



ITWissen

Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

Glossar

Batterien

Index

- **AGM, absorbent glass mat**
- **Akku, Akkumulator**
- **Alkali-Mangan-Batterie**
- **Amperestunde**
- **Batterie**
- **Batteriegesetz, BattG**
- **Batterierichtlinie**
- **Batterieverordnung, BattV**
- **Bleiakku**
- **C-Koeffizient**
- **CCCV, constant current constant voltage**
- **Elektrochemische Spannungsreihe**
- **Elektrode**
- **Elektrolyt**
- **EMK, Elektromotorische Kraft**
- **Energiedichte**
- **Entladeschlussspannung**
- **Entladestrom**
- **Innenwiderstand**
- **Knopfzelle**
- **Ladefaktor, LF**
- **Ladeschlussspannung**
- **Ladestrom**
- **Ladezustand**
- **Leerlaufspannung**
- **Leistungsdichte**
- **Lithium-Ionen-Akku**
- **Lithium-Mangandioxid-Batterie**
- **Lithium-Polymer-Akku**
- **Memory-Effekt**
- **Nennkapazität**
- **Nennspannung**
- **NiCd-Akku**
- **NiMH-Akku**
- **Selbstentladung**
- **Separator**
- **Smart Battery**
- **SOH, state of health**
- **Tiefentladung**
- **Zink-Luft-Batterie**

Batterien

AGM, absorbent glass mat

Blei-Vlies-Akku



Blei-Vlies-Akku (AGM), Foto: koopgmbh.de

Blei-Vlies-Akkus sind leistungsfähige *Bleiakkus*, bei denen ein Glasfaservlies mit dem *Elektrolyt* (Schwefelsäure) gesättigt ist. Dadurch hat ein Blei-Vlies-Akku, der im Englischen als Absorbent Glass Mat (AGM) bezeichnet wird, keine freie Schwefelsäure und kann in allen Lagen betrieben werden. Ein Auslaufen der Säure ist auch dann nicht möglich, wenn der AGM-Akku zerbricht.

AGM-Akkus haben einen äußerst geringen *Innenwiderstand* und können dadurch kurzzeitig höhere *Entladeströme* liefern, beispielsweise in der Startphase eines Motors. Bedingt durch den

geringen Innenwiderstand erhitzt sich der Akku auch nicht bei hohen Entladeströmen. Sie sind tiefentladungsfähig und haben auch bei tiefen Temperaturen gute Kapazitätswerte. AGM-Akkus sind äußerst robust und wartungsarm und können einige hundert Mal aufgeladen und entladen werden.

Die *Selbstentladung* liegt für gewöhnlich unter 1 % bis 3 % pro Monat, wodurch ihre Wiederaufladungszeit größer wird als bei anderen Akkus.

Akku, Akkumulator accumulator

Ein Akku ist eine wiederaufladbare Gleichspannungs-Energiequelle, bei der die elektrische Energie aus einer elektrochemischen Reaktion gewonnen wird. Im Gegensatz zur *Batterie*, die als Primärzelle bezeichnet wird, ist ein Akku eine Sekundärzelle. Die Stromabgabe und die Stromaufnahme basieren auf elektrochemischen Reaktionen.

Ein Akku besteht aus zwei *Elektroden*, der Kathode und der Anode, die sich in einem

Batterien



Geräte-Akkus: Micro- und Baby-Zelle, Foto: Sanyo

Elektrolyt, einer Festsubstanz oder einer Flüssigkeit, befinden. Der Elektrolyt sorgt für den Transport der Ionen, die bei der chemischen Reaktion mit den Elektroden entstehen. Die chemische Reaktion und der damit einhergehende Ladungstransfer innerhalb des Akkus sind immer mit einem Stromfluss außerhalb des Akkus verbunden. Der Ladungsausgleich erfolgt dabei mittels Kationen und Anionen über den Elektrolyt. Die Anode wandelt die

Anionen in Elektronen und leitet den Elektronenfluss durch zur elektronischen Schaltung. Leistungsparameter von Akkus sind die *EMK*, die *Nennkapazität* in *Amperestunden* (Ah), die *Energiedichte* in Wh/kg, die *Leistungsdichte* in W/kg, der *Innenwiderstand* in Milli-Ohm, die *Selbstentladung*, der *Entladestrom* und der *C-Koeffizient*, die Anzahl der Ladezyklen und der damit in Zusammenhang stehende *Memory Effekt*. Die *Nennspannung* von Akkuzellen ist abhängig von den verwendeten Materialien und damit von der *elektrochemischen Spannungsreihe* und kann zwischen +2,9 V und -3,0 V liegen. Bei marktgängigen Akkus beträgt die Quellenspannung für eine Batteriezelle 1,2 V, im Gegensatz zu Batterien, deren Nennspannung 1,5 V beträgt.

Die Größe von Akkus ist von ANSI, IEC und DIN festgelegt. Neben diesen Bezeichnungen gibt es ein von japanischen Firmen eingeführtes Bezeichnungssystem für Rundzellen, das aus dem Durchmesser und der Größe gebildet wird. So gibt es beispielsweise die Baugröße 18650, die

Batterien

ANSI			IEC				
Ø in mm	Höhe in mm	Zellen-größe	Ø in mm	Höhe in mm	Akkus NiCd	Batterien Zellenfam.	DIN-Bezeichnung
11	45	AAA	10,5	44,5	KR 03	R 03	Micro
12	30	N	12,0	30,2	KR 1	R 1	Lady
15	51	AA	14,5	50,5	KR 6	R 6	Mignon
27	50	C	26,2	50	KR 14	R 14	Baby
35	62	D	34,2	61,5	KR 20	R20	Mono
35	92	F			KR 25		

Die verschiedenen Bauform-Bezeichnungen für Geräte-Akkus

besagt, dass der Akku einen Durchmesser von 18 mm hat und eine Bauhöhe von 65 mm. Die bekanntesten in der Mobilkommunikation und in tragbaren Geräten eingesetzten Akkus sind der *NiCd-Akku*, *NiMH-Akku* und diverse Lithium-Akkus von denen der *Lithium-Ionen-Akku* und der *Lithium-Polymer-Akku* wegen seiner kompakten Bauweise die derzeit bekanntesten sind. Aus der Automotive-Technik ist der *Bleiakku* allgemein bekannt. Das Aufladen der Akkus erfolgt über *Ladegeräte*.

Alkali-Mangan-Batterie

*ZnMnO₂, alkali
manganese battery*

Alkali-Mangan-Batterien (ZnMnO₂) arbeiten mit einem alkalischen *Elektrolyt*. Die negative *Elektrode*, die Kathode, besteht aus Zink, das als aktiver Stoff für die elektrochemische Umwandlung dient. Bei der Anode ist es Mangandioxid (MnO₂) oder Braunstein. Als Elektrolyt wird eine Kaliumhydroxidlösung verwendet. Die *Nennspannung* ergibt sich aus der Differenz

Batterien

der Spannungswerte der *elektrochemischen Spannungsreihe* für Zink und Manganoxid. Die elektrische Energie entsteht durch die Oxidation des Zinks und die Reduktion des Manganoxids.

Alkali-Mangan-Batterien sind die am häufigsten eingesetzten Batterien. Sie haben eine hohe Leistungsfähigkeit und *Energiedichte* und können anwendungsspezifisch entwickelt werden. So beispielsweise für eine lange Nutzungsdauer mit geringer Stromentnahme oder für eine hohe Stromentnahme und dafür eine geringere Lebensdauer. Die Ausführungen unterscheiden sich in der Dicke und die Leistungsfähigkeit der Kathode, High Performance Cathode (HPC), einem größeren Zellenvolumen oder einem anderen Elektrolyt.

Amperestunde

Ah, amps hour

Die Amperestunde (Ah), Milli-Amperestunde (mAh) oder Amperesekunde (As) ist die Einheit für die Ladungsmenge von *Batterien*. Eine Amperestunde (Ah) entspricht 3.600 Amperesekunden (As). Die Kenngröße Amperestunde entspricht der *Nennkapazität* von Batterien oder *Akkus*. Sie errechnet sich aus der Multiplikation des Stroms (I) und der Zeit (t) und sagt aus, wie lange eine Batterie oder ein geladener Akku mit welchem Strom entladen werden kann.

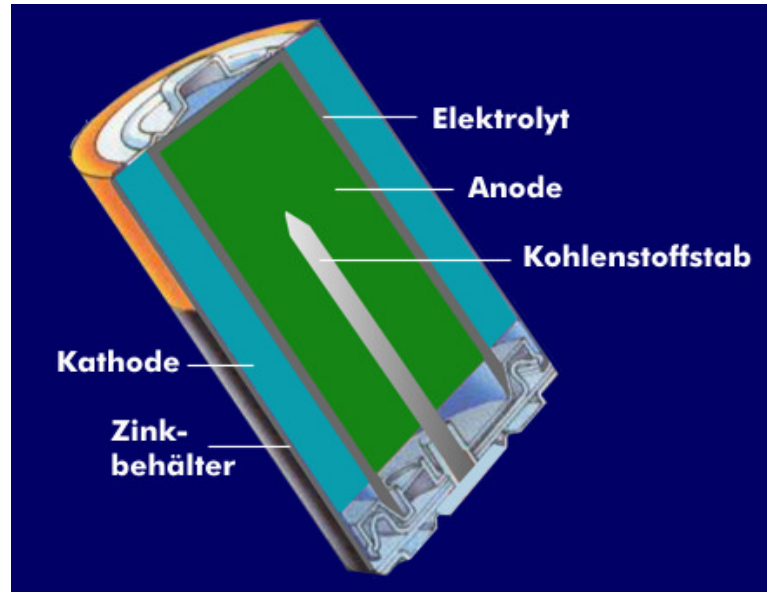
Hat beispielsweise ein *NiCd-Akku* eine Nennkapazität von 1.500 mAh (Milli-Amperestunden), dann kann er über 300 Stunden einen Strom von 5 mA abgeben. Ein *Bleiakku* mit einer Nennkapazität von 120 Ah kann 120 Stunden lang 1 A oder 240 Stunden 0,5 A liefern oder eine *Knopfzelle* mit einer Batteriekapazität von 30 mAh kann über 3.000 Stunden einen Dauerstrom von 10 µA liefern.

