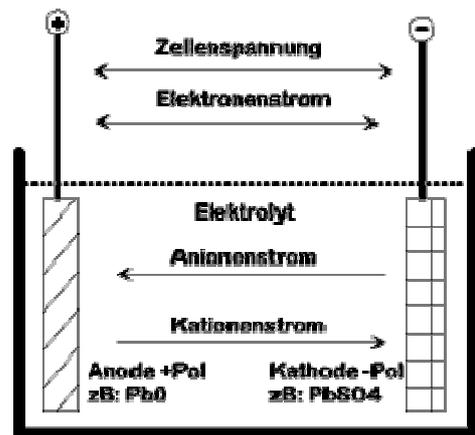
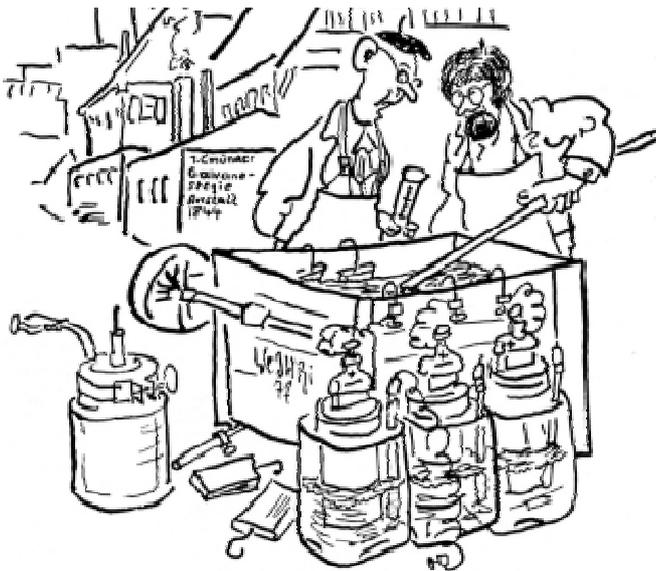




Schifflesfahrer's Akku

*Schifflesfahrer's Kapazitätsprobleme: Schriftliche Fassung meines Vortrags am SMC-Clubabend vom 02.11.1990 zum Thema: **Der Akku im Schiffmodellbau.***

Anwendung und Erfahrungen bleiben jedem selbst überlassen; andere Meinungen gelten ebenso. Geschrieben für das SMC-Blättle aus der Sicht eines Galvaniseurs. Überarbeitet mit einigen Ergänzungen.



"authentische" Anwendung von galvanischen Elementen (vorne)
galvanischen Bad (mitte) und
zwei Galvaniseuren bei ihrem Handwerk (hinten)
bei der Regeneration eines Silberbades
(von Werner Bissinger gezeichnet)

Schema eines galvanischen Elementes (Bleiakku)
Der Strom der Elektronen fließt außerhalb der Zelle beim Laden
von + nach -, beim Entladen von - nach +
In der Zelle wird zwischen Anoden- und Kathodenstrom unterschieden. Siehe auch Spannungslage eines Blei-Akkumulators
weiter unten.

Daß Strom von + nach - fließt ist Konvention!

Was ein Akku ist, weiß jeder. Was er tut (oder auch nicht), ebenfalls. Deshalb schreib ich - auf besonderen Wunsch - alles noch einmal auf.

Oder wenigstens nur meinen Teil zur Theorie.

Zur Geschichte des Akkus:

Durch Zufall entdeckte Professor Galvani am 6. November 1780 den nach ihm benannten "Galvanismus". Enthäutete Froschschenkel begannen lebhaft zu zucken, wenn in ihrer Nähe Funken aus dem Konduktor einer Elektrisiermaschine gezogen wurden. So kann man es jedenfalls in den meisten Lehrbüchern und Enzyklopädiën nachlesen.

Die Geschichte seiner für den Frosch so verhängnisvollen, für die Wissenschaft aber so folgenschweren Entdeckung war aber folgende:

Seiner erkrankten Frau Gemahlin waren zur Stärkung die Brühen von Froschschenkeln verordnet worden. Eines Tages lag nun eine Anzahl zu diesem Zweck abgehäuteter Frösche auf dem Küchentisch. Galvani arbeitete nicht weit entfernt von der Küche mit Kleistscher Flasche und Elektrisiermaschine und wurde durch einen fürchterlichen Schrei seiner Gemahlin unterbrochen. Sie hatte sich von ihm zum Enthäuten der Frösche ein Skalpell ausgeborgt, dieses fiel ihr aus der Hand und spießte den Schenkel eines Frosches auf. Der Schenkel begann so kräftig zu zucken, als wäre er lebendig (aus 70 Jahre Fachschule für Galvanotechnik).

Folgendes war passiert: Der Frosch lag auf der Zinkplatte des damals üblichen Spültisches und das stählerne Skalpell berührte die Platte und Nerven des Frosches zugleich. Der Stromschluß war über die Leitfähigkeit des Blutes und sonstiger Säfte geschlossen. Brauchte nur noch ein Nerv berührt werden und schon zuckten die Schenkel des toten Frosches: Das danach benannte "galvanische Element" war entdeckt.

Man muß dazu wissen: Zu dieser Zeit war man u.a. auf der Suche nach dem Lebenselixier des Lebens und Professor Galvani wurde u.a. dadurch berühmt.

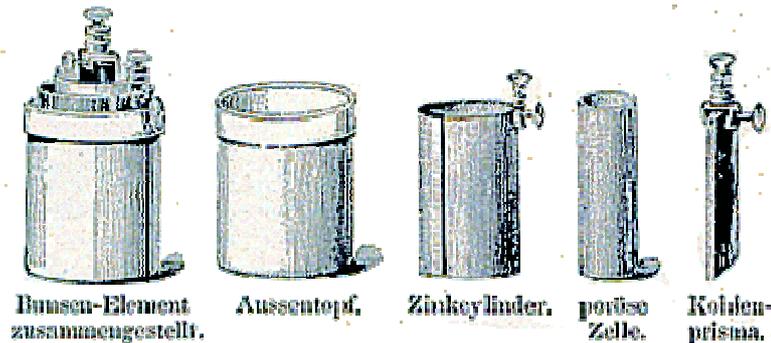
Alessandro Volta entwickelte 1799 ein Primärelement mit dem höhere Spannungen erzeugt werden konnten: Volta'sche Säule.

Johann Wilhelm Ritter erarbeitete 1802 die wiederaufladbare Ritter'sche Säule. Der erste Akku war entstanden.

Moritz Hermann von Jacobi beschreibt in seinem 1840 in Rußland erschienen Buch die Anfertigung von galvanischen Elementen die halbwegs vernünftig größere Strommengen lieferten. Dies war das erste Fachbuch der Galvanotechnik, selbst als Faksimile-Nachdruck heute viel wert.

Thomas Alva Edison in den USA und Waldemar Jungner aus Schweden entwickelten 1890 einen Akku mit Kalilauge als Elektrolyt.

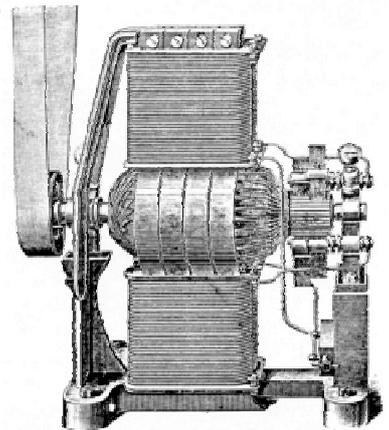
1912 befaßte sich Edison mit der Konstruktion eines gasdichten Stahlakkus.



oben der zerlegte Vorgänger aller Batterien heute

Etwa 1866 entdeckte Werner von Siemens das dynamoelektrische Prinzip. Bis dahin war die Gewinnung von elektrischen Strom zwar schon bekannt, aber diese "Elektriermaschinen" konnten recht hohe Spannungen aber kaum nennenswerte Mengen Strom erzeugen. Zum Betrieb seiner Galvanik aber brauchte er niedrige Spannungen mit genügend hohem Strommengen. Mit der Dynamomaschine von Wasserkraft, Dampfmaschinen oder später Verbrennungsmotoren angetrieben verschwanden die umständlich zu handhabenden galvanischen Elemente. Strom konnte elektromechanisch gewonnen werden und nicht mehr mit einer umständlichen, wenig umweltfreundlichen Elektrochemie.

Zweipolige Gleichstrommaschine



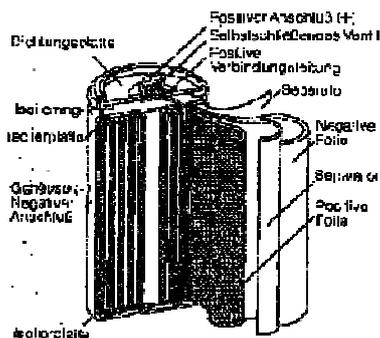
Damit waren wiederaufladbare Sekundärelemente interessant geworden. Der uns heute so geläufige Akku war zur Zwischenspeicherung elektrischer Energie ökonomisch geworden. Umfangreiche Arbeiten zum Bleiakku von Georg Neumann führten zu einer für die industrielle Fertigung brauchbare Lösung.

