

# Robert's Akkumulatorenkompendium

Betrachtungen über die Funktionsweise von Akkumulatoren und deren artgerechte Behandlung  
erste, durchgesehene Auflage

© by OE1RCS / Robert C. Schillinger

Bildmaterial, sofern nicht anders vermerkt, mit freundlicher Genehmigung der Exide GmbH  
(2012) beziehungsweise Auszüge aus Datenblättern der Greensaver Corporation™

## Vorwort

Wir als mehr oder weniger Technikinteressierte sind im Laufe unseres Lebens vielfach mit Akkumulatoren in Berührung gekommen, sei es als Starterbatterie im Kraftfahrzeug, Stromversorgung auf Booten oder Almhütten weitab der Versorgungsnetze der EVU's, Kleinakkus für den Akkuschauber, den Laptop oder die USV, die unter unserem Schreibtisch steht, wie auch in Portabelgeräten wie Handy, Taschenlampe, Videokamera, Handfunkgerät, etc. etc.

Unsere Erinnerungen daran sind allerdings meist zwiespältiger Natur, denn manchmal (häufig??) haben die Akkus nicht gehalten, was uns die Industrie vollmundig in Aussicht gestellt hat. Gelegentlich wurden wir von unseren mehrfach verwendbaren Stromversorgungen sogar schmäählich in Stich gelassen, natürlich immer dann, wenn wir es am wenigsten brauchen konnten.

In der Regel ist an dem Dilemma jedoch nicht ausschließlich der Akku schuld, vielfach liegt es daran, dass wir über seine Eigenschaften im Unklaren gelassen wurden, begründet im Bestreben der Hersteller und Händler, ein perfektes, wartungsfreies, langlebiges, robustes, pflegeleichtes, deppensicheres „Kästchen zur Aufbewahrung von Elektrizität“ anbieten zu wollen. Da wirken kompliziert erscheinende Behandlungsvorschriften natürlich kontraproduktiv.

Erschwerend kommt noch hinzu, dass wir zu elektrischen Geräten grundsätzlich einen wesentlich unbeschwerteren Zugang haben als zu mechanischen Geräten. Mein Kurzwellentransceiver hat eine Sendeleistung von 100 Watt. Wenn ich den TRX mit der korrekten Spannung versorge und an einer geeigneten Antenne betreibe, dann liefert er diese 100 Watt auch, Punkt, aus. Die Stereoanlage meiner Tochter hat noch mehr Ausgangsleistung, 2 x 150 Watt, Sinus natürlich. Damit kann sie ordentlich Krach machen, auch, wenn sie behauptet, dass das kein Sinus ist sondern Musik. Kaum jemand käme auf die Idee, da nach weiteren Betriebsbedingungen zu fragen, die einzuhalten sind, um diese 2 x 150 Watt zu erreichen. OK, 4 Ohm - Lausprecher vielleicht noch, aber das war's dann im Großen und Ganzen. Umgebungstemperatur? Luftdruck- und Feuchte? Oder gar Vorgeschichte, wie laut wurde gestern Musik gespielt und welche Musikrichtung? Fehlanzeige. Entweder, weil es einfach keine Rolle spielt oder, weil die Grenzwerte so weit weg sind, dass wir sie ohnehin nie erreichen. Und die Lebensdauer ist bei elektrischen Geräten meist auch kein Thema, das Zeug hält fast immer lang genug, die Stereoanlage meiner Tochter sogar schon viel zu lange.

Bei mechanischen Produkten sieht das schon anders aus, nehmen wir zum Beispiel unser Lieblingsblechspielzeug, das Auto her. Wenn man ein wenig darüber nachdenkt, fällt auf, dass

## Robert's Akkumulatorenkompendium

diese Ansammlung aus großteils technischem Anachronismus deutlich höhere Anforderungen an den Umgang mit sich stellt. Natürlich haben wir eine Nennleistung von 100 PS. Aber jedem ist bewusst, dass die nicht immer und überall zur Verfügung stehen. Niedriger Luftdruck, zum Beispiel auf einem hohen Berg ... aha, da sieht's gleich anders aus. Oder bei winterlichen Außentemperaturen? Der Motor will sorgsam warmgefahren werden, nicht über längere Zeit mit zu hohen oder zu niedrigen Drehzahlen gequält werden, er mag es weder zu heiß noch zu kalt im Betrieb, wer den falschen Gang wählt oder die Kupplung gefühllos bedient, den straft er mit Verachtung, indem er ansatzlos den Dienst quittiert oder zumindest durch Rucken, Spritzen und Qualmen seinen Unmut äußert.

Darüber hinaus fordert er laufend „Streicheleinheiten“ in Form von Servicearbeiten, er wünscht permanent diverse frische Flüssigkeiten, die noch dazu laufend auf korrektem Niveau zu halten sind, braucht immer wieder mal neue Filter, Kerzen, Riemen, Injektoren und andere Kleinteile. Verweigert man ihm diese, so beginnt er unbotmäßig zu saufen oder haucht im schlimmsten Fall frühzeitig sein Leben aus. Wann haben Sie eigentlich den letzten Ölwechsel an Ihrer Stereoanlage gemacht?

