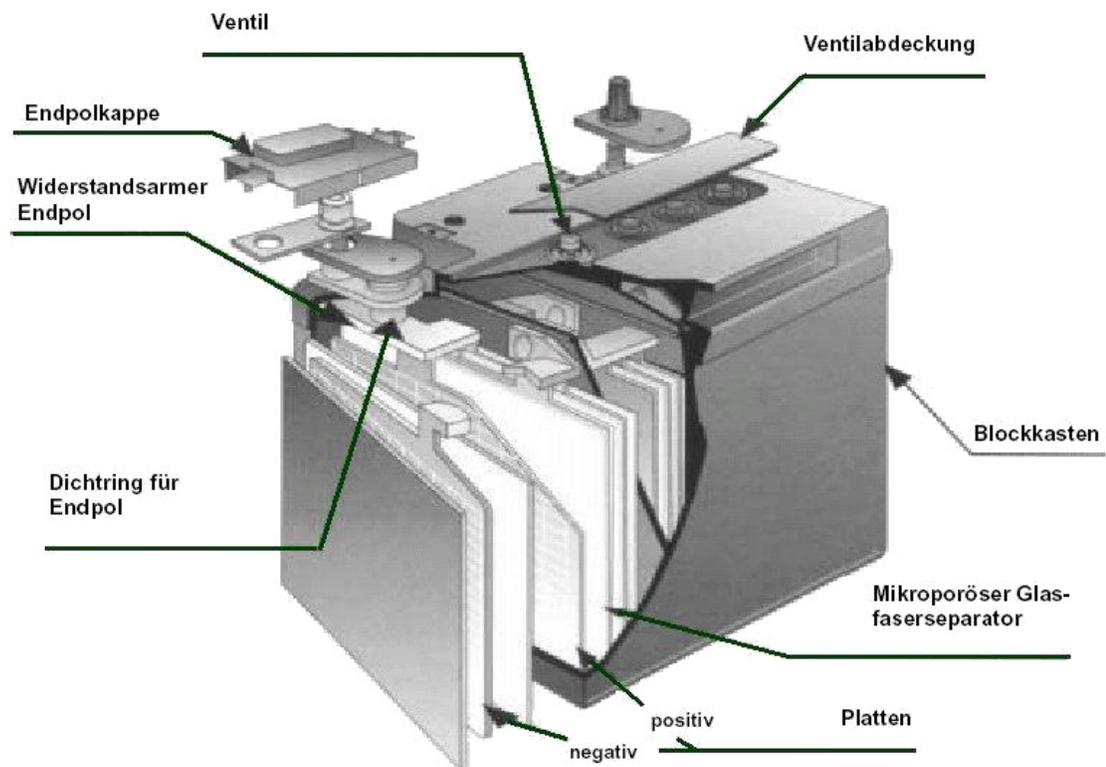
Die klassischen Gehäuseformen wie zylindrische oder rechteckige Metallgefäße sind mit der Einführung der Lithium-Polymer-Technologie passe. So lassen sich jetzt durch Aluminium- oder metallisierte Kunststofffolien nahezu alle Formen von Lithium-Polymer-Akkus realisieren. Komplizierte Hohlräume von Geräten lassen sich auf diese Weise mit einem Li-Polymer-Akku mit wenig Aufwand ausfüllen.

## 3.) Blei-Säure-Akku:

Die positive Elektrode eines herkömmlichen offenen Blei-Säure-Akkus besteht aus Bleidioxid ( $\text{PbO}_2$ ), als negatives Elektrodenmaterial kommen Bleiplatten zum Einsatz. Zwischen den Elektrodenplatten befindet sich ein Separator, der aus Glasfaser, Mikroglass oder PVC bestehen kann. Als Elektrolyt dient in einer Flüssigkeit gelöste Schwefelsäure. Mittlerweile ersetzen die Entwickler aus Effizienzgründen die Flüssigkeit durch eine gelartige Masse, die eine rasche Ausgasung des gebundenen Elektrolyts verhindert. Als Bauform kommt ein geschlossenes gasdichtes System zum Einsatz. Dies schützt den Akku vor rascher "Austrocknung" und verlängert die Lebensdauer.

Darüber hinaus vereinfacht der geschlossene Blei-Säure-Akku die Wartung und verhindert bei unsachgemäßer Behandlung beziehungsweise mechanischer oder elektrischer Überbeanspruchung das Auslaufen des Elektrolyts. Als Sicherheitsmechanismus dient ein Ventil, das bei einem kritischen Überdruck innerhalb des Akkus anspricht.

Aufbau eines gasdichten Blei-Säure-Akkus: Ein Ventil schützt den geschlossenen Blei-Säure-Akku bei einem Überdruck in der Akkuzelle vor einer möglichen Gehäuseverformung oder gar Explosion.