Batterie

battery

Eine Batterie ist ein nicht wiederaufladbarer Energiespeicher, der auf elektrochemischer Umwandlung basiert. Er wird als Primärzelle bezeichnet, im Gegensatz zu den

Batterien



Aufbau einer Batterie

wiederaufladbaren *Akkus*, die als Sekundärzelle bezeichnet werden. Eine Batterie besteht aus zwei *Elektroden*, der Anode und der Kathode, die aus unterschiedlichen Materialien bestehen und sich in einem *Elektrolyt* befinden. Ein solches Element bei dem sich zwei verschiedene Materialien in einen Elektrolyt befinden und bei dem durch elektrochemische Umsetzung Spannung erzeugt wird, heißt galvanisches Element oder galvanische Zelle. Die Anode einer galvanischen Zelle ist negativ geladen, die Kathode positiv.

An den Grenzflächen zwischen den beiden Elektroden und dem Elektrolyt finden elektrochemische Reaktionen statt, die als Spannungswert zwischen den Elektroden gemessen werden können. Der Spannungswert ist abhängig vom Elektrodenmaterial und der elektrochemischen Reaktion und wird als *elektrochemische Spannungsreihe* bezeichnet. Je nach Materialien können dabei Spannungswerte zwischen +2,9 V und -3,0 V entstehen. Die meisten Batterien verwenden Zink (Zn), Kohle oder Mangan (Mn). In der Regel besteht die negative Elektrode, die Anode, aus Zink und hat die Form eines Behälters, in den das Elektrolyt und die positive Elektrode eingebracht werden. Batteriezellen haben meistens eine Quellenspannung von 1,5 V. Die positive Elektrode, die Kohle-Elektrode, enthält neben Braunstein oft elektrolytisch erzeugtes Mangan-Oxyd. Marktgängige Batterien sind Zink-Kohle-

Batterien

Bezeichnung der Bauformen				Spg.	Durchm. Höhe	
IEC	DIN	ANSI	Intern.			
LR20	Mono	D	AM1	1,5 V	34,2	61,5
LR14	Baby	C	AM2	1,5 V	26,2	50,0
LR6	Mignon	AA	AM3	1,5 V	14,5	50,5
LR03	Micro	AAA	AM4	1,5 V	10,5	44,5
LR1	Lady	N	AM5	1,5 V	12,0	30,2
LR61		AAAA		1,5 V	8,2	42,0
HR22	E-Block	9V	6AM6	9 V	26,5 x 17,5	48,5

Die verschiedenen Bauform-Bezeichnungen für Geräte-Batterien

Batterien, *Zink-Luft-Batterie*, *Alkali-Mangan-Batterien* (ZnMnO₂), Zink-Quecksilberoxid-Batterien und Lithium-Batterien. Zur Leistungssteigerung werden die Zinkelektroden mit einigen Prozent Quecksilber (Hg) versetzt. Da sich der Zinkbecher bei der Entladung teilweise auflöst, ist er von einem Stahlmantel umgeben. Wichtige Parameter von Batterien sind die *Nennspannung* oder *Leerlaufspannung*, die Batteriekapazität, angegeben in

Amperestunden (Ah), der *Innenwiderstand*, die Nennbelastung und die *Energiedichte* als Verhältnis von Kapazität zu Gewicht. Von der Bauform her unterscheidet man zwischen den Rundbatterien, die alle 1,5 V haben, den Flachbatterien (4R61), die aus drei Rundbatterien bestehen und 4,5 V haben, den 9-V-Blockbatterien (6R62) und den *Knopfzellen*.

Die Umweltverträglichkeit von Batterien ist in der *Batterieverordnung* (BattV) beschrieben in dem die Grenzwerte für Schadstoffe und die Entsorgung geregelt sind.

Batteriegesetz, BattG
battery law

2009 wurde in Deutschland das Batteriegesetz (BattG) verabschiedet. Bei diesem Gesetz geht es um das Recycling von *Batterien*, mit denen die als Hersteller bezeichneten Unternehmen

Batterien

Batterien und *Akkus* zur Entsorgung verpflichtet werden. Hersteller sind nach dem deutschen Batteriegesetz all diejenigen, die Batterien und Akkus in Deutschland in Verkehr bringen. Dabei ist es egal ob diese in verpackter Form verkauft werden oder in ein Gerät eingebaut sind. Es betrifft alle Arten von Batterien: Primär- und Sekundärzellen, Batteriesätze, Akku-Packs, Gerätebatterien, Fahrzeugbatterien und Industriebatterien.

Nach dem vorliegenden Gesetzesentwurf müssen sich Hersteller und Vertreiber beim Umweltbundesamt melden. Nur die registrierten Hersteller dürfen nach dem Entwurf Batterien und Akkus in Umlauf bringen. Das deutsche Batteriegesetz ist eine Umsetzung der EU-Richtlinie 2006/66/EG in der auch die Grenzwerte für gefährliche Stoffe wie Quecksilber (Hg) und Cadmium (Cd) festgelegt sind.

Batterierichtlinie

battery policy

Hinter der EU-Richtlinie 2006/66/EG über *Batterien* und *Akkus* verbirgt sich eine neue Batterierichtlinie, die die 15 Jahre alte ablöst. Sie wurde 2006 von der Europäischen Union verabschiedet und tritt im September 2008 in Kraft.

Die Batterierichtlinie soll verhindern, dass Schwermetalle von Batterien und Akkus in die Umwelt gelangen und nimmt die Batteriehersteller und -vertreiber in die Pflicht. Sie sind für das Einsammeln und Recycling alter Batterien und Akkus verantwortlich. In der Batterierichtlinie werden Ziele für die Rückgabequoten für die verschiedenen Batterietypen festgelegt.

BattV, Batterieverordnung

battery policy

Die Batterieverordnung ist eine gesetzliche Vorschrift für die Behandlung, den Umgang, den Einsatz und die Entsorgung von *Batterien* geregelt ist. Da Batterien umweltschädliche *Elektrolyte* enthalten ist der Entsorgung und dem Recycling besondere Aufmerksamkeit gewidmet. So beschreibt §7 die Verpflichtung des Endverbrauchers verbrauchte Batterien an

Batterien

einen Vertreiber oder an von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern dafür eingerichteten Rücknahmestellen zurückzugeben.

Bleiakku

lead storage battery

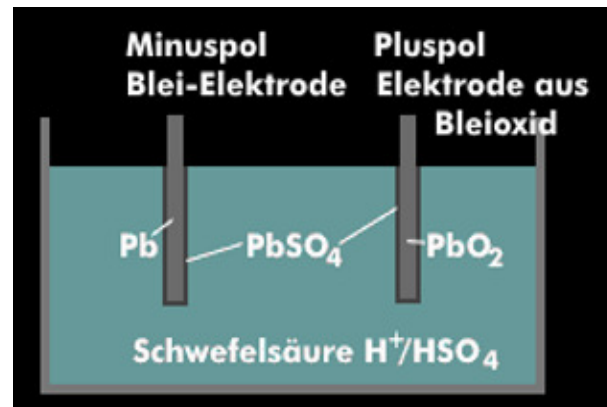
Der Bleiakku ist der klassische, in der Automotive-Technik eingesetzte *Akku*. Er besteht aus der positiven *Elektrode*, die durch Bleidioxid (PbO_2) gebildet wird und der negativen Blei-Elektrode (Pb).

Als *Elektrolyt* verwenden Bleiakkus verdünnte Schwefelsäure. Zur Vergrößerung der Elektrodenfläche haben diese eine gitterförmige Struktur. Geladen werden Bleiakkus in der ersten Ladungsphase mit Konstantstrom, nach Erreichen eines bestimmten *Ladezustandes* erfolgt die weitere Ladung mit Konstantspannung. Ihre *Energiedichte* liegt bei etwa 50 Wh/kg und beträgt damit weniger als die Energiedichte von *Lithium-Ionen-Akkus*.

Bleiakkus können kurzfristig mit hoher Stromentnahme belastet werden. Wegen des relativ großen Gewichts und der geringen *Selbstentladung*, die zwischen 0,1 % bis 0,2 % pro Tag

liegt, werden Bleiakkus auch in Alarmanlagen, USV-Systemen und stationären Sende- und Empfangseinrichtungen eingesetzt. Die *Nennspannung* von Bleiakkus liegt bei 2 V, ihre *Entladeschlussspannung* bei 1,75 V und die *Ladeschlussspannung* beträgt 2,4 V.

Eine Weiterentwicklung des Bleiakkus stellt der *Blei-Vlies-Akku* (AGM) dar, bei dem ein Glasfaservlies mit dem Elektrolyt getränkt ist und der einen geringeren *Innenwiderstand* hat als der Bleiakku.



Aufbau des Blei-Akkus

C-Koeffizient

C coefficient

Der C-Koeffizient ist ein Kennwert über die verfügbare *Nennkapazität* von *Akkus*. Es ist ein Maß für die Restkapazität bei der Ladung und Entladung von Akkus und steht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Lade- und *Entladestrom*.

Der C-Koeffizient steht für die Restkapazität und die Zeit über die ein konstanter Entladestrom entnommen werden kann. Es ist eine dimensionslose Zahl, die in Verbindung mit dem Buchstaben „C“ angegeben wird: 1C, 2C, 20C usw. oder auch als C5, C10 und auch in Bruchteilen wie C/10 oder C/2. 1C bedeutet beispielsweise, dass eine *Batterie* mit einer Nennkapazität von 1 Amperestunde (Ah) eine Stunde lang einen Entladestrom von 1 Ampere liefert. Hat eine Batterie mit der gleichen Nennkapazität einen C-Koeffizienten von 2C, dann ist der Entladestrom 2 Ampere über 30 Minuten, und bei einem Koeffizienten von 0,2C hat sie einen Entladestrom von 200 mA über 5 Stunden. Bei der Bruchteilangabe bezieht sich der Wert auf die Entladezeit. So bedeutet C/10 einen zehnstündigen Entladestrom.