Außerdem beansprucht er einen eigenen, nicht zu klein bemessenen Raum im Fahrzeug fast für sich alleine.

Lediglich die Starterbatterie, die er so dringend braucht, um überhaupt zum Leben zu erwachen, darf sich noch schüchtern in eine Ecke des Motorraumes drücken. Aber der braucht man keine weitere Beachtung zu schenken, denn die ist ein elektrisches Ding auf dem noch dazu steht „wartungsfrei“, seit einigen Jahren sogar „keinesfalls öffnen“ und vielleicht noch „Flüssigkeit nicht saufen“, weil Starterbatterien werden auch in Ländern verkauft, wo die Bevölkerung keinen gesunden Hausverstand haben darf, wie beispielsweise in den USA.

Weil wir der Batterie also keine Beachtung schenken (dürfen) überrascht es uns logischerweise auch, wenn das Ding irgendwann ohne Vorankündigung den Dienst quittiert. Wartungsfrei ist eben nicht gleichzusetzen mit unkaputtbar. Im Vergleich zum Verbrennungsmotor wäre der Aufwand für die Wartung geradezu lächerlich gering. Das heißt natürlich nicht, dass eine ordnungsgemäß behandelte Batterie nie kaputt wird, aber wenn man sich ein bisschen mit dem Thema auseinandersetzt, kann man die Lebensdauer deutlich verlängern und Sie werden im Laufe dieser Abhandlung sehen, dass es gar nicht so kompliziert ist.

## Kapitel 1: für Minimalisten

Sollten Sie langatmige Erklärungen weniger schätzen, dann ist dieses Kapitel das Richtige für Sie. Hier sind die grundlegenden Behandlungsempfehlungen für die einzelnen Akkutypen ohne überflüssige Erklärungen aufgelistet. Wenn Sie diese einhalten, wird sich die Lebensdauer ihrer Akkus deutlich erhöhen, sofern Sie nicht eh schon vorher alles richtig gemacht haben.

Lassen Sie mich noch schnell den Grundsatz voranstellen, der vielleicht ein wenig nach Binsenweisheit klingen mag, aber letztlich eine Essenz dessen ist, was die zahlreichen Behandlungsvorschriften ausführlich beschreiben:

**Die zwei wesentlichen Möglichkeiten, einen Akku zügig in den Akkuhimmel zu befördern sind: zu viel laden oder / und unzureichend laden.**

Geeignete Ladegeräte verfügen über Algorithmen, die den Akku zügig und schonend laden und die Ladung bei vollem Akku beenden oder auf Erhaltungsladung wechseln. Alles andere ist Murks!! Freunden Sie sich daher mit dem Gedanken an, in ein ordentliches Ladegerät zu investieren, denn die besonders preiswerten Geräte aus dem Baumarkt erfüllen in erster Linie die Forderung nach möglichst niedrigen Herstellkosten. Sollte diese Möglichkeit nicht bestehen, weil beispielsweise Akku und Ladegerät ein vom Hersteller geliefertes, untrennbares System sind, lassen Sie wenigstens den Akku nicht unnötig lange am Lader hängen. Besser ist es, eine primitive Schaltuhr dazwischen zu schalten, die (nach ausreichend Reservezeit) den Stromkreis zum Lader unterbricht. Damit lässt sich auch die gegebenenfalls erforderliche Nachladung während längerer Lagerung automatisieren.

### 1.1) Bleiakkus

- \*\* Bleiakkus ausschließlich widmungsgemäß einsetzen! Starterakkus sind nicht geeignet für Lade / Entladebetrieb und Zyklenbatterien nur bedingt für Hochstrombelastungen.
- \*\* Bleiakkus stets voll halten, nicht zu tief entladen (max. auf 20% Restkapazität) und nie, niemals leer stehen lassen. Nach der Entladung so schnell wie möglich wieder ans Ladegerät!
- \*\* Kein Billigladegerät aus dem Baumarkt ohne jede Elektronik verwenden.
- \*\* Alle 2 - 3 Monate eine gefühlvolle Ausgleichsladung über 2 - 3 Tage (sowohl in Betrieb als auch bei Lagerung)
- \*\* Bei Betrieb und Lagerung möglichst für gemäßigte Temperaturen sorgen (ideal: 10 - 20°C)
- \*\* Lagerung immer vollgeladen, alle 2 Monate nachladen (siehe auch Ausgleichsladung)
- \*\* Sofern noch möglich, auf korrekten Elektrolytstand achten und gegebenenfalls mit destilliertem Wasser ergänzen.