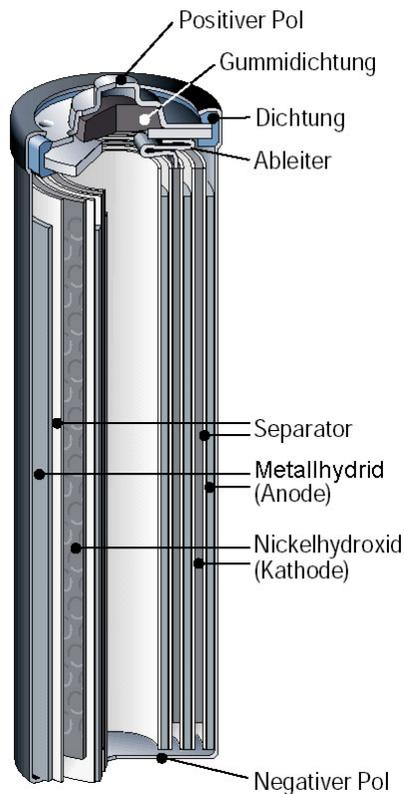
Die Vorteile von Bleiakkus sind die Hochstromfähigkeit und die niedrigen Herstellungskosten, da nur sehr preiswerte Grundmaterialien wie Blei und Schwefelsäure verwendet werden. Eigenschaften, die die Nutzungsdauer des Akkus verkürzen, wie Memory-Effekt oder Lazy-Battery-Effekt, besitzt die Blei-Säure-Akkutechnologie nicht. Demgegenüber steht die geringe spezifische Energie von 30 bis 50 Wh/kg. Zusätzlich schränkt das hohe Gewicht des Akkus das Einsatzgebiet ein. Ein weiteres Manko ist die problematische Umweltverträglichkeit des Schwermetalls Blei.

Verwendung findet der Bleiakku vorwiegend in der Automobilindustrie und in der IT-Industrie als Energielieferant für Notstromversorgungen (USV). In diesen Einsatzgebieten besitzt der Blei-Säure-Akku - wie keine vergleichbare Akkutechnologie - die Fähigkeit, in sehr kurzer Zeit große Ströme zu liefern. Die Lebensdauer moderner gasdichter Bleiakkus beträgt bei sachgerechter Nutzung zirka sechs Jahre.

#### 4.) Nickel-Metallhydrid-Akku:

Mit der zunehmenden Anforderung von mobilen Geräten an Akkus, hohe und konstante Ströme über einen langen Zeitraum zu liefern, entwickelten die Ingenieure den Nickel-Metallhydrid-Akku. Seine Elektroden sind von einem alkalischen Elektrolyt umgeben. Der Pluspol der Energiezelle enthält Nickel-Hydroxid, und der Minuspol besteht aus einer Metalllegierung, die Wasserstoff binden kann. Der Aufbau gasdichter NiMH-Akkus entspricht prinzipiell denen von NiCd-Zellen.

Aufbau einer NiMH-Akkurundzelle: Anders als die NiCd-Zelle enthält der NiMH-Akku kein hochgiftiges Schwermetall. Im mechanischen Aufbau unterscheiden sich die beiden Technologien kaum.



Durch seine Materialzusammensetzung liefert der NiMH-Akku bei identischem Volumen und gleichem Gewicht wie ein NiCd-Akku eine höhere spezifische Energie. Sie beträgt 60 bis 80 Wh/kg. Allerdings verzichtete man auf die Verwendung von giftigen Schwermetallen, so dass die Entsorgung der Akkus weniger problematisch ist als bei NiCd-Akkus. Ein gravierender Nachteil der NiMH-Technologie besteht im kapazitätsmindernden Lazy-Battery-Effekt - ähnlich dem Memory-Effekt bei NiCd-Zellen.

Auf Grund der guten Umweltverträglichkeit und einer sehr hohen Kapazität umfasst das Einsatzgebiet des NiMH-Akkus vorwiegend Handys, Camcorder, Notebooks und Audio-Geräte.

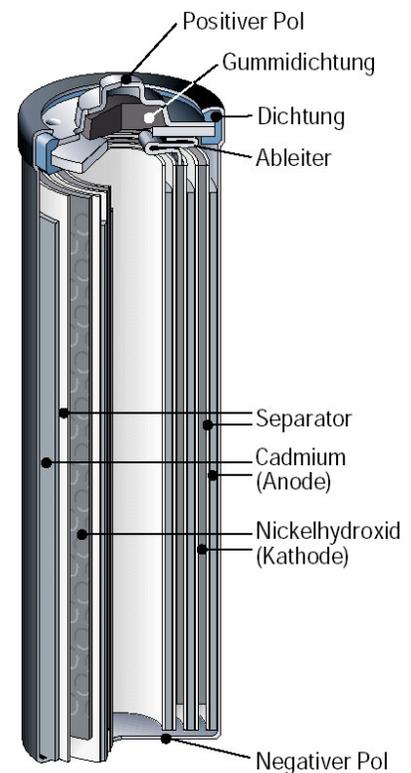
#### 4.) Nickel-Cadmium-Akku:

Wie der Name suggeriert, besteht ein Nickel-Cadmium-Akkumulator aus der negativen Cadmium- und der positiven Nickel-Hydroxid-Elektrode. Als Elektrolyt kommt Kalium-Hydroxid zum Einsatz. Die Renaissance erlebte der NiCd-Akku mit dem Beginn der Entwicklung von mobilen PCs. Vor allem die ersten Notebooks profitierten von den Vorteilen der Akkutechnologie. Sie liefert kurzfristig hohe Energiemengen für die stromhungrigen Komponenten wie CPU, Display oder Festplatte. Zusätzlich verfügt der Akku über eine lange Lebensdauer. Ein weiterer positiver Aspekt sind die geringen Herstellungskosten durch die Verwendung preisgünstiger Materialien wie Nickel und Cadmium.

Aufbau einer NiCd-Akkurundzelle: Bedingt durch das hochgiftige Cadmium müssen die Akkus absolut gasdicht aufgebaut sein.

Auf der Negativseite der NiCd-Akkus steht die geringe spezifische Energie mit 40 bis 60 Wh/kg im Vergleich zu aktuellen Akkus wie NiMH oder Lithium-Ion mit doppelt und dreifach so hohen Werten. Zusätzlich muss man bei der Verwendung der NiCd-Technologie den so genannten Memory-Effekt beachten.

Ein Umweltproblem stellt das verwendete Elektrodenmaterial Cadmium dar. Es gehört zu den hochgiftigen Schwermetallen, so dass eine gasdichte Gehäuseform und gesonderte Entsorgung der Zellen am Ende des Lebenszyklus gewährleistet sein muss.



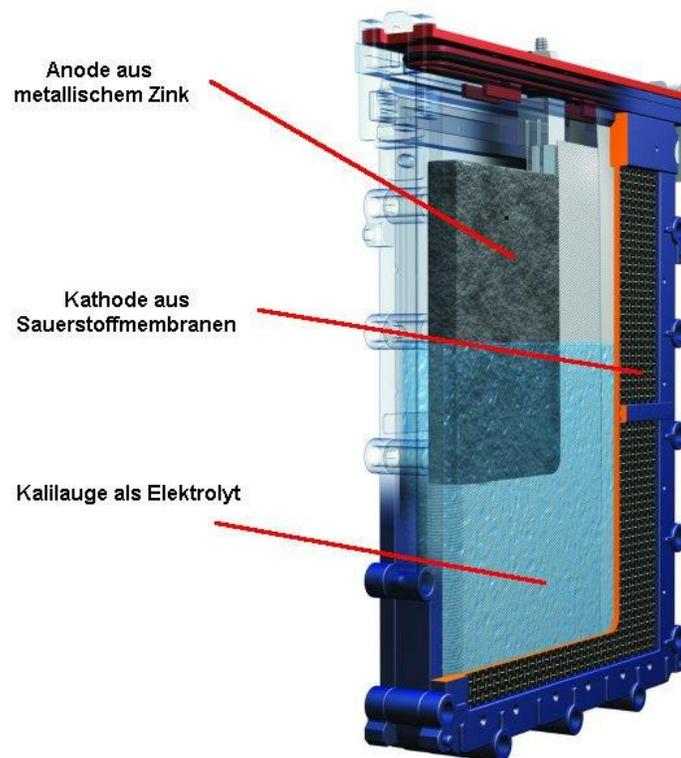
Durch die sehr hohe Belastbarkeit der NiCd-Akkus kommen sie heute vorwiegend in Geräten mit hohem Strombedarf zum Einsatz. Dazu zählen in erster Linie Akkuwerkzeuge. Aber auch in schnurlosen Telefonen und Camcordern werden sie auf Grund der geringen Herstellungskosten gerne eingesetzt.

## 6.) Zink-Luft-Akku:

Die Entwicklung von Zink-Luft-Akkus steckt noch in den Kinderschuhen, ist aber keinesfalls neu. Der grundlegende Aufbau eines Zink-Luft-Akkus setzt sich aus einer negativen Zink-Elektrode und einer positiven Aktivkohle-Elektrode zusammen. Die negative Elektrode besteht aus einem mechanisch gepressten Zinkschwamm oder -Pulver. Mit ihrer großen Oberfläche gewährleistet sie eine optimale chemische Reaktion durch leichtes Freisetzen von Elektronen. Als aktives Reaktionsmittel des Pluspols fungiert der Luftsauerstoff. Deshalb verwendet man als Elektrodenmaterial speziellen Kohlenstoff (Aktivkohle in Form von Sauerstoffmembranen), der den Luftsauerstoff absorbiert und dem Reaktionsprozess zuführt. Je nach Einsatzgebiet und Bauform des Akkus verwendet der Hersteller eine flüssige oder pastöse Kalilauge als Elektrolyt. Alle verwendeten Komponenten sind frei von umweltbedenklichen Giften und lassen sich leicht recyceln. Die Zink-Luft-Technologie wird daher als umweltfreundlich eingestuft. Darüber hinaus sind die eingesetzten Materialien preiswert.