Man spricht in diesem Zusammenhang auch von entnehmbarer Kapazität. So hat beispielsweise ein Akku mit einer Nennkapazität von 10 kWh C5 eine Entladeleistung von 2 kW über 5 Stunden, was einem Energiedurchsatz von 2 kWh entspricht.

CCCV, constant current constant voltage

IU-Ladeverfahren

Ladegeräte haben verschiedene Ladeverfahren, die den Lade-Eigenschaften der *Akkus* angepasst sind. Einige Akkus vertragen keine Überladung, andere müssen zur Verringerung vom *Memory Effekt* vor der Ladung kurz tiefentladen werden.

Das IU-Ladeverfahren, das bei Lithium-Ionen- und *Lithium-Polymer-Akkus* angewandt wird, arbeitet mit Konstantstrom und Konstantspannung (CCCV). Bei diesem Verfahren werden die Akkus zuerst mit einem Konstantstrom geladen, wodurch der *Ladestrom* begrenzt ist und in der Anfangsphase ein zu hoher Ladestrom vermieden wird. Die Konstantstromladung erfolgt solange bis die Ladung etwa 70 % bis 80 % der *Nennkapazität* erreicht hat. Anschließend wird

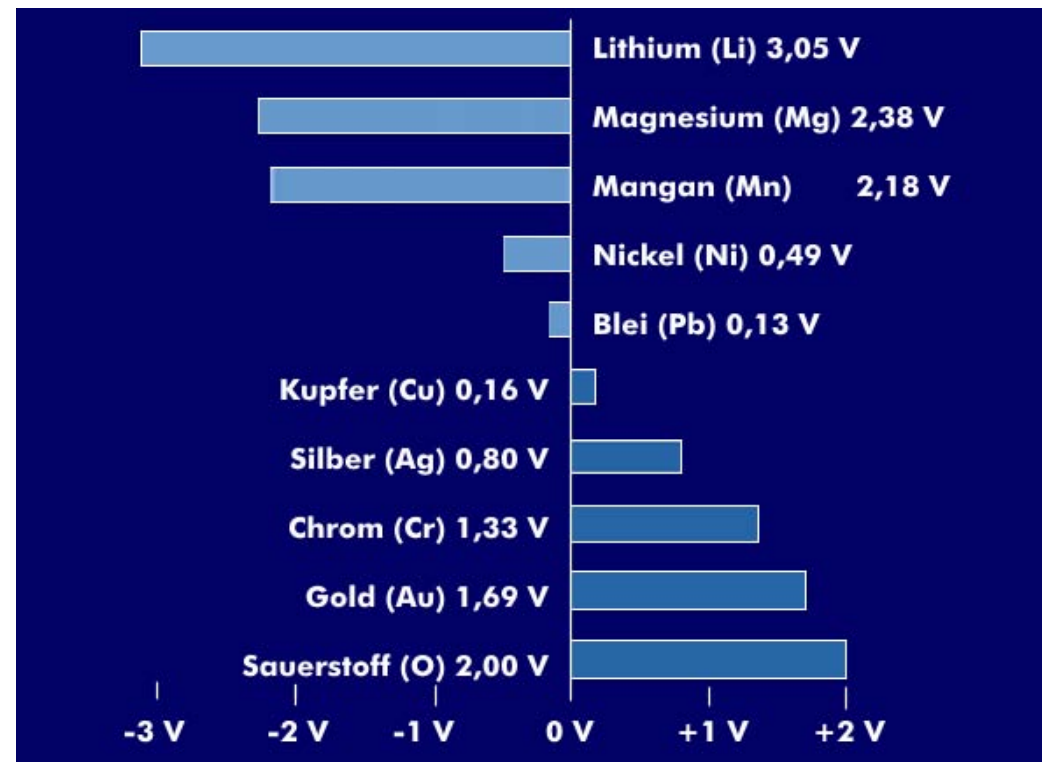
Batterien

mit Konstantspannung weitergeladen bis zur *Ladeschlussspannung*. Mit steigender Ladung verringert sich der Ladestrom.

Elektrochemische Spannungsreihe

electrochemical voltage

Die elektrochemische Spannungsreihe bildet die Basis für die Ermittlung der *Batterie-Nennspannung*. Batterien und *Akkus* arbeiten mit zwei *Elektroden*, die über einen *Elektrolyt* Ionen austauschen und dadurch Spannungen generieren. Je nach Elektrodenmaterial



Elektrochemische Spannungsreihe (Auszug)

entstehen unterschiedliche Spannungswerte. Da viele Materialien wie Zink, Mangan, Titan, Beryllium, Gold, Chrom, Lithium, Kupfer, Eisen, Sauerstoff, Zinn, Nickel, Cadmium, Blei usw. miteinander interagieren können, gehen die Kombinationsmöglichkeiten für elektrochemische Reaktionen in die Hunderte. Aus diesem Grund begrenzt man mit der elektrochemischen Spannungsreihe die

Batterien

Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten, indem man die Spannung zwischen einem Metall und einer Standard-Wasserstoffelektrode angibt.

Aus den Spannungswerten, die positiv oder negativ sein können, kann die Nennspannung der Batterie errechnet werden. Wird beispielsweise eine Blei-Elektrode und eine Magnesiumelektrode in ein Elektrolyt getaucht, dann ergibt sich eine Nennspannung von 2,23 V ($2,36 \text{ V (Mg)} - 0,13 \text{ V (Pb)}$).

Elektrode *electrode*

Eine Elektrode ist ein elektrisch leitendes Teil in einem elektrischen oder elektronischen Bauteil oder Bauelement, das einen Übergang vom leitergebundenen Strom in ein anderes Medium übernimmt. So beispielsweise in elektronischen Bauelementen wie Dioden, Transistoren, Leucht-, Elektronen- und Kathodenstrahlröhren und auch bei der elektrochemischen Umsetzung in *Batterien* und *Akkus*. Elektroden dienen der Erzeugung, Steuerung und Sammlung von Elektronen.

Bei der elektrochemischen Umsetzung sind die Elektroden Teil der elektrochemischen Zelle. Sie sind vom *Elektrolyt* umgeben oder in dieses eingetaucht. Elektroden sind aus elektrisch leitendem Material und dienen der Elektronengenerierung oder der Aufnahme von Elektronen. An der negativen Elektrode, der Kathode, erfolgt eine elektrochemische Reduktion, wobei die Elektronen aus dem angeschlossenen Stromkreis in die Kathode fließen. Der erforderliche Ladungsausgleich an der Kathode erfolgt durch Kationen, die vom Elektrolyt kommen. Der chemische Prozess an der Anode eines Akkus ist die Oxydation. Dabei gibt die Anode Elektronen in den angeschlossenen Stromkreis ab. Der Ladungsausgleich an der Anode erfolgt durch den Zufluss von Anionen aus dem Elektrolyt.

Bei Akkus kann sowohl die negative als auch die positive Elektrode zur Anode bzw. zur Kathode werden. Das hängt davon ab, ob der Akku ge- oder entladen wird.

Batterien

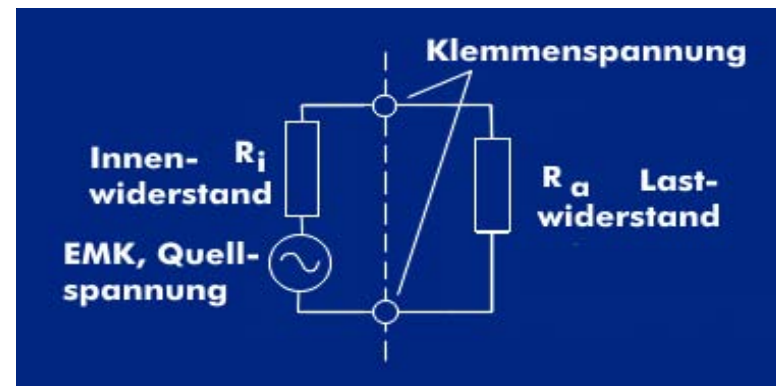
Elektrolyt electrolyte

Elektrolyte sind feste oder flüssige chemische Substanzen, die Ionen aufnehmen und abgeben und in hinreichendem Maße transportieren können. Ein Elektrolyt dient der chemischen Reaktion und übernimmt in *Batterien* und *Akkus* den internen Stromtransport zwischen den beiden *Elektroden*, der Anode und der Kathode, und generiert zum Ladungsausgleich Ionen. Betrachtet man den gesamten Schaltkreis, so fließt von der angeschlossenen Schaltung ein Elektronenstrom zur Kathode, von dieser über den Elektrolyt zur Anode. Der Stromfluss von der über den Elektrolyt erfolgt mittels Kationen und Anionen, der Stromfluss von der Anode über den Stromkreis hin zur Kathode mit Elektronen.

Neben den flüssigen Elektrolyten gibt es Festelektrolyte, die zur Erzeugung von Ionen bei höheren Temperaturen eingesetzt werden.

EMK, Elektromotorische Kraft EMF, electromotive force

Die elektromotorische Kraft (EMK) ist die Spannung (U), die die Elektronen in einem Leiter bewegt. Sie unterscheidet sich von der Spannung an den Batterieklemmen oder der Batteriespannung dadurch, dass der Spannungsabfall am *Innenwiderstand* nicht berücksichtigt wird.