### 1.2) NiCd - Akkus

- \*\* möglichst volle Zyklen fahren, also den Akku stets komplett entladen
- \*\* Lagerung am besten im entladenen Zustand (problemlos auch über mehrere Jahre möglich)
- \*\* Bei sporadischer Verwendung gelegentlich, am besten unmittelbar vor dem Einsatz einen Entlade / Ladezyklus fahren (nach längerer Lagerung eventuell mehrere Zyklen)
- \*\* Dauerladung (auch mit geringem Strom) unbedingt vermeiden, Schaltuhr oder besser Ladegerät mit Vollerkennung verwenden!

## Robert's Akkumulatorenkompendium

\*\* Hohe Umgebungstemperaturen vermeiden

### 1.3) NiMH - Akkus

\*\* Weitgehend gleich wie NiCd - Akkus, aber im Gegensatz dazu dürfen NiMH's keinesfalls leer gelagert werden, da sie ansonsten dauerhaft an Kapazität verlieren. Lagerung daher voll oder wenigstens teilgeladen, zeitgerecht nachladen.

### 1.4) Lithium / Ionen - Akku, Lithium - Polymer Akku

\*\* Akkus auf Lithiumbasis reagieren im Vergleich zu den vorangehenden Typen äußerst humorlos auf Überladung oder Tiefentladung (blitzartige Zerstörung des Akkus, im worst case bis zum Brand), daher nur geeignete Ladegeräte verwenden! Die Ladespannung zwischen den einzelnen Typen ist unterschiedlich und muss auf zehntel Volt genau eingehalten werden!

Herstellerangaben beachten!

\*\* Tiefentladung unbedingt vermeiden! (Gerät ausschalten vergessen oder Geräte, die auch in ausgeschaltetem Zustand ein klein wenig Strom brauchen) Wenn möglich, maximal bis zu 30% Restkapazität entladen!

\*\* Unnötige Nachladevorgänge bei (fast) vollem Akku vermeiden! (max. 1 x pro Monat)

\*\* Lagerung am besten teilgeladen (Ladestand 40 - 60%) und bei niedriger Temperatur (5 - 15°C), zum Beispiel im Gemüsefach des Kühlschranks, dann bleibt die Selbstentladung unter 10% pro Monat. Möglichst nicht in vollem und keinesfalls in leerem Zustand lagern.

\*\* hohe Temperaturen (> 50°C, Sommer, Auto) unbedingt vermeiden!

\*\* bei fertigen Akkupacks ist die erforderliche Schutzelektronik ohnehin enthalten, selbstkonfektionierte Packs nie ohne Balancer betreiben!

Da die Entwicklung bei Lithium - Akkus noch in vollem Gange ist, sind Verbesserungen bei einigen der genannten Werten zu erwarten.

Soweit die „quick and dirty“ - Anleitungen zur Behandlung diverser Akkutypen.

Natürlich ist klar, dass man diese Empfehlungen nicht zu hundert Prozent einhalten wird können, aber seien Sie gewahr, dass Akkus das Gedächtnis eines Elefanten haben. Gelegentlich gegen den Fuß rempeln steckt er schon weg, aber wenn es zu oft geschieht, gibt's irgendwann mit dem Rüssel eine über den Zylinder. Soll heißen, wenn ein Akku schon nach kurzer Nutzungsdauer zu Sondermüll mutiert, hat das meist eine nachvollziehbare Ursache.

Wenn ich nun doch Ihr Interesse geweckt habe - was ich sehr hoffe - dann können Sie sich auf den folgenden Seiten über die Zusammenhänge und das „Warum“ informieren.

## Kapitel 2: Begriffsbestimmungen:

Um sicherzustellen, dass wir alle von genau demselben reden, gilt es, im Vorfeld ein paar Fachbegriffe zu definieren. Viele davon werden Ihnen ohnehin geläufig sein, aber möglicherweise liest / hört das auch jemand, der kein eingefleischter Techniker ist. Ich ersuche daher um Nachsicht, wenn ich Sie mit Teilen dieses Kapitels langweilen sollte.



Da wäre zunächst einmal:

### 2.1) Die Batterie an sich

Generell gibt es zwei Arten von chemischen Stromquellen. Solche, die wieder aufgeladen werden können und die, die nicht aufladbar sind. Letztere kennen wir landläufig unter dem Begriff „Trockenbatterie“, sie kommen vollgeladen aus der Fabrik, werden im Betrieb durch die Stromentnahme entladen und sind danach unbrauchbar und müssen entsorgt werden. Man bezeichnet diese Art von chemischen Stromquellen als „Primärelemente“, da sie ohne Vorladung sofort Strom abgeben können. Mit Primärelementen werden wir uns in dieser Abhandlung nicht weiter befassen.

Akkumulatoren oder „Sekundärelemente“ müssen zunächst aufgeladen werden, damit sie Strom abgeben können. Dieser Lade / Entladevorgang lässt sich mehrfach wiederholen, je nach Akku und Behandlung unter Umständen einige hundert Mal.