Aufbau einer Zink-Luft-Akkuzelle:

Zink, Kalilauge und Luftsauerstoff sind die drei Grundstoffe, die als Energieerzeuger dienen.



Der Nachteil des Zink-Luft-Akkus besteht darin, dass er ein offenes chemisches System bildet. Denn beim Entladen muss Außenluft an die Reaktionsfläche gelangen, und beim Laden muss der freigesetzte Sauerstoff entweichen.

In luftdichter Umgebung ist der Akku daher nicht einsetzbar.

Ein Vorteil des Akkus ist dagegen seine geringe Selbstentladung im versiegelten (luftdichten) Zustand. Lagerhaltungen ohne Elektrolyt sind sogar bis zu zehn Jahre möglich. Ein weiterer Pluspunkt für die Zink-Luft-Technologie ist die hohe elektrische Kapazität. Sie beträgt bis zum Dreifachen eines vergleichbaren Lithium-Ionen-Akkus. Außerdem braucht man keine negativen Eigenschaften wie Memory- oder Lazy-Battery-Effekt bei der Nutzung der Akkus zu beachten.

Zink-Luft-Technologie wird wegen der hohen spezifischen Energie von bis zu 350 Wh/kg vorwiegend als Batteriezelle in Hör- und Personenrufgeräten eingesetzt. Als wiederaufladbare Akkuzelle kommt sie für stationäre Energiespeichersysteme, wie unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV), zum Einsatz. Erste Prototypen für den mobilen Einsatz, wie in Notebooks, befinden sich noch in der Entwicklungsphase. Wann es serienreife Produkte geben wird, steht noch nicht fest.

## C Lagerung und Pflege von Akkus

Auch wenn ein Akku im geladenen Zustand längere Zeit unbenutzt bleibt, der chemische Prozess innerhalb einer Akkuzelle bleibt weiterhin aktiv und beeinflusst die Eigenschaften der Zelle negativ. Diese so genannte Selbstentladung bewirkt, dass innerhalb weniger Wochen beziehungsweise Monate eine "volle" Akkuzelle einen Teil ihrer elektrischen Kapazität verliert. Zusätzlich beschleunigen hohe Temperaturen den unerwünschten Ladungsverlust eines Akkus. Um der Selbstentladung entgegenzuwirken, sollte der Akku trocken und bei kühler Umgebungstemperatur lagern. Darüber hinaus verhindert ein Nachladen des Akkus in bestimmten Zeitintervallen eine Tiefenentladung und verlängert somit die Lebensdauer des Energiespenders.

Positiv auf die Brauchbarkeit und Kapazität von Akkus wirkt sich ein effektiver Aufladeprozess aus. Hierbei hilft die moderne Elektronik in entsprechenden Ladegeräten. Ein prozessorgesteuertes Ladegerät kann zum Beispiel unterschiedliche physikalische Eigenschaften einer Akkuzelle (Strom, Spannung, Temperatur) während des Ladeprozesses sammeln und mit den spezifischen gespeicherten Parametern beziehungsweise Kennlinien vergleichen. Damit ist gewährleistet, dass die Energiezelle stets mit der optimalen Spannung beziehungsweise optimalem Strom aufgeladen wird. Darüber hinaus erkennt eine intelligente Ladeelektronik das Ladeende des Akkus und kann anschließend in den Modus der Erhaltungsladung übergehen.

Weitere Vorteile von professionellen Ladegeräten sind Regenerierungs-, Konditionierungs- und Pflegeprogramme für den jeweiligen Akkutypen. Sie bestehen aus speziellen Lade- und Entladezyklen mit abgestimmten elektrischen Parametern für den Akku. Damit helfen die Programme des Ladegeräts, die Lebensdauer einer Sekundärzelle entscheidend zu verlängern, und sie erhalten zusätzlich die Fähigkeit des Akkus, eine bestimmte Menge an elektrischer Energie chemisch zu speichern.

## D Kenndaten aktueller Akkutechnologien

Es werden nicht nur die typischen elektrischen Kenngrößen der Akkuzellen (vergleichbar mit Mignon-Zelle, Format AA) aufgelistet, sondern auch die Vor- und Nachteile der entsprechenden Technologie erwähnt.