Spannungsquelle mit Innen- und Außenwiderstand

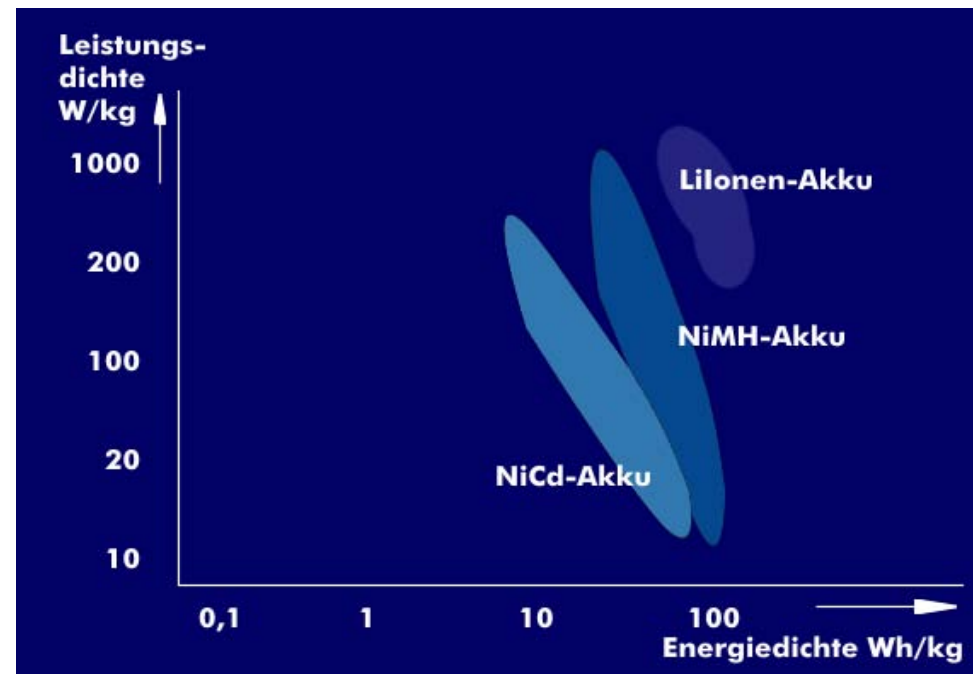
Die EMK entspricht solange der *Leerlaufspannung* wie kein Strom über den Innenwiderstand der Spannungsquelle fließt. Bei *Batterien* und *Akkus* kann sie mit einem hochohmigen Messgerät an den *Elektroden* gemessen werden, und zwar nur dann, wenn keine elektronische Schaltung oder ein anderer Verbraucher angeschlossen ist.

Batterien

Energiedichte energy density

Die Energiedichte ist ein wichtiger Kennwert von Energiespeichern und soll sich im Kontext von ITWissen auf die klassischen chemischen Energiespeicher, die *Batterien, Akkus*, Brennstoffzellen und auf die elektrischen Energiespeicher, die Kondensatoren und Superkondensatoren beschränken.

Die Energiedichte dieser Komponenten bestimmen die Betriebs- und Nutzungsdauer von mobilen Geräten, von Systemen und Elektrofahrzeugen. Bei den genannten Komponenten bezieht sich die Energiedichte auf die Energiemenge bezogen auf das Volumen und das Gewicht der Akkus oder Kondensatoren, also Wattstunden (Wh) pro Volumeneinheit (Wh/ccm)



Energie-/Leistungsdichten von verschiedenen Akkus

bzw. pro Gewichteinheit (Wh/kg). Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Energievolumen oder Energiegewicht. Beide Energiedichten sollten möglichst hoch sein, damit der Akku eine hohe Energiedichte hat und wenig Platz einnimmt oder wenig wiegt. Der Kennwert Energiedichte wird auch bei Magneten für das halbe Produkt aus Flussdichte (B) und magnetischer Feldstärke (H) benutzt.

Batterien

Bei der Energiedichte handelt sich dabei die mittlere Entladespannung (V) multipliziert mit dem *Entladestrom* (A) und der Zeit (h) bis zum Erreichen der *Entladeschlussspannung*, dividiert durch das Volumen. Was die Energiedichte betrifft, so liegen die *Lithium-Ionen-Akkus* mit Werten von 150 Wh/kg bis 200 Wh/kg vor den *NiMH-Akkus*. Diese liegen bei etwa 120 Wh/kg und sind damit etwa doppelt so hoch, wie die von *NiCd-Akkus*. Im Vergleich dazu beträgt die Energiedichte von Brennstoffzellen 100 Wh/kg bis 1.000 Wh/kg und die von Super-Kondensatoren 5 Wh/kg bis 30 Wh/kg.

Neben der Energiedichte gibt es noch die spezifische Energie (Wh/kg) oder *Leistungsdichte*, die sich auf die Leistung in Watt pro Gewichts- oder Volumeneinheit (W/kg oder W/ccm)) bezieht.

Als weiteren Leistungsparameter von Batterien ist die spezifische Leistung (W/kg) zu nennen, bei der die Leistung bis zum Erreichen der Entladespannung in Relation zum Gewicht gesetzt wird. Sie errechnet sich aus der mittleren Entladespannung (V) multipliziert mit dem Entladestrom (A) und dividiert durch das Gewicht (kg).

Entladeschlussspannung *cell end voltage*

Akkutyp	Entladeschluss- spannung
NiCd-Akku	0,8 V bis 0,9 V
NiMH-Akku	0,8 v bis 0,9 V
Lilon-Akku	3,0 V
LiPo-Akku	3,0 V
Blei-Akku	1,75 V

Entladeschlussspannung verschiedener Akkutypen

Bei der Entladung von *Batterien* und *Akkus* erreichen diese einen Spannungswert bei dem keine elektrochemischen Umsetzungen mehr stattfinden. Die Batterie bzw. der Akku ist dann „leer“. Die Klemmenspannung ist dann die Entladeschlussspannung. Während Batterien ausgetauscht werden müssen, können Akkus wieder aufgeladen werden.

Um Beschädigungen und die Verringerung der Akku-

Batterien

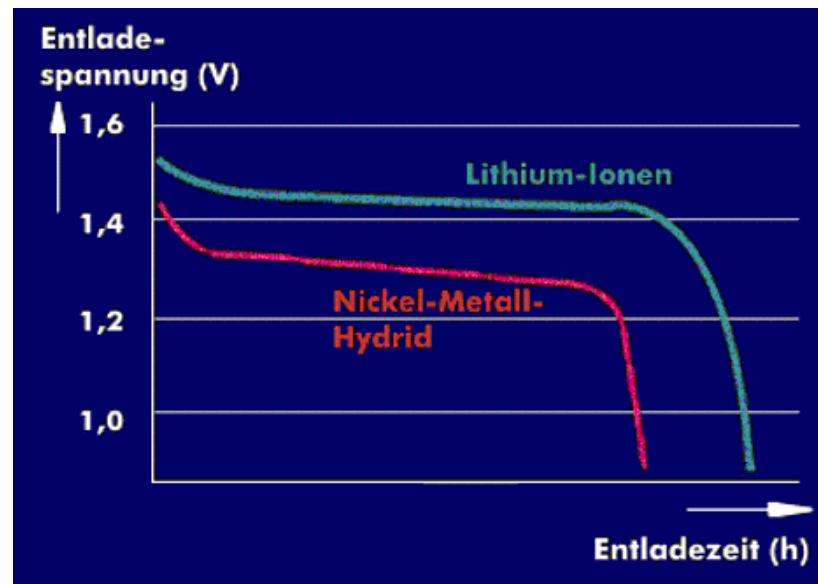
Lebensdauer zu vermeiden sollten die Entladeschlussspannungen nicht durch *Tiefentladung* unterschritten werden.

Entladeschlussspannungen sind abhängig vom Akkutyp und liegen beim *NiCd-Akku* zwischen 0,8 V und 0,9 V, beim *NiMH-Akku* bei 1,0 V, beim *Lithium-Ionen-Akku* bei 2,5 V und beim *Bleiakku* bei 1,75 V.

Entladestrom *discharge current*

Der Entladestrom ist der Strom eines *Akkus*, den der Akku über einen bestimmten Zeitraum liefern kann. Der Entladestrom hängt ab von der *Nennkapazität*, dem *Ladezustand*, dem *Innenwiderstand*, der *Entladeschlussspannung* und dem zeitlichen Verlauf der Entladung. Er

wird nicht über die angegebene Zeit konstant sein, denn der Entladewirkungsgrad nimmt mit steigendem Strom ab. Das bedeutet, dass ein Akku mit einer Nennkapazität von 1 Ah nicht eine Stunde lang 1 Ampere liefert, sondern weniger. Zu beachten ist der Entladungsverlauf, da sich bestimmte Akkus besser für eine konstante Stromentnahme mit geringem Strom eignen, andere hingegen für eine kurzzeitig hohe Stromentnahme oder eine sich ständig ändernde. Dieser Unterscheidung wird der *C-Koeffizient* in gewisser Weise



Entladezeiten von LiIon- und NiMH-Akkus bei konstantem Entladestrom

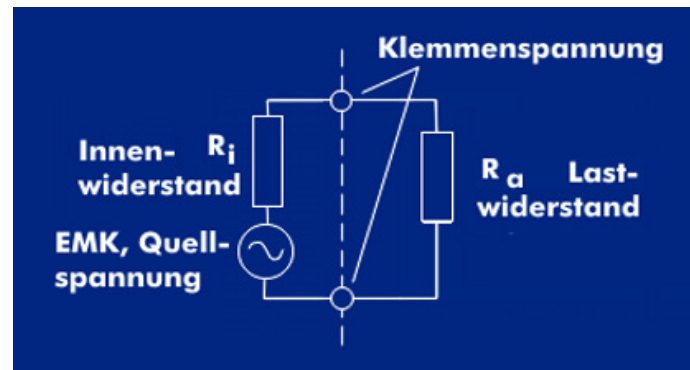
Batterien

gerecht, weil er den Entladestrom über die Zeit angibt.

Um Beschädigungen durch zu hohe Entladeströme zu vermeiden, werden bei bestimmten Akkus wie den *Lithium-Ionen-Akkus* zu hohe Entladeströme elektronisch begrenzt.

Innenwiderstand

R_i , internal resistance



Spannungsquelle mit Innen- und Außenwiderstand

Der Innenwiderstand repräsentiert den inneren Widerstand einer Spannungs- oder Stromquelle, eines Verstärkers, einer *Batterie* oder *Akkus*. Bei Batterien und Akkus entspricht der Innenwiderstand der Summe aller inneren Widerstände. Diese Kenngröße hat unmittelbaren Einfluss auf die Klemmenspannung, die sich aus der *elektromotorischen Kraft* (EMK), reduziert um den Spannungsabfall am Innenwiderstand, zusammensetzt. Steigt der Stromfluss, erhöht sich der Spannungsabfall am Innenwiderstand und die Batteriespannung sinkt. Im Einzelnen setzt sich der Innenwiderstand aus dem Polarisationswiderstand der elektrochemischen Umsetzung, dem Fließwiderstand der Ionen und den ohmschen Widerständen an den *Elektroden* zusammen.