Die Bezeichnung „Batterie“ selbst bedeutet genau genommen nur, dass es sich um eine Zusammenschaltung mehrerer Einzelzellen zu eben einer Batterie handelt und sagt nichts darüber aus, ob es sich um Primär- oder Sekundärelemente handelt. Dennoch wird eine elektrochemische Stromquelle umgangssprachlich gerne als Batterie bezeichnet, egal ob es sich um Primär- oder Sekundärelemente handelt. Auch ich werde diesen Begriff in dieser Abhandlung immer wieder fälschlicherweise verwenden, weil er einfach so geläufig ist.

### 2.2) Die Betriebsweise:

generell unterscheidet man bei Akkumulatoren zwischen dem zyklischem Betrieb und dem sogenannten Bereitschaftsparallelbetrieb. Beim zyklischem Betrieb wird der Akku geladen und gibt die gespeicherte Energie anschließend an den Verbraucher ab, wonach er wieder geladen wird und so weiter. Dieser Akku arbeitet also kontinuierlich. Diese Betriebsart kommt zum Beispiel bei tragbaren Geräten, Elektrowerkzeugen, Unterhaltungselektronik, aber auch bei der langsam wachsenden Zahl von Elektrofahrzeugen vor.

Akkus im Bereitschaftsparallelbetrieb werden im Gegensatz dazu nahezu immer in vollgeladenem Zustand gehalten und müssen ihre Energie nur in Notfällen abgeben, wie zum Beispiel in USV - Anlagen, Notstromversorgungen, Notbeleuchtungen etc. Der Vollständigkeit halber ist als

## Robert's Akkumulatorenkompendium

geringfügige Abweichung dieser Betriebsweise noch der sogenannte Pufferbetrieb zu erwähnen. Hier wird der Akku zwar auch stets in vollgeladenem Zustand gehalten, steuert jedoch in Phasen hohen Strombedarfs kurzfristig Energie bei, um gleich danach wieder aufgeladen zu werden.

Die Anforderungen an die Akkus aufgrund der einen oder anderen Betriebsweise sind recht unterschiedlich, weshalb nicht jede Akkukonstruktion für jeden Einsatzzweck gleich gut geeignet ist.

Jede Batterie hat eine

### 2.3) Spannung

Je nach chemischem System hat eine Akkuzelle eine gewisse Nennspannung. Die ist nicht besonders hoch (1,2 V bei Nickel - Cadmium und NiMH Akkus, 2V bei Bleiakkus, 3,7 V bei Lithium - Systemen). Darum wird durch Serienschaltung von mehreren Zellen eine - siehe oben - Batterie mit der gewünschten Gesamtspannung gebildet. Unsere Autobatterie besteht aus sechs in Serie geschalteten Bleizellen mit je 2 Volt und weist daher eine Nennspannung von 12 Volt auf. Die Spannung eines Akkus ist nicht konstant, sie hängt vom Ladezustand sowie etlichen anderen Parametern wie zum Beispiel Belastung, Temperatur des Akkus ab, teilweise auch von der Vorgeschichte aus Entladung und Ladung. Beim Vergleich von Batterien ist deshalb die „Spannungslage“, also jene Spannung, die die Batterie in einem bestimmten Ladezustand und bei einer bestimmten Strombelastung hat, ein wichtiges Beurteilungskriterium.

Als Untergruppen der Nennspannung ist zum einen die Entladeschlussspannung zu nennen, das ist jener Wert, bei dem die Entladung des Akkus spätestens und auf jeden Fall beendet werden muss, da er andernfalls Schaden nimmt. Am oberen Ende angesiedelt ist die Ladeschlussspannung, also der Wert, der bei der Ladung nicht überschritten werden darf. Überschreiten der Ladeschlussspannung führt ebenfalls zu erhöhtem Batterieverschleiß, zu niedriger Ladespannung führt unter Umständen zu nicht vollgeladenem Akku (und gegebenenfalls auch zu erhöhtem Verschleiß).

### 2.4) Die Kapazität

Mit der Kapazität wird die entnehmbare Strommenge einer vollgeladenen Batterie in Amperestunden (Ah) oder Milliamperestunden (mAh) angegeben.

Wie schon die Spannung ist auch die Kapazität kein konstanter Wert, sie schwankt in Abhängigkeit etlicher Faktoren, wobei vor allem Temperatur und Strombelastung eine Rolle spielen. Da chemische Vorgänge bei höheren Temperaturen besser ablaufen, ist die elektrische Ausbeute bei höheren Temperaturen etwas besser, bei niedrigen Temperaturen jedoch deutlich schlechter. Höhere Belastung führt ebenfalls zu geringerer entnehmbarer Kapazität, geringere Belastung jedoch nicht zwangsläufig zu höherer Kapazität.

Um eine Basis für repräsentative Vergleiche zu schaffen, ist es deshalb üblich, die Kapazität bei einer definierten Temperatur und einem bestimmten Entladestrom anzugeben. Dabei wird der Strom meist als Bruchteil der Kapazität genannt, z. B. I/10, also 1/10 der Kapazität. Gelegentlich findet sich in diesem Zusammenhang auch der Begriff „C“, der Wert von „1C“ entspricht einem Strom in der Höhe der Nennkapazität des Akkus. I/10 ist daher 0,1 C gleichzusetzen.