1951 wurden die ersten prismatischen Zellen hergestellt.

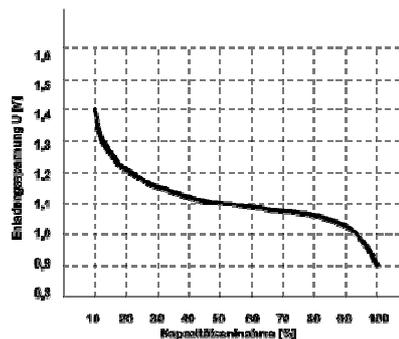
Die Großfertigung von Knopfzellen erfolgte 1954.

Die ersten gasdichten Nickel-Cadmium-Zellen mit zylindrischen Sinterelektroden gibt es seit 1958.

Zwischenzeitlich kommt der Strom bei uns aus der Steckdose und Akkuladen geht vollelektronisch geregelt fast wie von selbst.



Aufbau einer modernen Sinterzelle



Typische Entladungskurve

Begriffe, Grundsätzliches zum Thema Akku, dessen Gebrauch und Ladung:

Primärelement: gibt nur Ladung ab wie Leistung, Strom = handelsübliche Batterie

Sekundärelement: Umkehrbarer Ladungsaustausch = wiederaufladbarer Akkumulator

Batterie = Zusammenschluß mehrerer Primär- Sekundärelemente.

Dipolwirkung des Wassers:

ist nur eine Eigenschaft von vielen. Sie entsteht dadurch, daß die beiden Wasserstoffatome des Wassermoleküls sich nicht genau gegenüber stehen jeweils vom Sauerstoffatom, (H₂O, H-O-H, Hydrogenium-Oxygenium-Hydrogenium), sondern in einem Winkel von 119° Grad.

Ganze Bücher und sind darüber schon geschrieben worden, denn diese Eigenschaft des Wassermoleküls ist es übrigens, was alles Leben auf unserer Erde ermöglicht. (was wir so meinen)

Kapazität C:

Die Definition C ist die Strommenge (Ampère * Zeit in Stunden, Ah), die ein Akkumulator in einer Zeit von 20 Stunden abgeben kann:

z.B. 0,06 Ampère * 20 Stunden: C = 1,2 Ampérestunden (Ah).

Bei anderen Entladeströmen ergeben sich neue Werte; bei hohen Entladeströmen verringert sich grundsätzlich die zu entnehmende Strommenge! (Kapazitätsverringern durch unvollständige Ausnutzung). Oft wird die Kapazität in mAh (milli-Ampérestunden) angegeben, 1000 mAh entsprechen dann 1 Ah (Ampérestunde).

Entladungszeit:

z.B. Entladung einer Batterie mit 1,2 Ah Kapazität:

20 Std. 0,06 A = 100 % Kapazität bei 1,2 Ah

10 Std. 0,12 A = 94 % ""

5 Std. 0,24 A = 84 % ""

1 Std. 1,20 A = 63 % ""

5 Min. 12,00 A = 50 % ""

Allgemeines zu Akkumulatoren (Sekundär-Elementen)

In einem Blei-Akkumulator wird elektrische Energie in Form einer elektrolytischen Umwandlung von Blei in Bleioxyd oder Bleisulfat gesammelt und kann wieder abgegeben werden (reversibel).

Zwei Bleiplatten in destilliertes Wasser gestellt - man schließt eine Gleichspannung an - und nichts passiert. Das Wasser hat einen so hohen elektrischen Widerstand, daß gar kein Strom fließen konnte, und den beiden Bleiplatten passierte dabei auch nichts. Erst durch Zusetzen eines geeigneten Salzes, Säure oder Lauge wird ein Elektrolyt gebildet. Das Wasser wird dabei chemisch aufgespalten (Hydrolyse des Wassers, Bildung von An- und Kat-Ionen, Dissoziation) und ein elektrischer Strom kann durch die so gewonnene Leitfähigkeit des Wassers fließen.

Theorie des Blei-Akkus

Beim Bleiakku wird die Leitfähigkeit durch eine etwa 30%ige Schwefelsäure erreicht. Bei dieser Konzentration hat diese die höchste Leitfähigkeit (Aktivität, übrigens konzentrierte Schwefelsäure (Vitriolöl) leitet kaum noch Strom. Sie hat auch eine so geringe Azidität, daß sie in blanken Stahlbehältern ohne jeglichen Schutz des Materials transportiert werden kann).

Wenn man jetzt eine Spannung anschließt, fließt ein Strom, dabei wird an der Anode (+Pol) Sauerstoff frei und an der Kathode (-Pol) entwickelt sich Wasserstoffgas. Jedoch wird zu Beginn der Elektrolyse vorwiegend die gewünschte Arbeit geleistet. An der Anode (+Pol) wird Sauerstoff aus dem Wasser mit Blei in festes Bleioxyd umgewandelt

($Pb^{2+} + O_2^- = PbO$, Plumbum + Oxygenium).

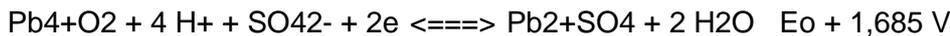
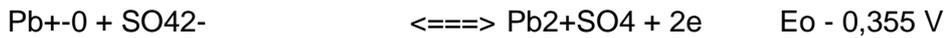
An der Kathode wird gleichzeitig der Sulfatanteil der Schwefelsäure mit Blei in festes Bleisulfat umgesetzt. $Pb^{2+} + SO_4^{2-} = PbSO_4$. Ein Voltmeter an die beiden Platten angeschlossen und man kann jetzt ein unterschiedliches Potential (Spannung) messen. Positiv (Plus-Pol) an der Bleioxyd-Platte, negativ (Minus-Pol) an der Bleisulfat-Platte.

Ein Akkumulator (Sammler, Sekundär-Element) ist geboren, denn dieser Vorgang ist umkehrbar (reversibel). Ein Verbraucher (kleine Lampe oder so) angeschlossen und schon fließt ein Strom solange bis alles Bleioxyd und Bleisulfat in Blei wieder rückumgewandelt ist. Die Ladung ist verbraucht und es muß neu aufgeladen werden. Es gibt eigentlich viele solcher galvanischer Elemente - nur wirtschaftlich sinnvoll müssen sie auch anwendbar sein.

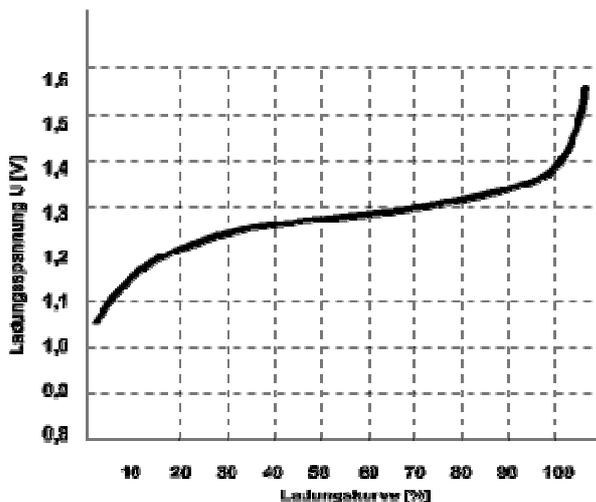
Bei der Entladung wird alles Bleioxyd zu Blei umgewandelt bis der Akku leer ist. Parallel dazu wird beim Entladen festes Bleisulfat an der Kathode gebildet. Das Ende ist nun daran zu erkennen, daß die Dichte der Schwefelsäure geringer geworden ist.

Beim Ladevorgang wird dann wieder Bleioxyd aus Sauerstoff gebildet und das Bleisulfat der Kathode löst sich auf und geht als Schwefelsäure in Lösung. Dies kann an der zunehmenden Dichte verfolgt werden. Diese Vorgänge laufen allerdings nicht ganz optimal. Nicht aller Strom wird zur Bildung des gewünschten Bleioxydes und Auflösung des Bleisulfates verbraucht. Es findet daneben vor allem zum jeweiligen Ende des Lade- und Entlade-Vorganges noch eine oben erwähnte Gasentwicklung (Wasserelektrolyse) statt, - weil einfach nicht genügend umsetzbares Material mehr vorhanden ist (Massenwirkungs-Gesetz). Dies muß dann beim Laden durch einen Ladefaktor von 1,4 mit berücksichtigt werden. Die Oberflächen der Bleiplatten sind stark perforiert, und mit Auflagen versehen um eine Fläche so groß wie möglich bilden.