Akkutechnologie	Li-Ion / Polymer	NiCd	NiMH	Pb	Zn-Luft
Zellen-Spannung (V)	3,6 - 3,7	1,2	1,2	2,0	1,4
Kapazität (mAh)	kleiner 1000	1000	2000	größer 1000	k. A.
Spezifische Energie (Wh/kg)	90-110	40-60	60-80	30-50	200-350
Energiedichte (Wh/l)	250-350	80-200	200-300	60-100	bis 500
Entladeschluss (V)	2,5	0	0,8	1,7	k. A.
Ladeschluss (V)	4,1-4,2	nicht definiert	nicht definiert	2,4	k. A.
Ladezyklen/ Lebensdauer	500-800	500-800	300-500	200-300	k. A.
Verlauf der Entladespannung bei Belastung	nahezu waagrecht	fallend	gering fallend	stark fallend	k. A.
Selbstentladung (pro Monat)	gering, 10 Prozent	mittel, 20 Prozent	hoch, 30 Prozent	gering, kleiner 10 Prozent	k. A.
Entladerate / Belastbarkeit (x-fache der Nennkapazität)	3	20	10	10	hoch
Schnellladung (Min)	120	10	30	k. A.	k. A.
Material der Minus-elektrode	LiC6	Cd	MH	Pb	Zn
Material der Plus-elektrode	LiCoO2	NiOOH	NiOOH	PbO2	C (O2)
Empfohlener Ladezustand bei langer Lagerung	geladen (voll)	entladen	geladen	geladen	entladen (deaktiviert)
Mechanische Belastbarkeit	sehr gering	sehr hoch	mittel	hoch	k. A.
Preis	sehr teuer	günstig	teuer	sehr günstig	k. A.

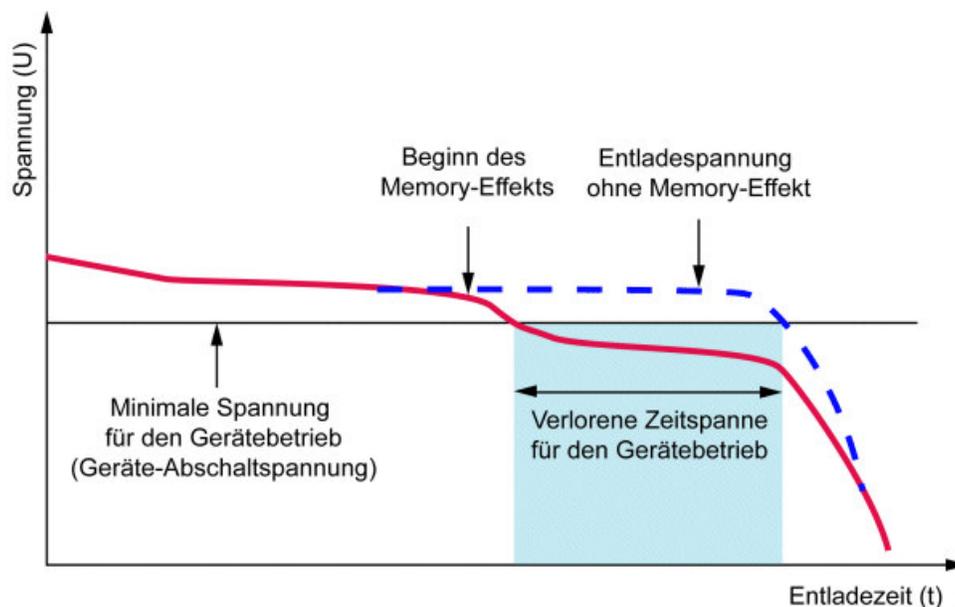
Bei den Angaben handelt es sich um Zirka-Werte.

## E Der Memory Effekt

Ein typisches negatives Merkmal von Nickel-Cadmium-Akkus ist der so genannte "Memory-Effekt". Diese Eigenschaft hängt mit dem verwendeten Cadmium an der negativen Elektrode zusammen, denn das Material neigt unter bestimmten Bedingungen zur Kristallbildung.

Dieses Phänomen tritt auf, wenn der Akku vor der vollständigen Entladung wieder aufgeladen wird. Als Folge der Auskristallisierung verringert sich die Kapazität des Akkus und liefert weniger Spannung an der entsprechenden Stelle der Entlade-Kennlinie (Memory-Effekt). Der Akku kann dann ein Gerät nicht mehr über die gesamte Zeitspanne seiner Betriebsdauer mit genügend hoher Spannung versorgen, denn das Gerät schaltet beim Erreichen der Geräteabschaltspannung vorzeitig ab (siehe Bild: Memory-Effekt). Auch zu geringe Ladeströme jenseits der Spezifikationen führen zum unerwünschten Memory-Effekt.

Unerwünscht: Ein falsches Handling beim Laden und Entladen von NiCd-Akkus fördert den so genannten Memory-Effekt. Er verkürzt durch vorzeitiges Erreichen der Abschaltspannung die Betriebsdauer des Geräts.