Achten Sie beim Akkuvergleich sehr genau darauf, welchem Strom (I20, I10, I5) die Kapazitätsangabe zugrunde gelegt ist, denn „schlitzohrige“ Hersteller geben die Kapazität ihrer Akkus gerne bei geringerem Strom an, weil sie dann scheinbar höher ist.

## Robert's Akkumulatorenkompendium

Um ein Beispiel zu nennen: mein Elektroboot hat einen Antriebsmotor 24V / 800W. Gespeist wird der von zwei in Serie geschalteten Akkus mit je 12V / 120 Ah. Bei Marschfahrt beträgt die Leistungsaufnahme ca. 500 Watt, also  $500 / 24 =$  rund 21 A. Rein rechnerisch müsste ich also  $120 \text{ Ah} / 21 \text{ A} =$  knapp 6 Stunden fahren können, bis die Akkus ganz leer sind.

In der Praxis sieht das allerdings anders aus, Ein Blick auf das Datenblatt des Akkuherstellers zeigt uns, dass die Kapazität von 120 Ah bei I/10 erreicht wird, das wäre demnach bei einem Laststrom von 12A. Ich belaste die Akkus aber annähernd doppelt so stark mit 21 A. Bei diesem Strom beträgt die entnehmbare Kapazität nur mehr 104 Ah. 104 Ah durch 21 A ergibt knapp 5 Stunden, das ist erheblich weniger als die ursprünglich angenommenen 6 Stunden Fahrzeit.

In der Praxis werde ich noch wesentlich weniger lange fahren, da die Entladung bis zur vollständigen Erschöpfung zumindest bei Bleiakku stark auf die Lebensdauer geht; mehr dazu im entsprechenden Kapitel.

### 2.5) Die Entladetiefe

Wie schon bei dem Beispiel mit dem Elektroboot angesprochen, ist eine der wesentlichen Möglichkeiten, die Lebensdauer unserer Akkus zu beeinflussen, der Punkt, wie stark wir ihn auswinden. Man gibt diese Entladetiefe (engl: DOD, depth of discharge) in Prozent der Nennkapazität an. Wenn ich den Akku ganz entlade, entspricht das einer Entladetiefe von 100%. Je nach chemischem System und Konstruktion reagiert der Akku mehr oder weniger allergisch auf eine hohe Entladetiefe, ich komme bei den einzelnen Typen noch genauer darauf zurück.

2.6) Die Lebensdauer: Die angesprochene Auswirkung der DOD auf den Verschleiß des Akkus führt uns nahtlos zum Punkt Lebensdauer.

Per Definition ist das Ende der Lebensdauer eines Akkumulators erreicht, wenn er weniger als 80% seiner Nennkapazität aufweist. Das klingt zunächst gar nicht so dramatisch und mag so manchen dazu verleiten, seinen persönlichen Grenzwert für die Akkulebensdauer wesentlich tiefer anzusiedeln, vielleicht bei 50% Restkapazität oder noch darunter. Das ist grundsätzlich auch möglich, macht allerdings nur bei entsprechend großzügig dimensionierten Akkusystemen Sinn. Denn der Verschleiß eines Akkumulators folgt - wie die meisten Vorgänge in der Natur - einem logarithmischen Verlauf. Ab der genannten Grenze von 80% wird die Mehrzahl der elektrischen Werte deutlich und rapide schlechter, wodurch die bestimmungsgemäße Nutzung nur mehr eingeschränkt oder gar nicht möglich ist.

Limitierender Faktor bei der Lebensdauer ist entweder eine Zeitspanne, bis dieser Punkt erreicht ist (üblicherweise bei Akkus im Bereitschaftsparallelbetrieb) oder die Zyklenzahl, also die Anzahl der Ladungen und Entladungen.

Lassen Sie mich das anhand eines Praxisbeispiels näher erklären:

Wir haben im Lager unseres Betriebes einen Elektrostapler. Die Antriebsbatterie, ein fetter Bleiakku, wird über Nacht aufgeladen und treibt tagsüber den Stapler an (Zyklusbetrieb). Die Kapazität der Batterie ist so bemessen, dass der Stapler bei normalem Einsatz 10 Stunden durchhält. Damit ist ein 8 Stunden - Arbeitstag kein Problem, die Entladetiefe beträgt maximal 80% und der Akku wird nicht bis zum letzten Tropfen ausgequetscht.

Praktischerweise beträgt der durchschnittliche Entladestrom bei unserem Beispiel genau ein Zehntel der Kapazität (I/10). Bei diesem Strom steht gemäß Herstellerangaben die Nennkapazität zur Verfügung, wir befinden uns somit voll im grünen Bereich.

Im Laufe der Jahre ist nun die Kapazität durch Batterieverschleiß auf 80% abgesunken, was folgende fatale Konsequenzen nach sich zieht:

\*\* Da die Kapazität nur mehr 80% beträgt, ist die Batterie am Ende eines Arbeitstages

## Robert's Akkumulatorenkompendium

vollständig erschöpft, die DOD beträgt nun annähernd 100%, was den Verschleiß mit jedem Zyklus deutlich erhöht.