Der Innenwiderstand der Versorgungsquelle spielt bei Konstantstromquellen und Konstantspannungsquellen eine entscheidende Rolle. Während bei Konstantspannungsquellen der Innenwiderstand gegen Null geht, geht er bei Konstantstromquellen gegen unendlich.

Knopfzelle

button cell

Die Bezeichnung Knopfzelle ist auf die Form und Größe dieser flachen, runden *Batterien* zurückzuführen, die einem Knopf ähnlich sind. Knopfzellen, die in Kleingeräten wie

Batterien



Lithium-Knopfzelle von CR 2450 von Sanyo, 24,5 x 5 mm

Armbanduhren, Hörgeräten, Taschenrechnern oder Fotoapparaten eingesetzt werden, gibt es in den unterschiedlichsten Größen und Dicken. Sie zeichnen sich durch eine lange Lebensdauer aus und eignen sich besonders für Geräte mit geringem Strombedarf. Knopfzellen gibt es als Zink-Silberoxid-Zelle (SR), Lithium-Manganoxid-Zelle (CR), Alkali-Mangan-Zelle (LR) und als *Zink-Luft-Batterie* (PR), wobei die in den Klammern aufgeführten Bezeichnungen die Typenkennzeichnung darstellt und von der IEC festgelegt wurden. Die Typenkennzeichnung setzt sich zusammen aus den zwei Buchstaben für die Zellentechnik und vier Ziffern; zwei

geben den Durchmesser in Millimeter an und die beiden weiteren die Dicke in zehntel Millimeter. Beispiel: LR 2450 steht für eine Alkali-Mangan-Zelle mit einem Durchmesser von 24 mm und einer Dicke von 5,0 mm.

Die Zellenspannung ist abhängig von der Zellentechnik und liegen zwischen 1,35 V und 3,6 V, die Batteriekapazitäten hängen ab von der Technologie und der Knopfzellen-Größe und erreichen bei Lithium-Manganoxid Werte von 500 mAh bis hin zu 1 Ah.

Der Ladefaktor ist ein Kennwert für *Akkus*, der den Zusammenhang zwischen der Ladezeit, der *Nennkapazität* und dem *Ladestrom* herstellt. Er sagt aus wie lange die Ladezeit für einen Akku mit einer bestimmten *C-Koeffizienten* bei einem entsprechenden Ladestrom beträgt. Der Ladefaktor ist ein dimensionsloser Wert und abhängig von der verwendeten Akku-Technologie und stellt den Wirkungsgrad eines Akkus beim Laden dar: Mit wie viel Ladestrom muss der

Ladefaktor, LF
charge factor

Batterien

Akku geladen werden, um eine bestimmte Energie entnehmen zu können.

Mathematisch betrachtet errechnet sich die Ladezeit (h) aus dem Ladefaktor multipliziert mit der Nennkapazität (mAh), dividiert durch den Ladestrom (mA). Die Ladefaktoren liegen je nach Akkutyp zwischen 1,2 und 1,5. Bei einem angenommenen Ladefaktor von 1,2 und einer Nennkapazität von 1.500 mAh bedeutet das, dass die Ladezeit bei einem Ladestrom von 150 mA zwölf Stunden dauert. Der Ladefaktor sinkt bei höheren Ladeströmen bei $>C/1$.

Ladeschlussspannung end of charging voltage

Die Ladeschlussspannung ist ein Kennwert von *Akkus*. Es handelt sich um die Spannung, die beim Ladevorgang als Klemmenspannung an den Akkupolen ansteht, und zwar bei angeschlossenem *Ladegerät*. Die Ladeschlussspannung ist höher als die *Nennspannung*. Bei *NiCd-Akkus* beträgt die Nennspannung beispielsweise 1,25 V, die Ladeschlussspannung 1,5 V pro Akkuzelle und die *Entladeschlussspannung* zwischen 0,8 V und 0,9 V. Bei *Bleiakkus* beträgt die Ladeschlussspannung etwa 2,4 V pro Akkuzelle, die Nennspannung 2,0 V und die Entladeschlussspannung 1,75 V.

Akkutyp	Ladeschlussspannung
NiCd-Akku	1,4 V
NiMH-Akku	1,4 V
Lilon-Akku	4,1 V bis 4,2 V
LiPo-Akku	4,2 V
Blei-Akku	2,4 V

Ladeschlussspannung verschiedener Akkutypen

Bei Erreichen der Ladeschlussspannung wird der *IU-Ladevorgang* von Konstantstrom auf Konstantspannung umgeschaltet. Die Ladeschlussspannung kann an den Ladegeräten eingestellt und wird mit fallender *Nennkapazität* früher erreicht.

Von Ladestrom spricht man bei der Aufladung von *Akkus*. Der Ladestrom ist der Strom mit der Akkus aufgeladen werden. Generell stehen der Ladestrom

Ladestrom charging current

Batterien

und die *Nennkapazität* (C) der Akkus in einem unmittelbaren Zusammenhang. Die Höhe des Ladestroms kann nicht beliebig festgelegt werden, sondern ist vielmehr vom Akkutyp abhängig. Dies wird in den Ladeverfahren der *Ladegeräte* entsprechend berücksichtigt. Der Ladestrom multipliziert mit der Ladezeit (h) entspricht der Nennkapazität. Hat ein Akku eine Nennkapazität von 1.200 mAh, dann könnte ein vollkommen leerer Akku theoretisch mit einem Ladestrom von 1,2 A in einer Stunde geladen werden oder mit 600 mA Ladestrom in 2 Stunden. Der Ladestrom wird oft in Relation zur Nennkapazität gesetzt, beispielsweise wird als Ladestrom 0,5C angegeben. Das bedeutet, dass der Ladestrom für den Akku dem halben Nennkapazität entspricht. Ist diese beispielsweise 1.500 mAh, dann beträgt der Ladestrom 750 mA, die Ladezeit 2 Stunden. Bei einer Ladestromangabe von 2C würde der Ladestrom 3 A betragen, die Ladezeit auf 0,5 Stunden sinken.

Je nach Akkutyp werden diese mit Konstantstrom, Konstantspannung, mit Konstantstrom-Konstantspannung (CCCV) nach dem IU-Ladeverfahren oder mit einem impulsförmigen Ladestrom geladen.

Ladezustand *SOC, state of charge*

State of Charge (SoC) ist ein Kennwert für den Ladezustand von Akkus. Der SoC-Wert kennzeichnet die noch verfügbare Kapazität eines Akkus im Verhältnis zum Nominalwert. Der Ladezustand wird in Prozent vom vollgeladenen Zustand angegeben. 30 % bedeuten somit, dass der Akku noch eine Restladung von 30 % bezogen auf die Vollladung von 100 % hat. State of Charge (SoC) und Depth of Discharge (DoD) stehen in einer direkten Beziehung zueinander. Der eine Wert kennzeichnet den Ladezustand, der andere den Entladezustand. Der State-of-Charge-Wert ist ein wichtiger Kennwert für alle batteriebetriebenen Geräte und spielt in der Automotive-Technik eine wesentliche Rolle. Er wird vom Batteriemanagementsystem ausgewertet und fließt in den Regelmechanismus ein.

Leerlaufspannung

Voc, open circuit voltage

Die Leerlaufspannung ist ein Kennwert von nicht belasteten Spannungsquellen. Wie aus der englischen Bezeichnung Open Circuit Voltage hervorgeht, ist die Leerlaufspannung die Spannung an den Batterieklemmen, wenn kein Stromkreis angeschlossen ist, also kein Strom fließt und daher auch kein Spannungsabfall am *Innenwiderstand* der Spannungsquelle auftreten kann. Die Leerlaufspannung wird bei *Akkus* und *Batterien*, bei Solarzellen, Transformatoren, Netzteilen und Generatoren benutzt und sagt aus, dass es sich um die Spannung handelt, die an den Klemmen gemessen wird, ohne, dass eine Schaltung oder ein anderer Verbraucher angeschlossen ist.

So lange kein Strom fließt, entspricht die Leerlaufspannung der *elektromotorischen Kraft* (EMK) der Spannungsquelle. Das Ersatzschaltbild zeigt den Innenwiderstand in Reihe mit der EMK und verdeutlicht, dass die Leerlauf- oder Quellenspannung unbelastet sein muss und kein Strom über den Innenwiderstand der Spannungsquelle fließen darf damit an diesem kein Spannungsabfall auftritt. Bei *NiCd-Akkus* beträgt die Leerlaufspannung 1,299 V.

Leistungsdichte

power density

Bei Akkus bezieht sich die Leistungsdichte auf die absolute Leistung der Batterie bezogen auf deren Volumen, dem Leistungsvolumen, und dem Gewicht, dem Leistungsgewicht. Die Leistungsdichte ist insofern sehr wichtig, weil bei einer hohen Leistungsdichte die mobilen Geräte leichter werden und bei gleicher Entladung länger betrieben werden können. Bei Elektroautos geht das Leistungsgewicht unmittelbar auf die Beschleunigung des Elektromobils ein.

Ebenso wie die *Energiedichten* sind die Leistungsdichten vom Batterietyp abhängig. Die höchsten Leistungsdichtewerte haben *Lithium-Ionen-Akkus*. In Hochleistungsversionen liegen die Werte zwischen 2 kW/kg und 4 kW/kg.

Batterien

Lithium-Ionen-Akku

LiIon, lithium ion

Lithium-Ionen-Akkus (LiIon) zeichnen sich durch ihre hohe *Energiedichte* aus, die mit mehreren 1.000 W/kg höher ist als bei allen anderen Akkumulatoren. Darüber hinaus ist der LiIon-Akku thermisch stabil, hat eine konstante Ausgangsspannung über den gesamten Entladezeitraum, eine lange Lebensdauer und kennt keinen *Memory Effekt*. Bedingt dadurch, dass Lithium in der *elektrochemischen Spannungsreihe* ein hohes negatives Potential von - 3,05 V hat, ist die Potentialdifferenz mit anderen Materialien sehr hoch. In Verbindung mit Kupfer (0,16 V) ergibt sich eine Spannungsdifferenz von 3,21 V. Die *Nennspannung* von Lithium-Ionen-Akkus liegt um die 3 V, bzw. die *EMK*, beträgt 3,6 V, die *Entladeschlussspannung* 3 V und der *Ladestrom* 1C.