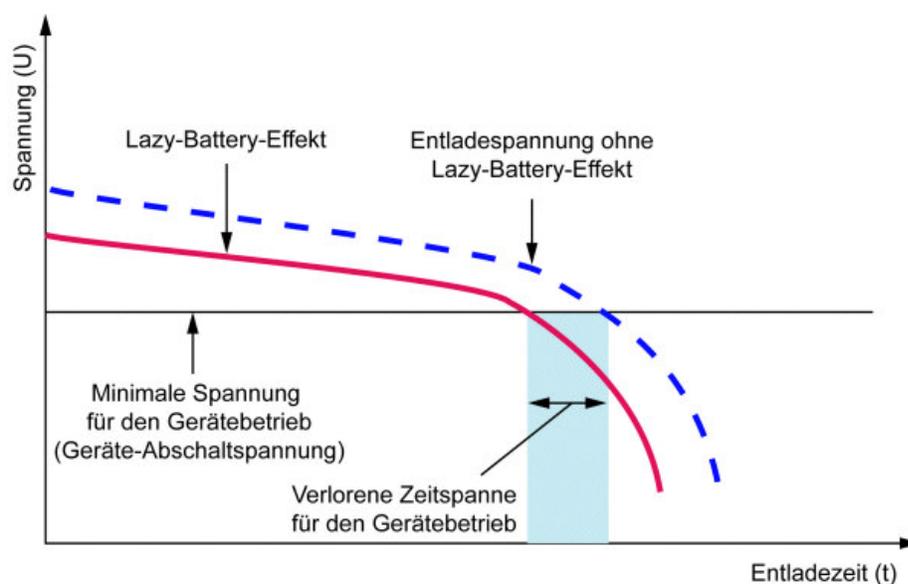


Diese negative Eigenschaft der NiCd-Zellen ist reversibel. Durch ein mehrmaliges definiertes Entladen mit einem geringen Strom bis zur vorgeschriebenen Entladespannung und anschließendem Laden lässt sich der Memory-Effekt beseitigen. Dabei sind spezielle Akkuladegeräte mit Refreshing-Funktion hilfreich. Diese prozessorgesteuerten Akkulader können den aktuellen Ladezustand eines Akkus ermitteln und ein entsprechendes Ladeprogramm - auch für vorgeschädigte Akkus - mit den notwendigen Parametern starten. Nach dieser Prozedur erreicht der NiCd-Akku wieder seine volle Nennkapazität.

## F Der Lazy-Battery-Effekt

Der reversible Lazy-Battery-Effekt ist prinzipiell mit dem Memory-Effekt vergleichbar. Er entsteht durch eine nicht vollständige Entladung des Akkus während des Betriebs beziehungsweise durch eine Dauerladung mit einem zu geringen, nicht spezifikationskonformen Strom. Ähnlich wie beim Memory-Effekt bilden sich Kristalle an der positiven Nickelhydroxid-Elektrode aus. Allerdings bricht die Spannung beim Lazy-Battery-Effekt nicht erst an der Stelle der Teilentladung ein, sondern sie fällt über die gesamte Entladezeit geringfügig ab.

Bei unsachgemäßer Akkupflege vermindert sich die Kapazität des NiMH-Akkus über die gesamte Entladezeit.



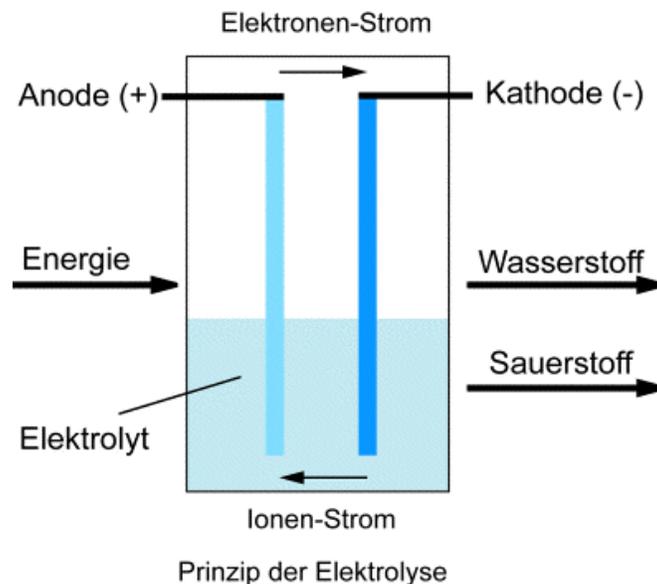
Der Lazy-Battery-Effekt wirkt sich weit weniger dramatisch aus als der Memory-Effekt. Die Akkuspannung liegt beim Entladen zwar unter der Normspannung, allerdings verkürzt das die Betriebsdauer nur geringfügig. Um diese negative Eigenschaft zu beseitigen, muss der Akku zwei bis drei Mal hintereinander vollständig entladen werden. Wie schon beim Memory-Effekt kann hier ein modernes Ladegerät mit entsprechenden Lade- und Entladefunktionen helfen, die ursprüngliche Leistungsfähigkeit des Akkus wiederherzustellen.