\*\* Der Laststrom ist zwar gleichgeblieben, da die Batterie aber durch den Kapazitätsrückgang „kleiner“ geworden ist, ist er im Verhältnis zur Kapazität höher geworden, statt des ursprünglichen  $I / 10$  etwa  $I / 8$ . Bei einem höheren Entladestrom als  $I/10$  sinkt aber die entnehmbare Batteriekapazität weiter ab (erinnern Sie sich an das Beispiel mit dem Elektroboot), so dass anstelle der alterungsbedingten 80% tatsächlich nur mehr 75% der ursprünglichen Kapazität zur Verfügung stehen.

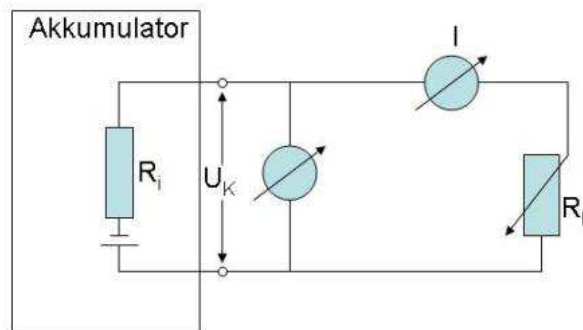
\*\* Außerdem ist der Innenwiderstand etwas angestiegen, denn der ist verkehrt proportional zur Kapazität. Der höhere Innenwiderstand bewirkt eine etwas höhere Erwärmung der Batterie durch den Laststrom, was auch wiederum den Verschleiß beschleunigt.

Durch diesen zusätzlichen Verschleiß sinkt die Kapazität bald weiter ab und die Batterie wird noch mehr ausgequetscht, wodurch sie schneller an Kapazität verliert und mehr ausgequetscht wird und so weiter und so weiter.

Letztlich führt das zu dem Phänomen, dass der Stapler etliche Jahre wirklich klaglos funktioniert hat, seit ein paar Monaten manchmal am Ende eines heftigen Arbeitstages schon etwas müde war und jetzt ganz plötzlich binnen weniger Wochen bereits Mittags nach dem Ladegerät verlangt. Wenn wir diesen exponentiellen Rückgang der Leistungsfähigkeit betrachten, wird schnell klar, warum der anfänglich durchaus respektabel erscheinende Wert von 80% der Kapazität als Verschleißgrenze doch nicht so falsch ist.

Die Erkenntnis, die wir daraus gewinnen: Es schadet nie, den Akku so großzügig wie technisch und wirtschaftlich möglich zu dimensionieren.

### 2.7) Der Innenwiderstand



Eine ideale Batterie hat einen Innenwiderstand von 0,0000 Ohm. Unsere sehr realen Batterien haben leider einen sehr realen Innenwiderstand, der sich aus den Teilwiderständen von Elektroden und Elektrolyt zusammensetzt. An ihm fällt immer Spannung ab, sobald Strom fließt, also immer, wenn wir die Batterie laden oder entladen. Blöderweise hat noch niemand die Anschlüsse im Inneren der Batterie gefunden, wo man den Innenwiderstand überbrücken kann. Der Innenwiderstand ist verantwortlich dafür, warum die Klemmenspannung beim Entladen niedriger ist als die Leerlaufspannung und die Ladespannung entsprechend höher liegen muss, damit Strom in die Batterie hineinfließt.

Durch den Spannungsabfall am Innenwiderstand entsteht eine nicht unerhebliche Verlustleistung, vor allem bei höheren Strömen ( $P=I^2 \times R$ ). Diese Verlustleistung erwärmt die Batterie und steht nicht am Verbraucher zur Verfügung. Wie wir schon gehört haben und noch öfter hören werden, beschleunigen hohe Temperaturen ganz erheblich den Alterungsprozess des



## Robert's Akkumulatorenkompendium

Akkus, weswegen Betrieb mit zu hohen Strömen über einen längeren Zeitraum tunlichst zu vermeiden ist.

Es gibt jedoch Ausnahmen, wo die Erwärmung des Akkus durch den Innenwiderstand hilfreich sein kann: Wenn eine Starterbatterie schon recht müde ist und beim Kaltstart den Motor nicht mehr schnell genug durchzudrehen vermag, kann durch die Eigenerwärmung nach mehreren erfolglosen Startversuchen der chemische Prozess so angekurbelt werden, dass es letztlich doch noch klappt mit dem Nachbarn. Man muss hierzu nur die Startversuche so kurz halten, dass die Batterie nicht vollständig ermordet wird und der Chemie dazwischen immer etwas Zeit geben, sich zu erfangen.