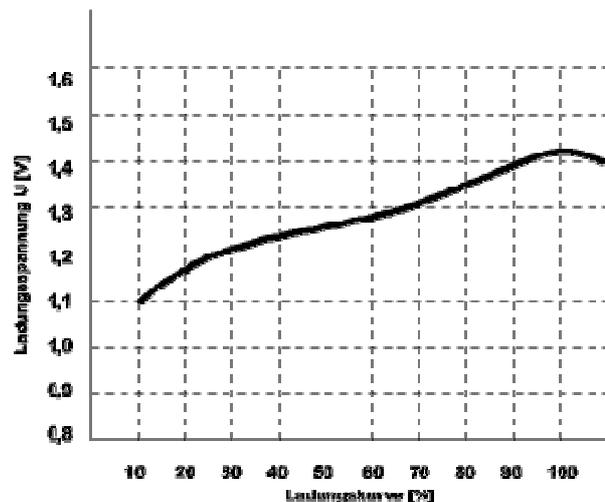
Spannungslage eines Blei-Akkumulators theoretisch:



Diese Spannungen werden gemessen bei 1-normalen Konzentrationen, (Normalelement); Raumtemperatur 25 °C; - stromlos mit Wheatston'sche r Meßbrücke; Elektrodenpotential E_0 = elektromotorische Kraft eines Elements; alles bezogen auf die Normal-Wasserstoffelektrode mit Potential $E_0 \pm 0$ Volt, daher auch die + und - Werte des Bleiakku-Potentiales E_0 , zusammen 2,040 Volt, - Pol bedeutet dabei Elektronenüberschuß e-; + Pol Elektronenunterschluß e- (Konvention)



Ladekurve eines Bleiakkus



Ladekurve einer NiCd-Akkus (Sinterzelle)

In der Praxis

wird so verfahren, daß neue (Auto-Starter-Batterie-) Bleiplatten vorgeladen sind, d.h. mit Bleisulfat und Bleioxyd in jeweils einer speziellen Modifikation beschichtet sind (Verfahrensgeheimnis der Hersteller). Die Schwefelsäure wird erst unmittelbar vor dem tatsächlichen Gebrauch eingefüllt. Diese löst zunächst die vorgeladenen Bleiplatten an, was etwa 24 Stunden dauert (sollte). Danach wird der Akku vorsichtig (langsam) geladen werden. Dabei wird die an den Bleiplatten gebundene Schwefelsäure frei. Dies führt so zu einem Anstieg der Schwefelsäurekonzentration (Dichte) des Elektrolyten, und kann zur Messung des Ladezustandes herangezogen werden.

Moderne geschlossene Autobatterien (Blei-Gel-Akkumulatoren) sind allerdings sofort voll einsatzfähig - auch zum Starten. Allerdings es sollte auch hier dann eine längere Auflade-Fahrt stattfinden. Diese Gel-Bleiakkumulatoren (in kleinerer Ausführung), und in jüngerer Zeit schwarzfarben, robust und leistungsfähig, sind es, die denn Schifflesfahrer interessieren. Sie sind lageunabhängig, gasdicht, wasserdicht und vertragen auch schon mal eine nicht immer ganz optimale pflegliche Behandlung.

Nickel-Kadmium-Akkumulator
Spannungslage theoretisch:

Anode: $\text{Ni}(\text{OH})_2 + 2(\text{OH})^- \rightleftharpoons 2 \text{NiOOH} + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 e^-$

Kathode: $\text{Cd}(\text{OH})_2 + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Cd} + 2(\text{OH})^-$

Akku: $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Cd}(\text{OH})_2 + 2e^- \rightleftharpoons \text{NiOOH} + \text{Cd} + 2 \text{H}_2\text{O}$

- Entladung \rightleftharpoons Ladung

Theorie des NiCd-Akkus:

Der Elektrolyt bei diesem Akkutyp besteht aus Kalilauge (KOH) mit einer Dichte von ca. 1,30 g/cm³. Diese Kalilauge hat eine große Leitfähigkeit, welche die relativ hohen Ströme erst möglich macht. Zur Vereinfachung der obenstehenden Summenformel ist allerdings die Kalilauge (KOH) weggelassen worden, da sie eigentlich nur die benötigte Leitfähigkeit liefert und die elektrochemische Reaktion des Nickels und Kadmium ermöglicht.

Bei aufgeladenen Akku besteht die Anode aus Nickel(III)-Hydroxyd (NiOOH, rechts). Die Kathode ist dann nur Kadmium (Cd, rechts).

Die Ladung erfolgt nach rechts, Entladung nach links.

Nach der elektrochemischen Spannungsreihe, erstmals aufgestellt von dem Physikers Volta (1827), hat ein solches Element eine Grundspannung von 1,24 Volt (Normalelement).

Entladen:

Kathode: Bei der Entladung verbindet sich das Kadmium der Kathode ($\text{Cd} + 2(\text{OH})^-$, rechts) mit dem negativen Laugenrest zu Kadmiumhydroxyd ($\text{Cd}(\text{OH})_2 + 2 e^-$, links). Dabei werden zwei Bindungselektronen frei. Auf der Kathode entsteht so ein Elektronenüberschuß, sie ist negativ geladen.

Anode: Das Nickel(III)-Hydroxyd der geladenen Anode verbindet sich mit einem positiven Wasserstoffion ($\text{NiOOH} + \text{H}^+ + 2e^-$, rechts) zu Nickel(II)-Hydroxyd ($\text{Ni}(\text{OH})_2$, links). Bei diesem Vorgang werden zwei Elektronen benötigt, die von der Kathode aus - über einen angeschlossenen Verbraucher - zur Anode gelangen.

Reaktion:

Man erkennt, daß bei jeder Molekularumwandlung an der Kathode zwei Elektronen entstehen, die an der Anode gebraucht werden. Durch einen elektrischen Strom gleichen sich der Elektronenmangel (+Ladung) und der -überschuß (-Ladung) aus. Diese Entladung hält so lange an, bis die gesamte Elektrodenmasse umgewandelt ist.

Aufladung:

Kathode: Bei der Aufladung kehren sich die oben dargestellten Vorgänge um. Vom Ladegerät werden der Kathode Elektronen zugeführt. (Einfach durch Anlegen einer höheren Spannung!) Ein Kadmiumhydroxyd-Molekül ($\text{Cd}(\text{OH})_2 + 2 e^-$, links) nimmt zwei Elektronen auf, es wird dadurch wieder zu reinem Kadmium ($\text{Cd} + 2(\text{OH})^-$, rechts). Man sieht, daß dabei zwei Hydroxydionen ($\text{OH})^-$ frei werden.

Anode: Diese Hydroxydionen ($\text{OH})^-$ wandern durch den Scheider zur Anode und reagieren dort mit dem Nickel(II)-Hydroxyd ($2 \text{Ni}(\text{OH})_2 + 2(\text{OH})^-$, links). Dabei entsteht wieder Nickel(III)Hydroxyd ($2 \text{NiOOH} + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 e^-$, rechts). Es werden zwei Elektronen frei, die zum Ladegerät fließen. Außerdem entsteht Wasser, das durch seine Dipolwirkung (Dissoziation) die Kalilauge spaltet und dadurch den für die Entladung notwendigen Laugenrest bildet.

Reaktion: Der Ladevorgang dauert so lange, bis die gesamte Elektrodenmasse wieder voll umgewandelt ist. Ein Vorteil des NiCd-Akkus besteht darin, daß der Elektrolyt nicht direkt am chemischen Umsetzungsprozeß teilnimmt. Er verändert sich daher nicht, er leitet nur den Ionenstrom zwischen der Anode und der Kathode. Die elektrische Leitfähigkeit der Kalilauge bleibt aus diesem Grund relativ konstant. Bei einer normalen Stromabgabe steigt der Innenwiderstand daher nur unbedeutend an. Dies ist der Grund, warum die Spannung eines NiCd-Akkus während der Stromentnahme und Aufladung ziemlich konstant bleibt. In der Praxis folgt daraus, daß eine solche Zelle bis zum Kapazitätssende hoch belastet werden kann.

Überladung, Wasserelektrolyse: Für einen Schiffsmodellbauer der diese Zellen einsetzt, ist es noch von großer Wichtigkeit zu wissen, was bei einer Überladung im Akku vor sich geht.

Die Kathode ist bei einem NiCd-Akku größer als die positive Elektrode. Eine Zelle ist aufgeladen, wenn die kleinere Anode vollständig in Nickel(III)-Hydroxyd umgewandelt ist. Fließt dann noch weiter Ladestrom, so läuft an der Kathode weiter der oben beschriebene chemische Vorgang ab. Es entstehen weiterhin Hydroxydionen, die zwar zur Anode gelangen, dort aber nicht mehr wie gewollt reagieren kann. Es bildet sich nach der untenstehenden Reaktionsgleichung Sauerstoff, Wasser und zwei Elektronen. die den Ladestromfluß aufrecht halten. $2(\text{OH})^- = \text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2 + 2 e^-$.

Das Wasser und der Sauerstoff treten durch den porösen Scheider hindurch zur Kathode. Dort reagieren beide Substanzen zu Hydroxyd-Ionen, dazu werden zwei Elektronen benötigt, die vom Ladegerät geliefert werden. $\text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2 + 2 \text{e}^- = 2 (\text{OH})^-$.