## G Die Brennstoffzelle

### 1.) Die Brennstoffzelle I:

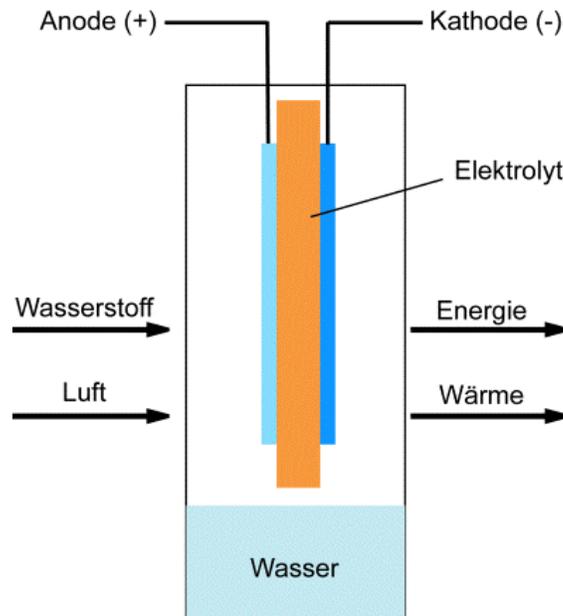
Im Bereich mobiler Energieversorgung besitzt die Brennstoffzellen-Technologie gegenüber den klassischen Verfahren wie NiCd, NiMH und Lithium-Ion das größte Zukunftspotenzial. Die Brennstoffzelle kehrt das herkömmliche Verfahren der Elektrolyse, das unter Zuführung von elektrischer Energie Wasser in die Gase Sauerstoff und Wasserstoff aufspaltet, um. Der so gewonnene Wasserstoff dient als Energieträger bei Verbrennungsprozessen (Knallgaseffekt).

Die Elektrolyse: Unter Zuführung von Energie wird das Elektrolyt (wässrige Salzlösung) in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten.



Der prinzipielle Funktionsprozess der Brennstoffzelle verwendet Luftsauerstoff und Wasserstoff als Energielieferant. In einem chemischen Verfahren - der so genannten "kalten Verbrennung" - wandelt sie die beiden Elemente in elektrische Energie um. Als Abfallprodukt entstehen Wärme und Wasser. Diese Methode erzeugt doppelt so viel Energie wie das klassische Verbrennungsverfahren.

Die Brennstoffzelle erzeugt in einer "kalten Verbrennung" von Luft und Wasserstoff elektrische Energie und Wärme.



Die Brennstoffzelle ist in ihrer Struktur sehr einfach aufgebaut. Die wichtigste Komponente einer Brennstoffzelle ist eine semipermeable elektrolytische Membran auf Polymerbasis. Sie verhindert, dass die beiden Reaktionsstoffe Wasserstoff und Luftsauerstoff sich zu Wasser verbinden, da sie nur Kerne der Wasserstoffatome (Protonen) passieren lässt. Die Elektroden der Anode und Kathode dienen als Katalysator für den Wasserstoff beziehungsweise Luftsauerstoff.

## 2.) Die Brennstoffzelle II:

Der Prozess der "kalten Verbrennung" läuft wie folgt ab: In der Kathode der Brennstoffzelle befindet sich der Sauerstoff und in der Anode der Wasserstoff. Die elektrolytische Membran trennt den Wasserstoff in Elektronen und Ionen (geladene Atomkerne) auf. Die Wasserstoff-Ionen wandern durch die Membran und wollen mit dem Sauerstoff zu Wasser oxidieren. Dazu fehlen aber die auf der Wasserstoff-Seite befindlichen Elektronen, die durch die isolierende Membran von der Sauerstoff-Seite getrennt sind. Verbindet man nun die Kathode und die Anode einer Brennstoffzelle, so kann ein nutzbarer elektrischer Strom fließen, der die Elektronendifferenz ausgleicht. Der elektrochemische Prozess in der Energiezelle läuft so lange bis sie einen der Reaktionsstoffe aufgebraucht hat.

Vorteile der Brennstoffzellen-Technologie sind ein hoher Wirkungsgrad und eine hohe Energiedichte gegenüber den aktuellen Akkusystemen. Ein Nachteil ist der geringe Strom, den die Brennstoffzelle liefert. So benötigen derzeitige Prototypen von Brennstoffzellen in mobilen Geräten immer noch Energiepuffer in Form von Akkus, um kurzzeitig hohe Ströme an das elektrische System zu liefern. In diesem Aufbau besteht die Aufgabe der Brennstoffzelle lediglich im stetigen Nachladen der Akkuzellen.