### 2.8) Der Maximalstrom

Theoretisch ist der Maximalstrom für Entladung und Ladung gleich. Da jedoch der Ladestrom meist über einen längeren Zeitraum auftritt und die Einhaltung verschiedener Grenzwerte während der Ladung schwieriger ist, wird für den Ladestrom üblicherweise ein wesentlich niedriger Wert angesetzt. Wird der überschritten, kann die Batterie geschädigt werden, meist in Folge zu großer Erwärmung.

2.9) Die Selbstentladung klaut unseren mühsam abgespeicherten Strom. Obgleich wir das gar nicht schätzen ist sie dennoch stets präsent und je nach Akkusystem oftmals nicht zu knapp. Sie entsteht, weil zwischen den Elektroden und dem Elektrolyt immer eine geringe Reaktion stattfindet, auch, wenn wir dem Akku keinen Strom entnehmen.

Wie wir schon beim Punkt Kapazität gehört haben, laufen chemische Reaktionen bei höheren Temperaturen besser ab und das wirkt sich auch auf die Selbstentladung aus. So gibt ein Hersteller von Bleiakkus z. B. bei einer Temperatur von  $+15^{\circ}\text{C}$  einen Zeitraum von 10 Monaten für die Selbstentladung von 100% auf 80% an (bei einem Ladestand von kleiner 80% sollte der Akku spätestens nachgeladen werden); Bei  $25^{\circ}\text{C}$  dauert es nur mehr 6 Monate und bei  $30^{\circ}\text{C}$  ist der Punkt bereits nach 4 Monaten erreicht.

Aus diesem Grund ist der Selbstentladung bei eingelagerten Akkus entsprechende Beachtung zu schenken, vor allem, weil die meisten dauerhaft Schaden nehmen, wenn sie nicht in ausreichend geladenem Zustand gelagert werden.

## Kapitel 3: Wie es funktioniert

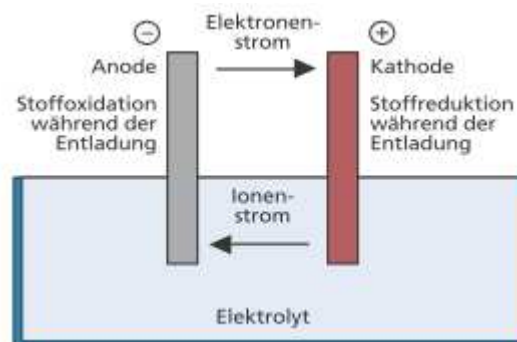
Grundsätzlich möchte ich hier nur soweit auf die theoretischen Abläufe in einer Batterie / in einem Akku eingehen, als für das Verständnis unbedingt erforderlich ist. Alles darüber hinaus läuft in das Gebiet der Elementarphysik, würde den Rahmen sprengen und ist für den praktischen Umgang mit Akkumulatoren auch gar nicht erforderlich. Wer sich genauer informieren möchte, findet genug einschlägige Literatur unter den jeweiligen Suchbegriffen.

Beschränken wir uns daher zunächst darauf festzuhalten, dass physikalische Stoffe unterschiedliche „Bereitschaft“ aufweisen, Sauerstoff aufzunehmen. Der Physiker nennt das Oxidation, wir kennen das unter dem landläufigen Begriff „rosten“, zumindest in Verbindung mit dem Material Eisen. Da im physikalischen Leben nichts umsonst ist, bekommen wir von dem oxidierenden Stoff im Gegenzug zur Sauerstoffaufnahme auch etwas zurück: nämlich Elektronen, also negativ geladene Teilchen. Damit lässt sich schon einmal etwas anfangen, denn Elektronen sind Elektrizität.

Das heißt, während unser Auto leise vor sich hinrostet, produziert es als Nebenprodukt elektrischen Strom. Den speziell können wir leider nicht verwerten, da er viel zu wenig ist und eigentlich wollen wir auch gar nicht, dass unser Auto rostet, weshalb wir es möglichst gut davor schützen. Wie? Indem wir sein Metall mit isolierenden Stoffen wie Lack und Unterbodenschutz beschichten und von aggressiven Flüssigkeiten, welche den Oxidationsvorgang beschleunigen würden - vor allem von der Salzlösung im Winter - fernhalten. Wollten wir mit unserm Auto eine ordentliche Menge Strom produzieren, müssten wir die Oxidation beschleunigen, indem wir den Lack abschleifen und das Vehikel ins Salzwasser des Meeres tauchen.

Da alleine der Gedanke daran einem die Gänsehaut aufsteigen lässt, bleiben wir lieber am Labortisch und stecken einfach ein Stück Eisen in einen Behälter mit Salzlösung, das geht auch und diese Vorstellung ist bei weitem nicht so gruselig. Das Experiment würde übrigens nicht mit jeder Flüssigkeit funktionieren, wir benötigen eine, welche die Fähigkeit hat, Stoffe zu oxidieren und elektrisch leitend ist. Flüssigkeiten mit diesen Eigenschaften werden Elektrolyte genannt und Salzwasser gehört zu dieser Gruppe.