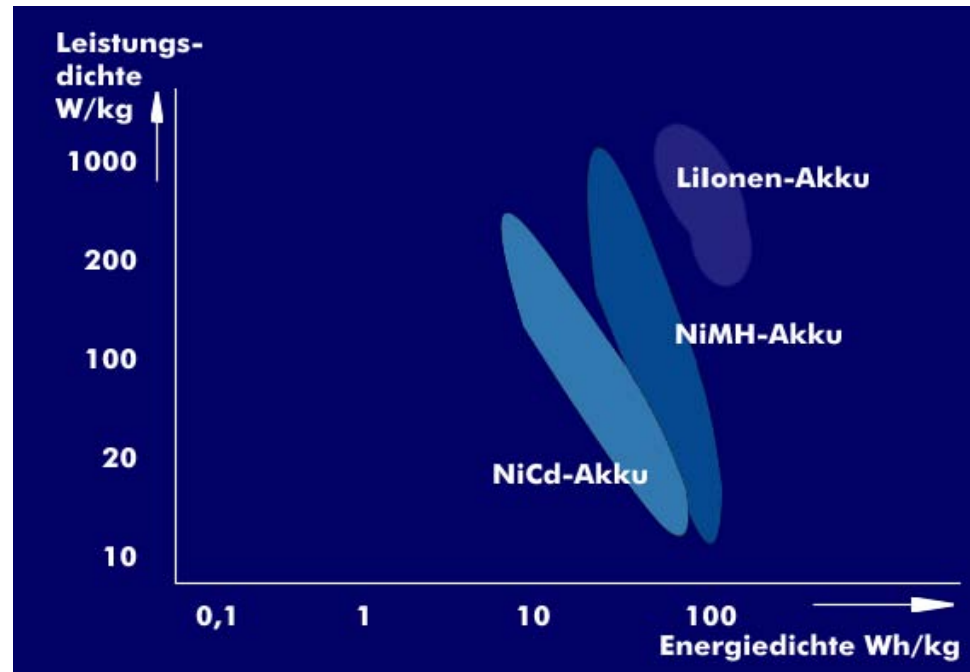
Beim Lithium-Ionen-Akku besteht die Anode aus einer Kupferfolie, die mit Kohle oder einer Graphitverbindung beschichtet ist. Die positive Kathode besteht aus einer Lithiumverbindung, bestehend aus Kobalt-, Mangan- oder Nickel-Oxyd. Der zwischen den *Elektroden* liegende *Elektrolyt* ist ein gelöstes Lithiumsalz. Je nachdem, ob der Elektrolyt flüssig oder fest ist,

spricht man von Lithium-Ionen-Akkus oder *Lithium-Polymer-Akkus*. Die verschiedenen Lithiumionen-Akkus unterscheiden sich hauptsächlich im Kathodenwerkstoff, der Kobalt, Mangan, Nickel-Kobalt, Nickel-

Lithiumion-Akku Kathodenmaterial	Kobalt	Mangan	Nickel-Kobalt-Mangan
Nennspannung	3,60 V	3,7 V ... 3,8 V	3,70 V
Energiedichte	110 ... 190 Wh/kg	110 ... 120 Wh/kg	95 ... 130 Wh/kg
Anwendung	Handys, Mobilgeräte, Notebooks	Werkzeuge, medizinische Geräte	Werkzeuge, medizinische Geräte

Kenndaten von verschiedenen Lithiumion-Akkus

Batterien



Energie-/Leistungsdichten von verschiedenen Akkus

Kobalt-Mangan (NKM), Eisenphosphat oder Titanat sein kann. Die verschiedenen Kathodenwerkstoffe bewirken unterschiedliche Energiedichten, Leistungsdichten, Nennspannungen und Ladezyklen. Bei Kobalt reichen die Werte für die Energiedichte bis zu 190 Wh/kg, bei Mangan bis 120 Wh/kg und bei Nickel-Kobalt-Mangan (NKM) bis 130 Wh/kg. Die Leistungsdichte liegt bei Hochenergie-Versionen

zwischen 200 Wh/kg und 400 Wh/kg, bei Hochleistungsversionen zwischen 2 kW/kg und 4 kW/kg. Die Anzahl der Ladezyklen liegt bei 1.500.

Geladen werden die LiIon-Akkus ab der Tiefentladeschwelle mit einem konstanten Strom, und zwar bis zum Erreichen der Nennspannung. Danach werden sie mit einer konstanten Spannung weitergeladen. Liegt der *Ladezustand* unterhalb der Tiefentladeschwelle, dann wird der tiefentladene Akku vorbereitet, indem er mit geringer Stromstärke bis zum Erreichen der Mindestspannung geladen wird. Der *Ladefaktor* liegt bei diesem Akkutyp bei ca. 1,4.

Lithium-Ionen-Akkus haben eine Lebensdauer von mehreren tausend Ladezyklen und werden

Batterien

als leistungsfähige Energiequellen in Handhelds, Palmtops, Notebooks und Handys eingesetzt. Durch den Einsatz der Nanotechnik durchlaufen Li-Ionen-Akkus eine rasante Entwicklung mit verbesserten Leistungswerten und höherer Lebensdauer. Die kommenden Akku-Generationen werden Nano-Phosphat-Akkus sein.

Für die Kennzeichnung der Akkus gibt es ein von japanischen Firmen eingeführtes Bezeichnungssystem für Rundzellen, das aus dem Durchmesser und der Größe gebildet wird. Das Beispiel einer Kennzeichnung für den zylindrischen Zelltyp 18650 besagt, dass der Akku einen Durchmesser von 18 mm hat und eine Höhe von 65 mm.

Lithium-Mangandioxid-Batterie

*LiMnO₂, lithium
manganese dioxide
battery*

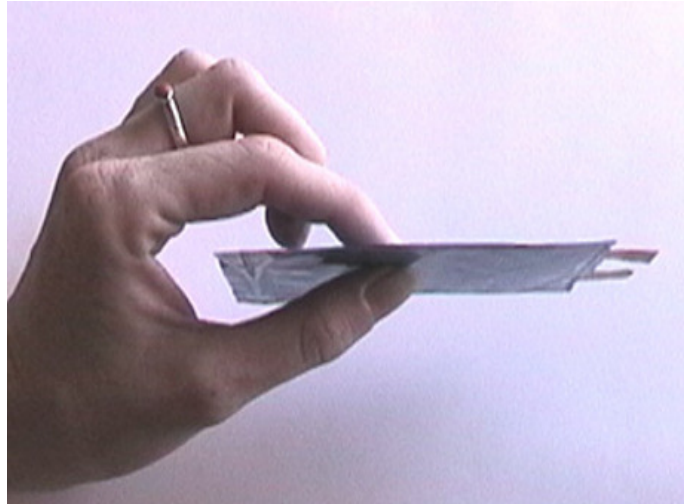
Mit der Lithium-Mangandioxid-Batterie (LiMnO₂), entwickelt von Duracell, haben Entwickler von Mobilgeräten eine Alternative zu *Lithium-Ionen-Akkus* und *NiMH-Akkus*. Dies bezieht sich im Besonderen auf die Leitungsfähigkeit und die Entnahmeströme, die sowohl eine kontinuierliche Dauerstromentnahme als auch impulsförmige Spitzenströme unterstützt. Die unterschiedlichen Spannungen zwischen der LiMnO₂-Batterie und *Akkus* können durch ein elektronisches Batteriemanagement kompensiert werden.

Bei der Lithium-Mangandioxid-Batterie besteht die Anode aus einer Lithiumfolie. Die Ionen fließen von der Anode durch einen leitfähigen, gelartigen *Elektrolyt* zur Kathode, die aus Mangandioxid besteht.

Die Batterie hat eine sehr hohe *Energiedichte* und kann an ihrer platzsparenden Flachbauweise erkannt werden. Durch die flache Bauform mit nur 35 x 53 x 29 x 7 mm wird der Platz in Mobilgeräten wie Digitalkameras optimal ausgenutzt. Die Ausgangsspannung liegt im Mittel bei 2,8 V; eine *Selbstentladung* ist nur in geringem Maße von 5 % über 10 Jahre nachweisbar.

Batterien

Lithium-Polymer-Akku *LiPo*, *lithium polymere accumulator*



Ultra dünner Lithium-Polymer-Akku für Smartcards
und mobile Kleingeräte, Foto: evworld.com

Lithium-Polymer-Akkus haben gegenüber Lithiumionen-Akkus den Vorteil einer um ca. 20 % höheren *Energiedichte*. Sie haben zudem einen höheren Explosionsschutz und bessere Auslaufeigenschaften. Das hängt mit dem *Elektrolyt* zusammen, der Kunststoff-ähnliche Eigenschaften hat.

Wie beim *Lithium-Ionen-Akku* besteht die negative Anode aus einer Graphitverbindung, die Kathode aus einer Lithiumverbindung, bestehend aus Kobalt, Mangan oder einer Nickel-Verbindung. Das Elektrolyt ist auf Polymerbasis aus Folie aufgebaut. Die beiden

Elektroden und das Elektrolyt sind als extrem dünne Folien ausgeführt und können wie ein Folienkondensator gewickelt oder in andere Formen gepresst werden. Dadurch erreichen Lithium-Polymer-Akkus eine sehr hohe Kompaktheit. Die Leistungs- und Energiedichte liegt höher als bei allen anderen Akkus. Die *Leistungsdichte* liegt bei mehreren Kilowatt pro Kilogramm. Die *Nennspannung* beträgt 3,7 V, die *Ladeschlussspannung* 4,2 V pro Batteriezelle und die *Entladeschlussspannung* 3 V.