Es ist deutlich zu erkennen, daß dies ein chemischer Reaktionskreislauf ist. Der an der Anode entstehende Sauerstoff wird an der Kathode benötigt, es findet ein Ausgleich statt. Allerdings läuft diese Rekombination nur problemlos bei kleinen Ladeströmen ab. Ein NiCd-Akku nimmt keinen Schaden, wenn eine Normalladung (mit einer Laderate von 0,1 - 0,3 C) über einen langen Zeitraum erfolgt.

Anders bei einer Schnellladung: wegen des hohen Ladestromes entsteht an der Anode wesentlich mehr Sauerstoff, als an der Kathode rekombinieren kann. Dies führt zu einer Temperaturerhöhung, denn bei einem Gas stehen nach einer physikalischen Gesetzmäßigkeit Druck und Temperatur in einem direkten Zusammenhang. Diese Gasentwicklung durch Wasserelektrolyse führt zu einem Überdruck im Akku. Bevor dieser explodiert öffnet ein Sicherheitsventil (bei ca. 15 bar). Dabei entweicht neben dem Gas auch ein Teil des Elektrolyts; und somit verliert die Zelle an Kapazität! Es kommt bei einer Schnellladung darauf an, daß der Ladestrom vor Erreichen der Vollladung unterbrochen wird, um Beschädigungen der Zellen zu vermeiden.

Bedingungen im Modell

Von großer Bedeutung für den Einsatz von NiCd-Akkus als Energiequelle im Modellschiff ist das Wissen um die negativen Einflüsse des Innenwiderstandes einer Zelle. Er setzt sich aus dem ohmschen Widerstand des Elektrolyten und den galvanischen Übergangspotentialen der Elektroden zusammen. Durch die Sintertechnik ist es den Konstrukteuren gelungen, den Widerstand der Elektroden relativ gering zu halten. Der Elektrolyt leitet den Ionenstrom während der Entladung gut, nähert sich der Akku aber dem Kapazitätssende, so steigt sein Widerstand an. Es ist nicht mehr genügend freie Elektrodenmasse mehr vorhanden.

An diesem Innenwiderstand fällt ein Teil der erzeugten Spannung ab, wenn die Zelle belastet wird, es entsteht Wärme.

Bei hohen Entladeströmen wird so die Zelle unerwünscht zum zusätzliche Verbraucher der aufgeladenen Energie! Aus diesem Grunde sollte man einen hochbelasteten Antriebsakku während der Entladung kühlen. Zumindest nicht mit einer wärmeisolierenden Hülle umgeben.

Der Innenwiderstand und die galvanischen Potentiale sind auch dafür verantwortlich, daß beim Laden eine wesentlich höhere Spannung als die Normal- Zellenspannung vom Ladegerät geliefert werden muß, denn der Ladestrom erzeugt am Innenwiderstand R_i einen Spannungsabfall. Bei einer Sinterzelle bricht die Spannung kurz bevor der Akku leer ist, schnell zusammen. Dies ist auf den drastischen Anstieg des Innenwiderstandes zurückzuführen. Eine weitere Stromentnahme sollte vermieden werden. Sie führt zu einer unnötigen Erwärmung der Zelle, denn am höheren Innenwiderstand entsteht mehr Wärme. Reduziert man den Entladestrom, so verringert sich der Widerstand des Elektrolyten wieder, so daß für eventuelle notwendige Rettungs-Fahrmanöver wieder Reserven vorhanden sind. Direkt nach einer Schnellladung ist der Innenwiderstand eine NiCd-Akkus am geringsten, daher sollte man die Zellen erst kurz vor dem Gebrauch Schnellladen, wenn man ein Optimum an Leistungsausbeute erreichen will.

Jeder wird nun vielleicht einsehen, warum die Hersteller bemüht sind, den Innenwiderstand der Zellen möglichst gering zu halten. Der Anwender sollte nicht unnötig durch Überladung mit großen Strömen und durch den daraus resultierenden Austritt von Elektrolytflüssigkeit (Abblasen durch das Sicherheitsventil) diese Werte verschlechtern.

Durch die Sintertechnologie

ist der Innenwiderstand relativ klein (große Oberflächen in kleinem Raum). Allerdings kann man mit dieser Methode weniger aktive chemische Substanz in einer Zelle unterbringen als bei Massezellen. Außerdem ist das Gewicht höher. Der Kapazität einer Sinterzelle sind bei gegebenen Abmessungen Grenzen gesetzt. Die Industrie hat daher die sogenannte Mischzelle entwickelt. Bei diesem Typ ist nur die Anode nach dem Sinterverfahren hergestellt. Diese Zellen haben bei geringerem Gewicht und gleichen Abmessungen eine höhere Kapazität als eine reine Sinterzelle. Allerdings muß man bei diesem Typ einen höheren Innenwiderstand in Kauf nehmen.

Der Anwender sollte sich Gedanken machen, für welchen Zweck er die Akkus einsetzen will. Die Mischzellen werden nach einem einfacheren Herstellungsverfahren gefertigt. Sie sind daher etwas preiswerter und bringen dann Vorteile, wenn keine extremen Hochstrombelastungen durchgeführt werden.

Mischzellen:

Zu diesen Mischzellen gehört z.B. die "HIGH AMP-PLUS" von Panasonic. Sie hat etwa 10 % weniger Masse als eine gleich große reine Sinterzelle. Ihre Energiedichte ist dadurch größer. Der Entladestrom sollte daher nicht über 25 A bei einer 1,5 AH-Zelle ansteigen, sonst macht sich der bauartbedingte höhere Innenwiderstand negativ bemerkbar. Für einen Sender- oder Empfängerakku sind diese Zellen jedoch ideal: schnelle Ladung bei genügend Stabilität gegenüber dem Pulsbetrieb.

Hochstromzellen:

Wer aber für seinen Antriebsmotor größere Ströme benötigt, dem bringt die höhere Kapazität nichts, denn der Akku hält bei diesen Belastungen die Spannung nicht. Für diese Anwendungsfälle sind reine Sinterzellen, z.B. die Sanyo-cut-off-Typen, die bessere Alternative.

Die bekannten Anbieter von Modellbauartikeln haben fertig konfektionierte Akkupacks mit unterschiedlichen Zellenzahl für die verschiedenen Anwendungszwecke im Programm. Dabei sind natürlich auch Produkte weiterer Hersteller, wie die der Firmen Varta und Saft etc. im Angebot.

Spannung, praktisch:

Die in unseren Akkus abweichenden Spannungen ergeben sich durch anwendungsspezifische Änderungen der Arbeitsparameter: der verwendete Elektrolyt Schwefelsäure hat etwa 4-normale Konzentration (etwa 25%), um die höchstmögliche Leitfähigkeit (Aktivität) zu erreichen. Die eingesetzten Bleielektroden sind mit Antimon, Quecksilber und anderem legiert, um höhere Standfestigkeiten zu erreichen. Zusätzlich werden die Elektroden aufgeraut hergestellt, um eine größtmögliche Oberfläche zu erlangen. Bei NiCd/Akkus wird Nickelsulfat aufgetrocknet, mit Kalilauge umgefällt und zu Nickeloxyd eingebrannt = Sintern. Die einzelnen Elektroden müssen elektrisch getrennt stoßfest gehalten werden. Zwischenlagen (Spacer) dienen als Stützen, speichern den Elektrolyt und sollen trotzdem keinen nennenswerten Widerstand haben. Bei den im Normalbetrieb auftretenden Strömen ist nie mit einer 100 %igen Stromausbeute zu rechnen. Teile des fließenden Stroms (bis zu 40 %) werden zur Erzeugung von Sauerstoff an der Anode oder Wasserstoff an der Kathode verbraucht (Wasserelektrolyse). In raffiniert angeordneten Polypropylen-geweben kann der Wasserstoff zur Anode diffundieren um hier entladen zu werden. Der Sauerstoff wird entsprechend an der Kathode rekombiniert. Das entstandene Knallgas wird so wieder zu Wasser zurückverwandelt.

Bei diesen Vorgängen wird immer Bindungsenergie in Form von Wärme frei, die zusammen mit den durch Elektrolyse des Wassers entstehenden Gasen zu einer Druckerhöhung im Akku führt. Dieser Gasdruck muß abgefangen werden. In einer offenen Autobatterie älterer Bauart vergast das Wasser und muß deswegen regelmäßig nachgefüllt werden.

Die Innen- und Außentemperaturen spielen mit: niedrige Temperatur ergibt einen höheren inneren Widerstand des Elektrolyten = weniger Strom; höhere Temperaturen dagegen führen zu einer vorzeitigen Selbstentladung. Dies sind nur einige wichtige Faktoren in der Praxis. Interessant vielleicht: es werden in Wasser nur sehr schwer lösliche Systeme eingesetzt; es gibt Elektrolyte mit wesentlich besseren Leitfähigkeiten. Nur diese eignen sich leider nicht zum Bau preiswerter reversibler Stromsammler (Akkumulatoren). Weißes, unlösliches Bleisulfat was sich auf der Kathode bildet z.B. macht die Dispersionsfarbe zum Wändestreichen erst richtig schwer und abwaschbar.