Prototypen von Brennstoffzellen für Notebooks haben Firmen wie Motorola, NEC und Toshiba bereits in den Jahren 2000 bis 2003 vorgestellt. Die ersten kommerziell nutzbaren Zellen wollen die Hersteller Ende 2004 auf den Markt bringen.

## H **Fazit:**

Die herkömmlichen Akkutechnologien wie NiCd und NiMH sind technologisch nahezu ausgereizt. NiCd-Akkus spielen durch die problematischen Materialien und die geringe spezifische Energie im mobilen Umfeld keine Rolle mehr. Lediglich wo sehr hohe Stromstärken gefordert werden, kann der NiCd-Akku seinen Vorteil eines hohen Entladestroms (20fache Nennkapazität) ausspielen.

Die NiMH-Akkus gehören heute zu den gängigsten wiederaufladbaren Energielieferanten. Sie verfügen über eine hohe spezifische Energie und Kapazität sowie Belastbarkeit. Zusätzlich sind sie weniger schädlich als die NiCd-Zellen, da das hochgiftige Cadmium durch Metallhydrid ersetzt wurde. Zu den Nachteilen zählen die geringe Lebensdauer (Ladezyklen) und die hohe Selbstentladung.

Ein hohes Entwicklungspotenzial für den mobilen Einsatz besitzt zurzeit die Lithium-Ionen-beziehungsweise Lithium-Polymer-Technologie. Sie bietet eine hohe spezifische Energie, geringe Selbstentladung und keine negativen Eigenschaften wie den Memory- oder Lazy-Battery-Effekt. Zusätzlich ist der Lithium-Polymer-Akku durch die variablen Abmessungen universell einsetzbar. Allerdings bezahlen die Anwender diese Vorteile mit einem hohen Preis bei der Anschaffung.

Als zukünftige Energieversorger für mobile Geräte kommen die Brennstoffzelle und die Zink-Luft-Akkutechnologie in Frage. Sie befinden sich noch in der Entwicklungsphase, die ersten Ergebnisse von Prototypen sind aber vielversprechend.

Der Blei-Säure-Akku zählt zu den ältesten und immer noch weltweit meistgenutzten Energielieferanten. Als Notstromreserve in USVs oder Starterbatterien bietet diese Akkutechnologie ein konkurrenzloses Preis-Leistungs-Verhältnis, da als Grundstoff das preiswerte und in großen Mengen verfügbare Schwermetall Blei eingesetzt wird. Zusätzlich ist durch moderne Herstellungsverfahren der Blei-Säure-Akku in der Handhabung unproblematisch. Auf der Negativseite stehen die sehr geringe Energiedichte gegenüber anderen Akkutechnologien und das giftige Schwermetall Blei.

## I Historie der Akkutechnologie I

Die Geschichte der Akkutechnologie begann mit Luigi Galvani (1737-1798) und Alessandro Cont di Volta (1745-1827) und der Erforschung der Elektrizität. So entdeckte Galvani 1789, dass Froschbeine zucken, wenn man sie mit zwei unterschiedlichen Metallen berührt. Daraus entwickelte er einen direkten Zusammenhang zwischen Elektrizität und Muskelbewegung und entdeckte damit die ersten elektrochemischen Prozesse.

Etwa zehn Jahre später konstruierte Volta die erste brauchbare elektrochemische Spannungsquelle (Batterie). Dazu verwendete er Kupfer- und Zinkstreifen, die durch eine in Salzlösung getränkte Pappe getrennt waren.

Historisch belegt: Die "Rittersche Säule" gilt als Urform der modernen Akkutechnologie.



Die Urform des Akkumulators baute 1802 Johann Wilhelm Ritter. Der unter dem Namen "Rittersche Säule" bekannte Versuchsaufbau konnte mit elektrischem Strom geladen werden und gab diesen bei der Entladung wieder ab. Die Säule bestand aus Karton- und Kupferscheiben, die in einem Gefäß mit einer Salzlösung lagen.

Um 1850 experimentierten die Wissenschaftler Sinstedden und Plante mit den ersten Akkumulatoren auf der Basis von Blei, Schwefeldioxid und Bleidioxid. Die verwendeten Bleiplatten konnten durch mehrmaliges Auf- und Entladen - das so genannte Formatieren - elektrische Energie speichern und an einen Verbraucher abgeben. Die erste industrielle Nutzung von Bleiakkus läutete Faure 1880 mit einem Patent ein. Er bestrich eine Bleiplatte mit einer Paste aus Schwefelsäure und Bleipulver und erreichte nach dem ersten Aufladen bereits eine sehr hohe Kapazität (Energieleistung).