Neben der kompakten Bauweise und der höheren Energiedichte, die zwischen 140 Wh/kg und 180 Wh/kg liegt, zeichnen sich Lithium-Polymer-Akkus durch eine hohe Standby-Zeit aus und haben keinen *Memory-Effekt*. Sie sind allerdings empfindlich in Bezug auf Überladung, *Tiefentladung* und zu hohe oder niedrige Temperaturen. Im Gegensatz zu *NiCd*- und *NiMH*-Akkus können Lithium-Polymer-Akkus parallel geschaltet werden.

Batterien

Der Ladevorgang von Lithium-Polymer-Akkus erfolgt bis zum Erreichen der Ladeschlussspannung mit Konstantstrom-Konstantspannung, darüber mit Konstantspannung bei sich verringerndem *Ladestrom*.
Lithium-Polymer-Akkus können extrem flach gebaut werden und sind ideal für Smartcards und kleine Mobilgeräte.

Memory-Effekt *memory effect*

Der Memory-Effekt ist ein Phänomen von *Akkus*. Er tritt vorwiegend bei *NiCd-Akkus* und in geringerem Maße auch bei *NiMH-Akkus* auf wenn diese nicht vollständig entladen und in diesem Zustand wieder aufgeladen werden. Wird ein Akku vor dem Laden nur teilentladen, dann tritt der Effekt auf, dass der Akku sich diese Teilentladung „gemerkt“ hat und bei den folgenden Entladungen nicht mehr seine volle *Nennkapazität* zur Verfügung stellt. Dieses „sich merken“ wird als Memory-Effekt bezeichnet. Wird ein solcher Akku mit Nennleistung belastet, bricht die *Nennspannung* in sich zusammen, so als ob der Akku keine Ladung mehr hat. Der Memory-Effekt entsteht durch Kristallbildung an der aus Cadmium bestehenden Kathode. Die Kristallbildung verringert die Kapazität des Akkus und damit dessen Leistungsfähigkeit. Der Memory-Effekt kann durch *Tiefentladung* reversibel gemacht werden, was in manchen *Ladegeräten* durch einen Refresh-Funktion erfolgt. Durch die vollständige Entladung wird der Memory-Effekt vermieden und die Lebensdauer des Akkus verlängert. Nach einer Tiefentladung hat der Akku wieder seine volle Nennkapazität. In modernen Akkus ist der Memory-Effekt nicht mehr feststellbar.

Nennkapazität *rating*

Die Nennkapazität ist ein Parameter von *Akkus*. Sie drückt das Strom-Fassungsvermögen in *Amperestunden* (Ah) aus und errechnet sich aus dem Produkt von Strom (I) in Ampere (A) und der Zeit (t) in Stunden, manchmal wird sie auch in Kilowattstunden (kWh) angegeben. Es ist

Batterien

der *Entladestrom*, der über einen bestimmten Zeitraum entnommen werden kann. Und zwar handelt es sich um den Zeitraum bis zum Erreichen der *Entladeschlussspannung*. Hat beispielsweise ein Akku eine Nennkapazität von 1.800 mAh, so kann er 9 Stunden lang einen Strom von 200 mA abgeben oder 18 Stunden 100 mA. Die Stromabgabe wird dabei durch den *C-Koeffizienten* und die Ladezeit durch den *Ladefaktor* bestimmt. Die Nennkapazität gibt den theoretischen Wert wieder, da Akkus immer eine Restladung haben. Sie wird nach dem IEC-Standard IEC 61951-2 bestimmt. Die entnehmbare Restkapazität von Akkus ergibt sich aus der Nennkapazität, der prozentualen Entladungstiefe und der Anzahl der Ladezyklen.

Nennspannung *nominal voltage*

Nennspannung ist eine Spannung die bei Spannungsquellen, Verbrauchsgeräten oder Tests als Nennwert für den Normalbetrieb angegeben wird. Es ist also die Spannung, die ein *Akku*, eine *Batterie* oder ein Generator nominal zu Verfügung stellen und die von Komponenten, Geräten und Systemen für ihren vorgeschriebenen Betrieb benötigen. Die Nennspannung ist mit gewissen Toleranzen versehen, die als Bemessungsspannungen angegeben werden. Bei Spannungsquellen wie Batterien, Akkus oder der Netzspannung liegt die Nennspannung unter der *Leerlaufspannung*, die sich bei Stromentnahme durch den *Innenwiderstand* der Energiequelle reduziert. Die Nennspannungen von Batterien und Akkus liegen bei den meisten Zink-Akkus bei 1,5 V. Lithium-Zellen beträgt die Nennspannung ca. 3 V.

NiCd-Akku *NiCd, nickel cadmium*

NiCd-Akkus sind wiederaufladbare Sekundärzellen, die äußerst robust sind und sich durch gute Leistungsdaten auszeichnen. Beim NiCd-Akku (Nickel Cadmium) ist die positive *Elektrode* aus Nickelhydroxyd, die negative aus Cadmium (Cd). Als *Elektrolyt* findet Kaliumhydroxid (KOH) Verwendung.

Batterien

Der NiCd-Akku ist tiefentladefähig, überladbar, hat einen äußerst geringen *Innenwiderstand* und im entladenen Zustand eine lange Haltbarkeit und Lebensdauer. Darüber hinaus kann er mehrere tausendmal aufgeladen und entladen werden. Die *Nennspannung* beträgt 1,2 V, die *Ladeschlussspannung* liegt zwischen 1,5 V und 1,65 V, die *Entladeschlussspannung* zwischen 0,8 V und 0,9 V und der *Ladestrom* 1-3C. Die *Leistungsdichte*, das Verhältnis von Leistung zu Gewicht, ist mit über 200 W/kg relativ hoch. NiCd-Akkus erreichen in den größeren Bauformen (KR20) *Nennkapazitäten* von über 8.000 mAh.

Die *Selbstentladung* liegt bei etwa 0,5 % pro Tag. Bei unvollständiger Entladung hat der NiCd-Akku eine bleibende Leistungsminderung, die durch den so genannten *Memory-Effekt* hervorgerufen wird. Da NiCd-Akkus durch eine Tiefenentladung ebenso geschädigt werden können wie durch eine Überladung, sollten *Ladegeräte* mit Delta-U-Abschaltung genutzt werden. Diese schalten den Ladestrom dann ab, wenn die Ladespannungskurve in den ebenen Verlauf übergeht.

Nach der EU-Batterie-Richtlinie dürfen Gerätebatterien maximal 20 ppm Cadmium enthalten. Es gibt zwar noch Ausnahmeregelungen, aber es ist davon auszugehen, dass diese bald eingeschränkt werden und der NiCd-Akku in absehbarer Zeit nicht mehr angeboten werden darf.

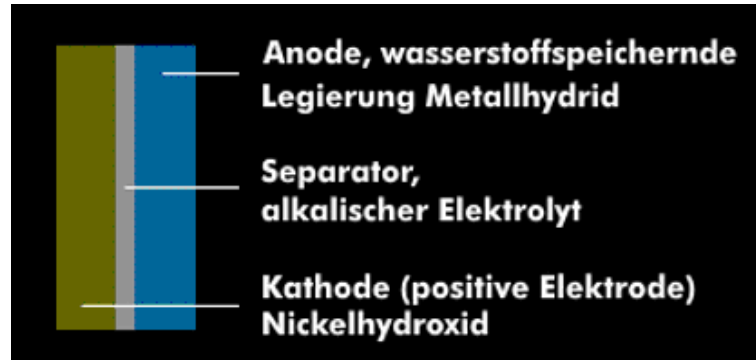
NiMH-Akku

NiMh, nickel metal hydrid

Nickelmetallhydrid-Akkus (NiMH) sind leistungsfähige Akkus, die in elektronischen Kleingeräten wie Digitalkameras, Handys, Palmtops usw. eingesetzt werden. Ihre Lebensdauer beträgt etwa 1.000 Ladezyklen, ihre *Energiedichte* etwa 100 Wh/kg und ihre *Leistungsdichte* bis zu 750 W/kg. NiMH-Akkus zeichnen sich dadurch aus, dass sie hohe und konstante Ströme über einen längeren Zeitraum generieren können.

Die Anode eines NiMH-Akkus, das ist die negative *Elektrode*, besteht aus einem Metallhydrid-

Batterien



Aufbau eines NiMH-Akkus

Pulver, das auf eine Lochblende aufgebracht ist und dient als Wasserstoffspeicher. Die Kathode, das ist die positive Elektrode, besteht aus einem Nickeloxydhydrat-Blech. Zwischen den beiden Elektroden befindet sich als *Separator* ein alkalischer *Elektrolyt*, der als Ionenleiter dient. Wird dem NiMH-Akku Strom entnommen, oxydiert der

Wasserstoff an der Anode und reagiert mit dem Elektrolyt zu Wasser. Der Elektrolyt sorgt für den Transport der Ionen, die bei der chemischen Reaktion mit den Elektroden abgegeben oder aufgenommen werden.

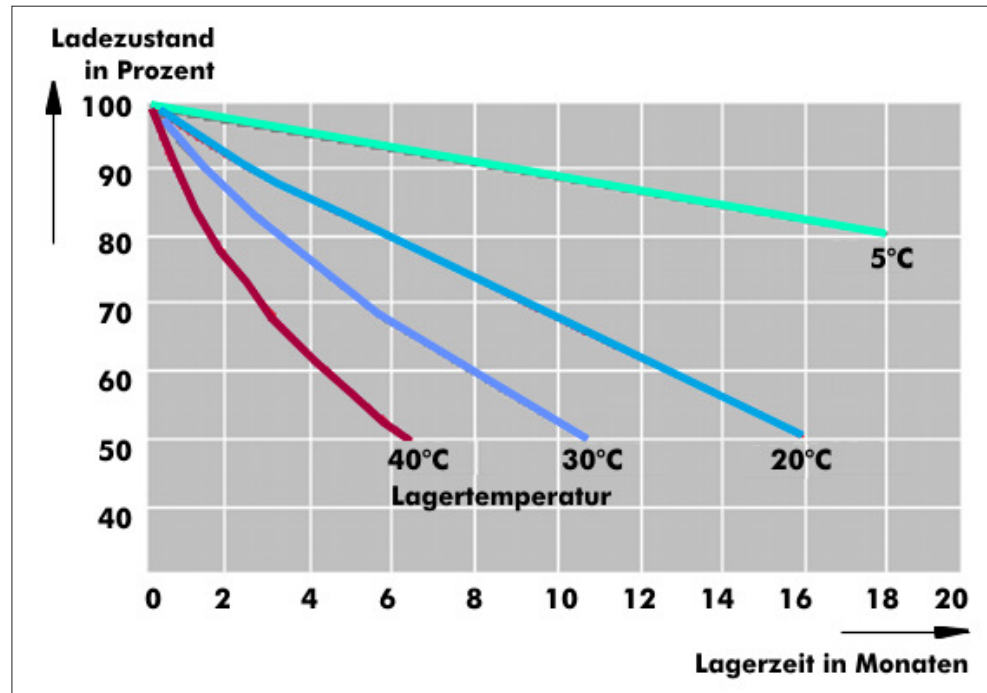
Durch die chemische Reaktion an der Kathode wird das Nickel reduziert. Der Ladungsausgleich erfolgt mittels Kationen über den Elektrolyt. Die Anode gibt den Stromfluss durch Umwandlung von Anionen in Elektronen nach außen ab.