Primärelemente,

welche konstruktionsbedingt Strom nur abgeben können, gibt es seit mindestens 4.000 Jahren. Dazu gehören alle Taschenlampenbatterien (Kohle-Zink-System). Batterien mit extrem hohen Leistungen für einmaligen, kurzzeitigen Einsatz sind leider sehr teuer (Silber-Zink-Elemente, Goldclips), und alle nur einmal benutzbar!

Erst durch die Erfindung des Dynamos (heute noch an fast jedem Fahrrad), welcher nach dem elektrodynamischen Prinzip arbeitet, konnten größere Strommengen aus Wasser- und Dampfkraft erzeugt werden. Dies führte auch ganz schnell zur Entwicklung von Stromsammlern (den ersten Bleiakkumulatoren) und löste die bis dahin umständlich zu handhabenden galvanischen Elemente ab (Siemens war Chemiker und Betreiber einer Galvanik).

Zu entnehmender Strom:

Bleibatterien können, bedingt durch den höheren Widerstand der eingesetzten Schwefelsäure (H₂SO₄), gegenüber der besseren Leitfähigkeit von Kalilauge (KOH) in NiCd-Batterien grundsätzlich immer nur einen kleineren Strom abgeben. Der NiCd-Akku ist deshalb bei hohen geforderten Stromleistungen vorzuziehen. Rennboote wären mit noch so teuren Bleiakkus eine lausige Sache! Der Bleiakku hat dagegen ein etwas günstigeres Gewicht/Speicherungs/Verhältnis. Auch wenn Blei ein hohes spezifisches Gewicht hat, ist es beim NiCd-Akku eine große Menge vernickelten Stahlbleches, die das Verhältnis bestimmen. Als Sender- und Empfängerakku ist nur ein NiCd-Akku einzusetzen da dieser, bedingt durch den geringeren Innenwiderstand, den Pulsbetrieb besser verträgt. Nur relativ kleine Spannungssprünge entstehen, vorausgesetzt, Zuleitungen und Stecker sind i.O. Bei einem kleineren Bleiakku wäre die Spannung sehr unruhig, was besonders dem Empfänger, vor allem bei sonstigen möglichen Störern am See zusätzlich zu schaffen macht. Nicht immer nur lustige Manöver sind die allbekannten Folgen. Frequenzüberlagerungen sind meist die Ursache, teils eigene, und andere noch dazu, die einem geplagten Empfänger durcheinander bringen können.

Einfluß der Arbeitstemperatur auf die Leistung:

Normal: 20 - 30 °C = 100 % C, Kapazität + - 0 °C = ca. 80 % C - 20 °C = ca. 60 % C Ausnahme: + 40 °C = ca: 105 % C
Zyklenzahl, Lebensdauer: Bleiakku: 1500 - 2000 Zyklen 5 - 8 Jahre NiCd-Akku ca. 1000 Zyklen 5 - 8 Jahre.

Die Lebensdauer

wird durch die Bildung von immer größer werdenden Kristallen (Sulfatierung) begrenzt. Festgewordene Kristalle können auch immer nur ein Äquivalent Strom transportieren; binden aber andererseits vom Hersteller eingesetztes Arbeitsmaterial. Dies bedeutet eine allmähliche Kapazitätsverringern! Hohe Zyklenzahlen werden immer nur dann erreicht, wenn die verwendeten Batterien so eingesetzt werden, wie es sich der Konstrukteur gedacht hatte. Also bitte: schonend damit umgehen; Batteriedaten beachten; jede Batterie dankt es seinem Betreiber mit langer Lebensdauer. Auch so ein verschlossener Kerl wie ein Akku hat ein Eigenleben. Es geht dauernd auf und ab mit ihm; er kann mal müde sein; auch mal richtig explodieren; aber auch vorzeitig ruhig dahinsiechen, oder aber ein guter alter Freund seines Besitzers sein! Diesbezügliche Erfahrungen (auch eigene) führen immer wieder zu ausführlichen Gesprächen am See.

Entlade-Endspannung:

Blei-Akku 1,7 Volt / Zelle (immer!) bei einem 6-Volt-Akku (3 Zellen) ist bei $3 * 1,7 = 5,1$ Volt Schluß. Bei einer weiteren Entladung siehe Tiefentladung. NiCd-Akku 0,9 Volt / Zelle, (normal) andere niedrigere Spannungen je nach Typ möglich. Moderne Cut-Off-Zellen unkritisch.

Tiefentladung:

Beim Tiefentladen werden die Elektroden teilweise angelöst (Blei-Akku). Die Formierung wird zerstört. Es bilden sich unlösliche zusammenhängende Metallsalze (große Kristalle), die zum Teil nicht mehr oder nur in geringerem Umfang am Strom-Ladungstransport teilnehmen. Der Akku verliert an Kapazität, und zwar (oft langsam), aber sicher auch wenn neuere Konstruktionen nicht mehr so empfindlich sind wie früher.

Bei Standby-Akkus älteren Jahrganges führt dies zur sofortigen Zerstörung! Ausnahme: Bestimmte moderne NiCd-Akkus (Cutoff-Typen). Diese sind sogar nach Gebrauch mit mittlerem Strom tief zu entladen (Autolampe anhängen) und mit einem Widerstand oder Lampe auf 0-Volt-Pegel zu halten. Diese Typen werden erst unmittelbar vor Gebrauch mit hohem Strom aufgeladen und sofort eingesetzt. Sie verlieren ihre Ladung dafür schon nach kurzer Zeit. Diese für Videokameras, Akkuschauber und andere Handwerkszeuge entwickelten Akkus sind für unsere Rennbootfahrer ein wirklicher Segen. Können sie doch endlich mit selektierten Akkusätzen und teuren Elektromotoren sogar den Verbrennern das Fürchten lehren!

Ladefaktor F:

Der Faktor F ist 1,4. 100 % Ladung + 40 % Gasentwicklung: Berechnung: C = Kapazität, z.B. 1,2 Ah (0,06 A/20h) $C/10 =$ Ladestrom, errechnet aus Kapazität $1,2/10 = 0,12$ A, (120mA) $F = 1,4 * 10 \text{ h} * 120 \text{ mA}$ Ladung: = 14 Stunden * 120 mA bei einem Akku mit 1,2 Ah (Ampérest.) Sowohl beim Entladen als auch beim Laden entstehen immer Verluste durch nicht 100 %ige Stromausbeuten. Eine zusätzliche Gasentwicklung neben der eigentlichen Ladung führt zu diesem höheren Stromverbrauch. Merke: Diese schonende Normalladung ergibt, konstruktionsbedingt, die meisten Ladezyklen.

Selbstentladung:

"Normale" Selbstentladung eines Bleiakku's Nach 3 Monaten = 9 % Verlust C 6 " = 18 % " 12 " = 36 % "

Standby-Akkus (Alarmanlagen)

haben nur eine geringe Selbstentladung, welche kleiner als 5 % pro Jahr sein kann. Nachteil: nur geringe Stromentnahmen möglich. Die Selbstentladung entsteht durch Kriechströme innerhalb eines Akkus. Diese sind immer vorhanden. Allerdings unterschiedlich stark, je nach Konstruktion.

Vorteilhafte Lagertemperatur eines Akkus ist 10 bis 20° C. Ein Bleiakku sollte grundsätzlich im aufgeladen gelagert werden: stabiler, nicht kritischer Zustand; kaum Sulfatierung möglich. Gegebenenfalls alle 2 Monate nachladen. Die schnellere Selbstentladung bei NiCd- Akkus ist ungefährlich. Nach einem Monaten ist meistens nur noch die Normalspannung des NiCd-Elementes zu messen; bei einer Stromentnahme ist nach kurzer Zeit Schluß. Deshalb vor erneutem Gebrauch unbedingt normal laden.

Ladung von Bleiakкумуляtoren:

Über Ladung mit preiswerten Mehrfachladern will ich hier nicht weiter schreiben, außer vielleicht, daß diese Geräte, gemessen an ruinierten Akkus, am Schluß die teuerste Lösung sind.

Ladung eines Bleiakkus mit Konstantspannung:

Die Ladeendspannung eines Bleiakkus beträgt 2,30 Volt pro Zelle. Nach Erreichen dieser Spannung wird der Ladestrom gleich oder fast Null, da keine weitere elektrochemische Reaktion mehr stattfindet. Der Akku ist so wirklich voll geladen. Alles mögliche kapazitätsbestimmende Material ist umgeformt! Aller darüber hinaus gehender Strom bedingt durch eine höhere Spannung am Netz- oder Ladegerät haben nur noch eine Gasentwicklung im Inneren des Akkus zur Folge. Sollte ein Bleiakku merklich warm werden, ist mit Sicherheit zu viel des Guten (Bösen) getan.

Zum Laden:

ist grundsätzlich jedes brauchbare Netzgerät mit Konstantspannungs-Regelung und Strombegrenzung geeignet. Zum Bleiakku-Laden konzipierte Geräte sind jedoch preiswerter. Diese kann man meist entweder auf 6 oder 12 Volt einstellen. Der maximale Strom $C/10$ wird zu Ladebeginn eingestellt und wird zum Ladeende hin langsam geringer bis fast oder ganz Null. Bei konstanter Spannung regelt sich der Strom von selbst herunter. s.O.

Den Ladestrom $C/10$ berechnet man:

angegebene Kapazität / 10, z.B. 6,5 AH (6.500 mAh) / 10 = 650 mA (0,65 Ampère) Ladestrom eines Akkus mit 1,2 Ah = 120 mA (0,12 Ampère) Ein Akku mit 6 Volt hat 3 Zellen mit je 2 Volt also $3 * 2,30 \text{ V} = 6,90 \text{ Volt}$ Ladeendspannung. Ein 12-Volt-Akku hat dementsprechend 6 Zellen und so $6 * 2,30 \text{ V} = 13,80 \text{ Volt}$ Ladeendspannung. Darüber hinaus gehende Ladespannungen über 2,4 Volt/Zelle erzeugen nur noch eine Gasentwicklung, der Akku wird durch die Wasserelektrolyse nur noch warm. Das warme Gas entwickelt inneren Druck, der die Trennwände deformieren kann, Kurzschlüsse mit starker Stromentladung und zusätzlicher Gasentwicklung können entstehen. Explosionsgefahr! Abblasen über ein eingebautes Druckventil verhindert meistens Schlimmeres, aber jedes Abblasen führt zu Elektrolytverlust und damit zu Kapazitätsverminderung.

Öffnung bei ca. 3 bis 15 bar Druck.

Ausnahme: Es gibt Bleiakkus, die können unter genau definierten Bedingungen schnellgeladen werden bei Spannungen um 2,4 - 2,5 Volt/Zelle.

Ansonsten gilt immer: $C/10$ Ladestrom. (Angegebene Kapazität / 10) Nach 10 Stunden sind 96 bis 100 % der möglichen Ladung erreicht. Der Ladestrom verringert sich zusehends und wird meist nach 14 Stunden ganz auf Null Ampère gefallen sein.

Bei einem Ladegerät mit Konstantspannung und Strombegrenzung kann so der Akku eigentlich unbedenklich auch längere Zeit am Ladegerät angeschlossen bleiben. Das Gerät muß nur eingeschaltet sein. Bei Netzausfall jedoch den Akku unbedingt abhängen, da die Spannungsmessung des Ladegerätes den Akku allmählich entladen würde. So ist es immer besser den Akku nach einer vollständigen Ladung abzuhängen.

Zu kleine Ladeströme machen jeden Akku müde, es bilden sich sehr feine, fest zusammenhängende Deckschichten, die sich nur langsam bei einer Belastung wieder umformieren lassen.

Bei den im Modellbau eingesetzten Gelakkus (Blei) ist der Elektrolyt versteift oder in einem feinen, hochsaugfähigen Fiberglas-Separator festgehalten (NiCd). Sie können so weitgehend lageunabhängig und auslaufsicher eingesetzt werden. (Herstellerangaben bitte immer beachten). Bei besonders billigen Bleiakkus ist auch meist etwas faul! Vor allem eine lange Lagerzeit kann den Akku schon ruinieren.

Ein Bleiakku hat eine so schöne Ladespannungskurve,

die am Ende der Ladung richtig ansteigt und so vom Ladegerät einfach erkannt werden kann. Bei Konstantspannung schaltet sich der Bleiakku notfalls auch selber ab, er nimmt einfach nichts mehr auf. So gesehen, ist eigentlich ein Bleiakku recht unproblematisch.

Auch mit Bleiakkus

kann man viele Modelle ganz schön zum laufen bringen. Man muß eben statt billigen, stromfressenden Motoren mit nur 3-poliger Wicklung bessere Typen einsetzen. Unterm Strich kommt mit preiswerten Bleiakkus und teureren stromsparenden Motoren etwa der gleiche Geldsatz heraus wie bei billigen Motoren und teuren NiCd-Sinterzellen (mehrfach nachkalkuliert).

Handhabungsregeln eines Bleiakkus:

Tiefentladen vermeiden, keinen Kurzschluß - Explosionsgefahr!

Nicht zu hohe Entladeströme - normal bis $2 * C$

Mit korrektem Strom $C/10$ und fester Ladeendspannung laden

Immer im geladenen Zustand bei Raumtemperatur lagern

Ladung von Nickel-Kadmium-Batterien: (oder Ladung von NiCd-Batterien mit verschiedenen Problemen?)

Es sind hier verschiedene Methoden möglich. Jeder hat so seine eigene, beste Lademethode entwickelt.

Man frage nur mal am See, wie richtig geladen wird. Heftige Diskussionen sind dann bei den Akku-Lade-Spezialisten die Folge. Andere machen nur große Augen. Ich auch - immer wieder! (zugegebenermaßen)

Ladeendspannung pro NC-Zelle:

1,35 V für normale Typen, 1,46 V für schnellladefähige Typen mit kleiner Belastung 1,50 V für schnellladefähige Typen mit hoher Belastung. 1,74 V Cutoff-Zellen. + ?? V Spannungsverluste im Ladekabel!!

Schon diese Sammlung läßt genügend Diskussions-Stoff ahnen!

Ladekurve eines NiCd-Akkus:

Die Ladekurve als Hilfe ist etwas kritisch. Beim Laden eines NiCd Akkus steigt die Spannung ganz am An-

fang recht schnell, danach während der eigentlichen kapazitätbestimmenden Ladung nur noch langsam, um bei vollem Akku allmählich (meistens) wieder abzufallen. Und dies alles nicht gleichmäßig. Für jedes Ladegerät und seinem Erfinder eine knifflige Aufgabe, diesen nur schlecht erkennbaren Endpunkt zu treffen. Nachzumal es verschiedene Typen mit unterschiedlichen Ladekurven gibt.

Laden mit Konstantstrom:

Am einfachsten (und bei aufmerksamer Behandlung recht sicher) ist folgende Methode:

Entladen

wird der Fahrakku z.B. wird wirklich, indem man so lange herum fährt, bis das Modell-Schiff merklich langsamer wird. Oder alle Verbraucher wie Lampen einschalten, bis das Licht allmählich ausgeht. Oder den Akku (wieder daheim) mit einem Motor (Lampe) entladen. Eine beginnende Tiefentladung ist nicht allzu kritisch.

Laden der Akkus

sofort danach mit konstantem Strom von C/10 mindestens 14 Stunden laden. Konstant-Stromquellen dafür sind einfach und preiswert und ausreichend. Auch bei einer eventuellen Überladung mit diesem Ladestrom C/10 passiert nicht allzuviel. Der Akku wird zwar warm, aber solange er nicht anfängt abzublasen, ist alles o.k. Mit einem einstellbaren Zeitwerk kann man nach Ablauf der Ladung gegebenenfalls den Strom ganz abschalten oder aufwendigen mit einem geringerer Haltestrom auf Erhaltung umgeschaltet werden. Meine Akkus haben so etwa 6-8 Jahre überlebt bei vielleicht 150 bis 250 Ladezyklen. Mehr war allerdings auch nicht drin.

Dauerladung:

Eine Dauerladung über lange Zeit, auch bei kleinen Strömen, ist nicht sinnvoll und sollte vermieden werden. Die modernen NiCd-Akkus sind einfach nicht dafür konzipiert. Man kann sie auch längere Zeit einfach liegenlassen. Jedoch muß dann vor dem erneuten Gebrauch wieder geladen werden.

Ladepkapazität-Erhaltung:

Übrigens: Unsere NiCd-Akkus sind so richtige Arbeitspferde. Bei allzu schonender Behandlung werden sie faul und halten auch die Ladung nicht allzu lange. Wenn man also gleich nach Gebrauch den Akku so richtig eifrig geladen hat und nach einer Woche am See ist, braucht man sich nicht zu wundern, wenn die Ladung nicht bis zum Ende einer langen Schiffles-Fahrer-Wochen-End-Runde reicht. Abhilfe: Da der Akku in einer Woche ca. 10 - 30 % seiner Ladung verloren hat, wird einfach noch einmal, bevor man zum See geht, noch einmal 1 - 3 Stunden nachgeladen mit einem konstanten Ladestrom C/10.

Auf die gleiche Weise kann man ältere Kandidaten, die nicht mehr so richtig wollen, manchmal wieder auf Vordermann bringen, indem die müde gewordenen NiCd- Akkus mehrfach auf- und entladen werden. Dabei wird eventuell allmählich Festgewordenes wieder gelöst, und kann so wieder an der Stromspeicherung teilnehmen.

Gedächtnis-Effekt:

Genau so verwunderlich sind trotz relativ neuer Akkus nur kurze Senderzeiten. Der Akku wurde doch nach jedem Gebrauch ordentlich aufgeladen und jedesmal vielleicht nur etwa eine Stunde benutzt. Wichtige Vorgänge am See, wie Gespräche über Regattaerfolge, Kaffeetrinken, Eisessen, Sonnenbrand usw. bringen den Akku zu der Meinung, auch nicht mehr als notwendig zu tun, als sein Betreiber. Der Akku merkt sich das! Es wird ja auch nur ein Teil seiner möglichen Kapazität benutzt. Man nennt dies, so richtig wissenschaftlich, Gedächtniseffekt. Was ist passiert?