Der NiMH-Akku hat eine *Nennspannung* von 1,2 V, er ist tiefentladefähig, überladbar und hat im entladenen Zustand eine lange Haltbarkeit und Lebensdauer. Die *Ladeschlussspannung* beträgt 1,4 V, die *Entladeschlussspannung* 0,85 V bis 0,9 V und der *Ladestrom* 1C. Nachteilig ist die relativ hohe *Selbstentladung*. Sie lag früher bei etwa 15 % pro Monat, zwischenzeitlich gibt es neuere Entwicklungen deren Selbstentladung bei nur noch ca. 20 % pro Jahr liegt.

Selbstentladung *self-discharge*

Selbstentladung ist ein chemischer Prozess von *Batterien* und *Akkus*, bei dem sich die Batterien ohne dass ein Verbrauchsstrom fließt, langsam entladen. Bei Primärzellen, also Batterien erfolgt die Selbstentladung wesentlich langsamer als bei Sekundärzellen, den

Batterien



Selbstentladung von NiCd-Akkus

der Wert etwa bei 15 % pro Monat.

Da die Selbstentladung mit der Temperatur ansteigt, empfiehlt es sich Batterien kühl zu lagern.

Akkus. Der Prozess der Selbstentladung ist temperaturabhängig und steigt mit höher werdender Temperatur an. Außerdem ist die Selbstentladung abhängig vom Batterietyp. Besonders stark ist dieser Effekt bei *NiMH-Akkus*, wo die Selbstentladung bei 25 % pro Monat und sogar höher liegen kann. Das bedeutet, dass die Restladung nach einem Monat 25 % unter dem vorherigen *Ladezustand* liegt. Bei *NiCd-Akkus* liegt

Separator

Die Bezeichnung Separator wird ganz Allgemein für Trennfunktionen benutzt, so in *Batterien* und *Akkus* für die elektrische Trennung der *Elektroden*, aber auch für Trenneinrichtungen, Trennsymbole und Trennzeichen in Datenfeldern oder in Mail-Adressen.

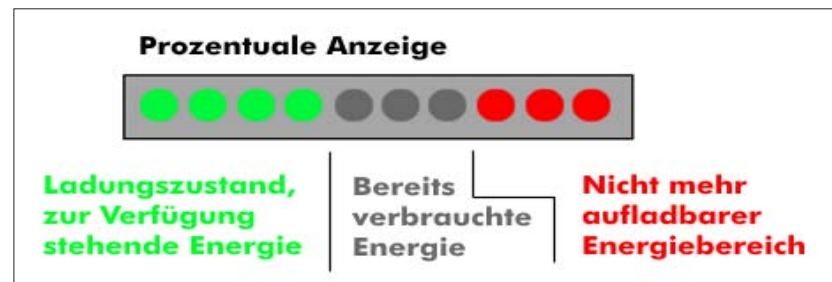
In einem Akku trennt der Separator die negative und die positive Elektrode, also die Kathode

Batterien

und die Anode elektrisch voneinander. Er bildet einen elektrischen Isolator, den allerdings Ionen für die elektrochemische Reaktion passieren können. Ein solcher Separator ist äußerst dünn und feinporig, er ist flexibel und besteht aus einer Membran oder aus Vliesstoffen, in denen sich der *Elektrolyt* befindet. Je dünner der Separator desto höhere Packungs- und *Energiedichten* können erzielt werden.

Smart Battery

Eine Smart Batterie (SB) ist eine intelligente *Batterie*, die mit einer Logik oder einem Mikroprozessor ausgestattet ist. Sie kann daher in gewisser Weise mit dem Ladegerät oder dem Benutzer kommunizieren. Die implantierte Intelligenz kann relativ simpel sein und beispielsweise den *Ladezustand* (SoC) durch Leuchtdioden oder eine Skalanzeige anzeigen. Die Ladezustandsanzeige allein hat allerdings nur eine begrenzte Aussagekraft, da erst mit dem Zustand der Batterie, *State of Health* (SoH), die tatsächliche Ladungsreserve ermittelt werden kann. Eine Batterie kann sich nämlich in einem schlechten Zustand befinden, der es nicht mehr ermöglicht sie auf die Nennkapazität aufzuladen. Trotzdem würde bei Vollaufladung die Ladungsanzeige 100 % betragen, obwohl die Batterie lediglich noch auf 70 % geladen werden kann.



Ladungszustandsanzeige einer Smart Battery

Daher wird bei einigen intelligenten Batterien neben der Ladungsanzeige auch der Bereich angezeigt, der bereits entladen ist und der, der nicht mehr geladen werden kann, weil sich der State of Health (SoH) durch viele Aufladungen verringert hat. Eine solche dreigeteilte Anzeige gibt dem

Batterien

Anwender Auskunft über die Restenergie, die verbrauchte Energie und den Bereich, der nicht mehr für die Energiespeicherung zur Verfügung steht.

SoH, state of health

State-of-Health (SoH) ist ein Kennwert von Akkus. Der SoH-Wert kennzeichnet den Zustand des Akkus und charakterisiert dessen Fähigkeit die angegebenen Spezifikationen zu erfüllen und zwar im Vergleich zu einem neuen Akku. Der SoH-Kennwert hängt von dem *Ladezustand* (SoC) ab und wird von diesem beeinflusst. Andererseits hängt auch der Ladezustand vom SoH-Wert ab. Beide Werte werden vom Batteriemanagementsystem überprüft und ausgewertet. Aus dem SOH-Wert geht die verfügbare Akku-Leistung hervor und damit der Strom, der entnommen werden kann.

Tiefentladung *deep discharge*

Die Tiefenladung ist ein wesentlicher Faktor, der unmittelbar auf die Lebensdauer von *Akkus* eingeht. Daneben sind es die Belastung und Entladung, die Stromentnahme, Überladung, Temperatur und die Ladeverfahren.

Bei der Tiefentladung handelt es sich um die vollkommene Entladung einer Batteriezelle durch Stromentnahme. Die Klemmenspannung sinkt dabei unter die *Entladeschlussspannung*. Bei Akkus mit in Reihe geschalteten Batteriezellen werden die Batteriezellen mit der geringsten Ladekapazität umgepolt. Außerdem wird durch die Tiefentladung der *Memory-Effekt* verstärkt und die aufladbare Akku-Kapazität reduziert. Da Akkus durch Tiefentladung zerstört werden können, werden sie mit Tiefentladungsschutz versehen. Bei *LiIon*-Akkus wird die Tiefentladung durch eine interne Sicherung verhindert.

Zink-Luft-Batterie *zinc air battery*

Zink-Luft-Batterien sind Primärzellen, also Batterien. Ihre chemische Reaktion basiert auf der Oxydation von Zink. Zink-Luft-Batterien verwenden eine relativ alte Technik, die in

Batterien

Knopfzellen in Hörgeräten eingesetzt wird. In letzter Zeit wird diese Batterietechnologie auch in Verbindung mit anderen Batterieformen und -größen eingesetzt. Die Überlegungen reichen über den Einsatz klassischer Batterien weit hinaus bis hin zur Energiequelle für Kraftfahrzeuge.

Nach der *elektrochemischen Spannungsreihe* ist die *Leerlaufspannung* von Zink-Luft-Batterien 1,6 V. Durch die Drosselung der Luftzufuhr wird die Spannung auf gängige Werte Quecksilberoxid-Zink-Batterien von 1,3 V bis 1,4 V reduziert. Da Zink-Luft-Batterien bei Sauerstoff reagieren und Energie erzeugen, ist die Luftabgeschlossenheit bei der Lagerung und vor dem Einsatz besonders wichtig, da sich die Batterie sonst selbst entlädt.

Vom Aufbau her bestehen Zink-Luft-Batterien aus einer Anode aus Zinkpulver, die Kathode wird aus dem Luftsauerstoff gebildet, das *Elektrolyt* ist Kalilauge und als Katalysator dient ein Graphitstab oder Graphitpulver. Die Zuführung des Sauerstoffs erfolgt durch kleine Luftlöcher, die bis zum Einsatz durch Klebebänder versiegelt sind. Sobald die Luftlöcher geöffnet werden und Sauerstoff zugeführt wird, findet eine Oxydation des Zinks mit dem Sauerstoff statt und die Zink-Luft-Batterie gibt die *Nennspannung* ab.

Herausgeber

Klaus Lipinski
Datacom-Buchverlag GmbH
84378 Dietersburg

ISBN: 978-3-89238-209-6

Batterien

E-Book, Copyright 2010

Trotz sorgfältiger Recherche wird für die angegebenen Informationen keine Haftung übernommen.



Dieses Werk ist unter einem Creative Commons Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenzvertrag lizenziert.

Erlaubt ist die nichtkommerzielle Verbreitung und Vervielfältigung ohne das Werk zu verändern und unter Nennung des Herausgebers. Sie dürfen dieses E-Book auf Ihrer Website einbinden, wenn ein Backlink auf www.itwissen.info gesetzt ist.

Layout & Gestaltung: Sebastian Schreiber
Titel: © Avner Richard – Fotolia.com

roduktion: www.media-schmid.de □
eitere Informationen unter www.itwissen.info □