Durch mehrfache Teilent- und Aufladung wird der Rest der möglichen nicht benutzten Ladung unseres Sender- oder Empfängerakkus fest kristallin. Und wenn dann mal plötzlich ein längerer Arbeitstag auftreten sollte, geht der Akku regelrecht in die Knie! Unsereins geht die Luft aus, dem Akku der Saft. Die Spannung bricht zusammen, ein wildgewordenes Schiff auf dem Wasser sorgt für die allfällige Abwechslung am See, weil der Empfänger endlich sein eigenes, vom Sender unkontrolliertes Leben verwirklichen kann. Andere Sender, noch voller Saft (Akku) helfen dann gleich noch mit.

Abhilfe:

Sender- und Empfängerakku ab und zu richtig (tief)-entladen, z.B. während der Sportschau einfach den Sender einfach eingeschalten lassen, öfters die Ladeanzeige kontrollieren bis die Ladeanzeige im roten Feld ist. An manchen Sendern kann die Spannung direkt abgelesen werden oder der Sender meldet sich mit einer Blinklampe.

Das Gleiche gilt für den Empfängerakku. Einfach eingeschaltet lassen, bis wenigstens ein angeschlossenes Servo in eine Endstellung läuft und zu nichts weiteren zu bewegen ist. Danach 14 Stunden mit: Strom C/10 aufladen. s.O.

Kapazitätsschwund:

Formieren Batterien haben, herstellungsbedingt, Kapazitätsunterschiede von ca. 10% (meist mehr als an-

gegeben). Ein voll geladener Akku wird im Modell eingesetzt ganz normal leergefahren, und danach gleich wieder aufgeladen.

Dabei ergibt sich folgende Situation:

Eine oder mehrere Zellen mit geringerer herstellungsbedingter Kapazität werden früher leer sein; die Spannung fällt schnell ab; der aufmerksame Kapitän merkt dies am langsamer werdenden Schiff und nimmt sein Modell aus dem Wasser, während noch die restlichen Zellen eigentlich noch eine Teilladung haben. Wenn in diesem Zustand dann aufgeladen wird, so werden die nur teilentladenen Zellen schneller ihre Ladeendspannung und mehr erreichen und so einem Ladegerät mit Spannungsregelung eine volle Batterie vortauschen, während einigen Zellen (die mit der kleineren Kapazität) noch gar nicht voll sind. Nach mehrfachem Ladezyklus wird so der mögliche Arbeitsbereich (Kapazität) immer enger (kleiner). Es ist offensichtlich ein Schwund gegenüber dem theoretischen Wert eingetreten.

Abhilfe:

Formieren des Akkus. Dies geschieht, wie im Absatz vorher beschrieben. Den Akku kontrolliert mit kleinem Strom (tief)-entladen. Dabei können bei schnelladefähigen Zellen auch einzelne umgepolt werden. Danach allerdings sofort mit Strom C/10 mindestens 14 Stunden lang aufladen. Teilentladene gute Zellen werden dabei auch ganz entladen, andere mit geringerer Kapazität tiefentladen (auch mal umgepolt). Aufgeladen werden die guten dann ganz, während die schwachen schon überladen werden.

Dieses Formieren ist nur bei etwa jedem 5. Ladezyklus zu empfehlen. Aber auch notwendig.

Normalladung: mit Ladeendspannung

Laden mit dem Mikroprozessor N2400: Der Ladevorgang mit einem solchen Gerät, welches diesen Prozessor verwendet, geschieht etwa so: Eine Batterie mit entsprechender Zellenzahl wird an die Ladebuchse des Ladegerätes angeschlossen und die Spannung wird mit einem eingestellten Wert verglichen.

Falls die Spannung hoch genug ist (Akku voll) passiert gar nichts. Ansonsten wird auf Entladen umgeschaltet und bis zur vorgegebenen Entladungs- Endspannung mit mittlerem Strom entladen.

Dabei kann man bei teilentladenen Akkus richtig Entladestufen feststellen. Es wird so nach und nach jede einzelne Zelle fast tiefentladen was bei einem geringeren Entladestrom nicht weites schlimm ist.

Nach Erreichen dieser unteren Spannung von etwa

0,6 Volt/-Zelle wird auf Laden umgeschaltet.

z.B. 4 Zellen * 0,6 V wären 2,4 Volt für den Empfängerakku.

Dabei wird mit fest einstellbarem Strom (C/10) aufgeladen. Nach Ablauf von 12 Stunden wird in jedem Fall abgeschaltet. Wenn die vorgegeben Ladeendspannung vorzeitig erreicht wurde, wird dies angezeigt.

Nach Erreichen der Endspannung wird zuerst abgeschaltet um nach 2 Sekunden noch mal nachzuladen.

Wird dabei die Ladeendspannung wieder erreicht so wird abgeschaltet und alle Anzeigen sind aus. Fällt dann die Spannung allmählich wieder ab durch Selbstentladung wieder ab wird auf Erhaltung umgeschaltet. Dies geschieht dadurch, daß immer nach 17 Sekunden ein kurzer Ladestrom-Impuls eine Sekunde lang abgegeben wird. Bei neuen Batterien wird abgeschaltet, da diese die erreichte Spannung längere Zeit halten. Normal ist jedoch die Lade- Erhaltungsroutine.

Bei älter und weich gewordenen Akkus geschieht dies fast sofort. Auf diese Art wacht das IC und der Akku wird immer aufgeladen gehalten. Dies muß allerdings bei jedem Akkusatz ausgemessen werden um so eine annähernd volle Ladung zu erhalten.

Nebenher kann die Temperatur des Akkus überwacht werden.

Schnelle Ladung mit diesem IC ist auch möglich.

Schaltungen mit Fenster-Diskriminatoren funktionieren ähnlich. Es wird meist nicht entladen vorher. Dafür ist eine solche Schaltung preiswerter zu erstellen. Nachteil: Mit beiden Techniken kann man einen Akku nur schwer erkennbar ganz voll laden. Aber sichere 80% - 90% einer möglichen Ladung sind immer besser als unangenehme Überraschungen. Handladung von schnelladefähigen Nickel-Kadmium- Batterien: ist meiner Meinung nach eine sichere Methode: Man muß sich intensiv mit seinen Akkus befassen. Und die Biester sind letztlich dankbar dafür.

Rennbootfahrer, bei denen die im Boot mitgeführte Energie entscheidend ist, haben folgende Methode entwickelt:

Mehrere Akkusätze, sofern vorhanden, werden leergefahren, liegen gelassen, bis sie sich wieder abgekühlt haben, um danach pauschal ca. 1/2 Stunde (Küchenmesser) mit C/2 vorgeladen zu werden. Bei 6 oder 7 Zellen einfach Lampe 12 Volt 60 Watt zwischen Autokauf und schnelladefähigen Batterien. Ein 1,7 Ah Akku wird mit ca. 2 - 3 Ampere vorgeladen und wenn dann der Wecker geklingelt hat, wird von Hand weiter laufend die Temperatur kontrolliert bis es dem einzelnen Satz zu warm wird, gut handwarm (35 - 45 °C). Dieser Akku wird abgenommen. Der Akku ist zu diesem Zeitpunkt etwa zu 80 % voll. Nach einer Abkühl- und Beruhigungsphase werden von Hand bei über 2 Ampere der letzte Rest in den geplagten Akku gepumpt, bis dies relativ schnell heiß wird (ca. 40 °C), und auch schon mal sein Notventil öffnet um Überdruck (bis zu 15 bar) abzulassen, dann wird kurz im See abgekühlt, ins richtige Boot eingebaut, und los

geht die wilde Hatz!

Diese aufwendig geladenen Akku wird in kürzester Zeit wieder entladen. Es soll Akkusätze geben, - Geheimtips beachten - die haben diese Tortur schon 100 mal und mehr ausgehalten.

Diese radikale Methode kann man perfektionieren (elektronisch automatisieren) durch nachfolgend beschriebene

Delta-Peak Ladetechnik:

Jeder Akku wird beim Laden warm. Bei einem Strom von mehr als C/3 geht diese Erwärmung schneller voran, weil in der kurzen Ladezeit der Akku nicht mehr schnell genug abkühlen kann.

Der Spannungsanstieg während eines Ladevorgangs ist darauf zurückzuführen, daß es den ungeladenen Kristallen allmählich schwieriger wird, einen freien Platz auf den Elektroden zu finden (höhere Bindungsenergie wird notwendig). Die Elektrode wird immer dichter belegt und der eigentliche Ladevorgang hört auf. Der Akku ist voll! Nichts geht mehr??

Danach wird der Ladestrom nur noch zu Gasentwicklung verbraucht.

Wobei bei vollem Akku die Ladespannung durch den geringer werdenden Widerstand des warm gewordenen Elektrolyten wieder abfällt.

Bei Cutoff-Zellen ist dies besonders deutlich: Delta-Peak ist erreicht! Doch Vorsicht! Nur solche Zellen vertragen dies. Andere könnten vorzeitig schon mal ihr Innenleben zeigen.

Ladung nach Temperatur:

Eine einfache Ladetechnik verwendet die ansteigende Temperatur als Endpunkt. Mit einem Fühler wird laufend die Temperatur gemessen. Nach Erreichen eines eingestellten Wertes (bis zu 46 °C, je nach Akkutyp verschieden), wird vom Ladegerät der Strom einfach abgeschaltet.

Das setzt aber voraus, daß man diese Endtemperatur kennt. Für jeden Akkusatz muß die ihm eigene Ladespannungskurve aufgenommen werden. Dabei wird bei wieder abfallender Spannung die Temperatur gemessen und auf dem Akkusatz vermerkt.

Ladung nach Spannung, Probleme:

Eine elegantere Methode nutzt den Spannungsabfall bei vollem Abfall aus. Diesen Spannungsabfall dabei zu erkennen, ist gar nicht so einfach, wie sich das zunächst anhört. Die Messung muß sicher auf kleine Spannungsänderungen des vollen Akku im Millivoltbereich reagieren. Wobei zu Beginn der Ladung große Sprünge auftreten, die Spannung steigt zuerst mit Störungen steil an, danach wird die Ladekurve immer flacher, und bei vollem Akku fällt die Spannung erst wieder langsam ab, aber all dies nicht gleichmäßig. Die Zellen gasen dabei intern bei Schnellladen stark. Durch dieses Zellenrauschen sind immer kleine Spannungsänderungen auf und ab die Folge, denn die nicht gleichmäßig entstehenden Gasblasen behindern den Strom.

Ladung nach Delta Peak:

Bei einem tiefentladenen Akku steigt die Spannung zuerst sehr steil an, um vor dem eigentlichen Ladung wieder kurz abzufallen. Diese erste Phase wird dann mit einer Zeit von ca. 2 Minuten oder bei teilentladenen Akkus von Hand überbrückt. Danach kann so verfahren werden, daß in Intervallen von ca. 10 bis 20 Sekunden gefragt wird, ob die Spannung noch steigt oder fällt. Ein Fallen wird dann mit einem Zähler vermerkt. Wenn mehrere Zählimpulse hintereinander positiv erfolgen (Spannung fällt), wird als Akku voll erkannt und abgeschaltet.

Sollte ein Impuls zwischendurch negativ sein (Spannung steigt), wird der Zähler zurückgesetzt und von neuem vorwärts gezählt.

Auf diese Weise können Unregelmäßigkeiten während des Ladevorgangs ausgeklammert werden.

Solche Ladegeräte sind wegen den Extremen hoher Strom bei Messung von kleinen Spannungs-Differenzen bei hoher Reproduzierbarkeit noch immer recht teuer. Das Netzteil von geeigneten Ladegeräten muß sehr stabil sein (großzügige Dimensionierung), um einen gleichmäßigen Strom zu liefern. Aus gutem Grund werden, neben anderen, dazu gern Autobatterien als Stromgeber verwendet. Bei höheren Zellenzahlen (ab 8) müssen dann aber Spannungswandler (nicht ganz billig) eingesetzt werden.

Mit viel Aufwand soll man mit solchen Ladetechniken geeignete Akkus bis zu 100% vollpumpen, um dann im Rennboot alles in kurzer Zeit wieder zu verheizen. Es gibt immer wieder Behauptungen, daß die so geplagten Akkus sogar über 100 % der Leistung abgeben können. Das hängt jedoch einfach damit zusammen daß der Hersteller eines Akku's ein Mindestkapazität garantieren muß. Und so wird, um sicher zu sein (Garantie), ein Akku immer mehr als die aufgedruckte Kapazität liefern, solange er 'werksneu' ist.

Meines Wissens sind Batterie-Hersteller sehr vorsichtig mit Aussagen zu ihren Akkus bei dieser Ladetechnik.

Selektierung von Akkusätzen:

Es wurden richtig aufwendige Computerprogramme entwickelt: jede neue fabrikneue Zelle wird kontrolliert, mehrmals ge- und entladen, gute Zellen mit gleichen Daten zu einem Pack zusammengestellt. Die weniger

guten preiswert verkauft.

Die so selektierten sind dann entsprechend teuer.

Mit viel Aufwand soll man mit solchen Ladetechniken geeignete NiCd-Akkus bis zu 98% vollpumpen können. Wobei anzumerken ist: nicht nur die Ladetechnik, sondern vor allem die Entladetechnik ist von entscheidender Bedeutung. Auf dem beigelegten Blatt sind verschiedene Entladekurven dargestellt.

Zur Energie unseres Schifflesfahrer-Akku noch einige Anmerkungen:

Bitte nicht ganz ernst nehmen; alles nur Theorie!

Für eine Null mehr oder weniger - keine absolute Garantie!

Strömendes: Bei einem Strom von 1 Ampère sind in 1 qmm Kupferdraht - das ist etwa ein 1 cm langes Stück mitteldickes Dünnkabel (Telefondraht), sind zu gleicher Zeit $1,602 \cdot 10^{19}$ Elektronen unterwegs. In Zahlen ausgedrückt: genau 16.020.000.000.000.000 fleißige Elektronen.

Gewichtiges: dabei werden $6,022 \cdot 10^{23}$ Gramm transportiert: 0,000.000.000.000.000.000.000.060.22 Gramm Materie.

Einsteiniges: $E = m \cdot C^2$; 1 Gramm Materie entsprechen etwa 25 Megawatt Strom. Energie, um eine Stadt wie Hamburg einen Tag damit zu versorgen. Unsere Sonne wird so jede Sekunde um 4.000.000 Tonnen leichter und - unser Akku mit 1 Ah beim Laden um 0,000.000.000.04 Gramm schwerer. Nur - einen Akku nach solch einem Gewichtsunterschied zu laden ist mit Sicherheit noch schwieriger als elektronisch oder von Hand.

Geschwindiges: dabei kommen die Elektronen bei den in Modellschiffen üblichen Spannungen nur etwa 1 Millimeter in einer Sekunde voran. Ca. 30 cm/Stunde/Volt. Ein Rennbootfahrer-Elektron schafft so nicht mal eine Runde im 5-minütigem Rennen.

Kürzeres: Ein Kurzschluß (Stromschluß) ist dagegen bedeutend schneller, der geschieht mit fast 300.000 km/sek (beinahe Lichtgeschwindigkeit). Also in einer Sekunde etwa 8 mal um unsere Erde herum.

Verwirrendes: Daß der Strom in Leitungen von plus nach minus fließt ist Konvention (positiver Stromfluß). Denn die Elektronen als negativer Ladungsträger fließen tatsächlich von minus nach plus. Das sieht man gut am galvanischen Element.

Umwelt existiert auch am Schifflesfahrer-Goldbachsee:

Batterien und Akkus sind nicht nur teuer in der Anschaffung, sondern auch im ausgedienten Zustand noch Wertstoff. Neue Bleibatterien enthalten so etwa 40 % Blei aus alten aufgearbeiteten. Diese Wertstoffrückgewinnung aus Kostengründen gibt es schon seit Jahrzehnten, zu einer Zeit also, als es den Begriff Recycling noch gar nicht gab, und Umweltpolitik noch ein Fremdwort war. Das in unseren NiCd-Akkus eingesetzte Nickel und Kadmium sind nicht nur giftig, sondern genauso Wertstoff und teuer. Nickel kostet zur Zeit etwa DM 25,- pro kg, Kadmium etwa das doppelte. Ab 1. März 1993 sollen Handel und Industrie verpflichtet werden, Batterien und Akkumulatoren zurückzunehmen und einer Verwertung oder Entsorgung zuzuführen. Diese vom Umweltminister vorgelegte Batterieverordnung schließt sich nicht nur der EG-Richtlinie über gefährliche Stoffe enthaltende Batterien und Akkumulatoren vom 18. März 1991 an, sondern erweitert diese um die Rücknahme und Beseitigung für die Zink-Kohle-Batterien und die quecksilberarmen Alkali-Mangan-Batterien. Hoffen wir daß dies in Zukunft klappen wird, denn manche Händler wissen von der derzeitigen Freiwilligkeit nichts.

Persönliches:

Toxizität (Giftigkeit): Nickel wirkt stark allergisch und in bestimmter Form krebserregend.

Kadmium blockiert Enzyme in der Niere und führt zu schmerzhaften Knochenerkrankungen (vor allem bei Zinkmangel, den wir alle durch unsere Art der Ernährung haben).

Blei führt zu Übelkeit, Verdauungsstörungen bis zur Erblindung.

Säuren, Alkali und sonstige Chemikalien von Akkumulatoren und Batterien wirken zumindest ätzend.

Also bei einem Unfall - sofort mit möglichst viel Wasser waschen. Eventuell einen Arzt aufsuchen und zwar immer dann wenn etwas ins Auge ging!

Dies alles aus der Sicht eines Galvaniseurs

Peter Schuster