Wenn wir nun unser Eisenplättchen in den Elektrolyt Salzwasser tauchen, haben wir ein elektrochemisches Element geschaffen, allerdings nur ein halbes. Da Energiefluss nur in einem geschlossenen Kreislauf funktioniert, müssen die Elektronen, die wir an dem fröhlich rostendem Eisenplättchen abgreifen können, irgendwie wieder in den Elektrolyt zurück.



Glücklicherweise funktioniert der vorher beschriebene Vorgang unter gewissen Voraussetzungen auch in umgekehrter Richtung, also Aufnahme von Elektronen bei gleichzeitiger Abgabe von Sauerstoff. Im Gegensatz zur Oxidation nennt man diesen Vorgang Reduktion, weil der

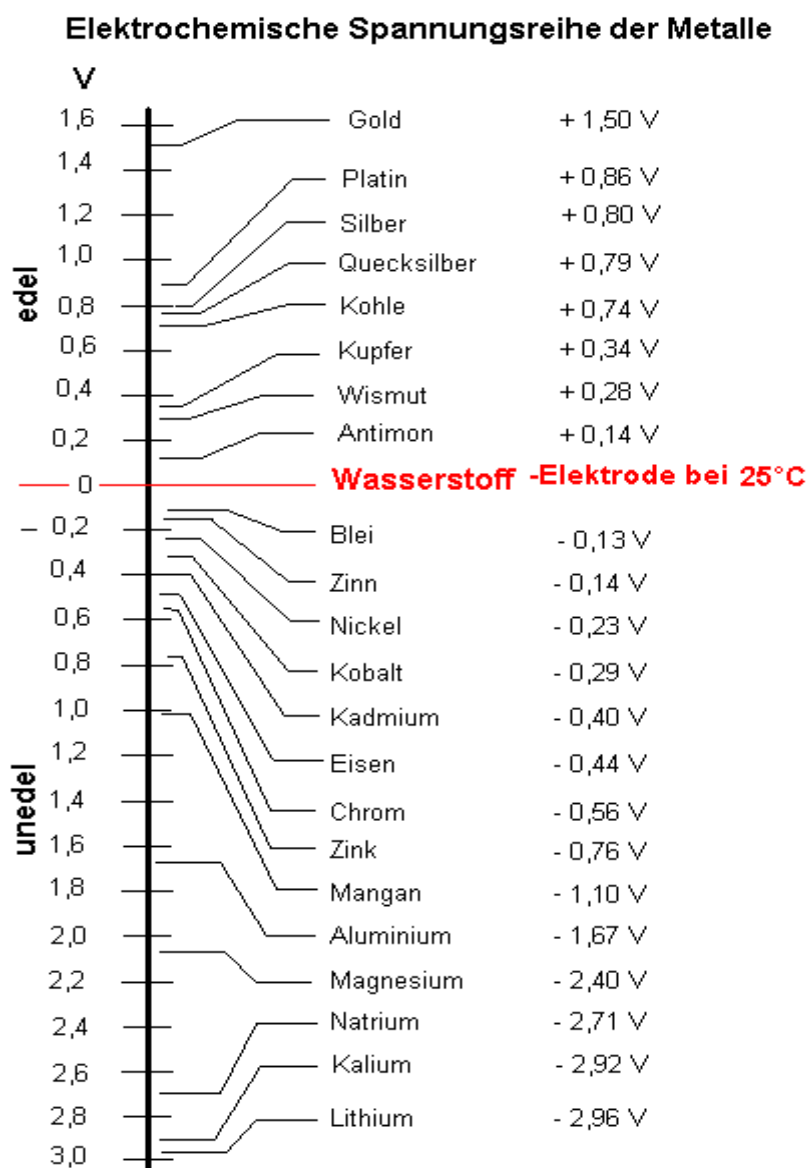
## Robert's Akkumulatorenkompendium

Sauerstoff aus dem Element herausreduziert wird. Um unsere Batterie zu vervollständigen, benötigen wir also ein zweites Element, das wir ebenfalls in den Elektrolyt tauchen und das genau die vorgenannten Eigenschaften aufweist.

Zusammengefasst benötigen wir also drei Komponenten, nämlich einen Stoff, der sich oxidieren lässt und Elektronen abgibt, einen weiteren, der genau das Gegenteil macht und schließlich einen Elektrolyt, der beide Stoffe anregt, die Vorgänge mit großer Begeisterung durchzuführen, damit auch ordentlich Strom herauskommt.

Also besorgen wir uns zahlreiche Säuren, Laugen und die unterschiedlichsten Metalle und probieren unzählige Kombinationen durch. Gottseidank haben das schon fleißige Wissenschaftler für uns erledigt, so dass wir nur mehr die Ergebnisse sondieren müssen.

Noch ein kurzer Rückfall ins Fachchinesisch: Das Maß für die vorher beschriebenen Vorgänge wird „Redox - Potential“ genannt, ein Kunstwort gebildet aus den Begriffen „Reduktion“ und „Oxidation“. Abgebildet wird dieses Redox - Potential in der elektrochemischen Spannungsreihe.



## Robert's Akkumulatorenkompendium

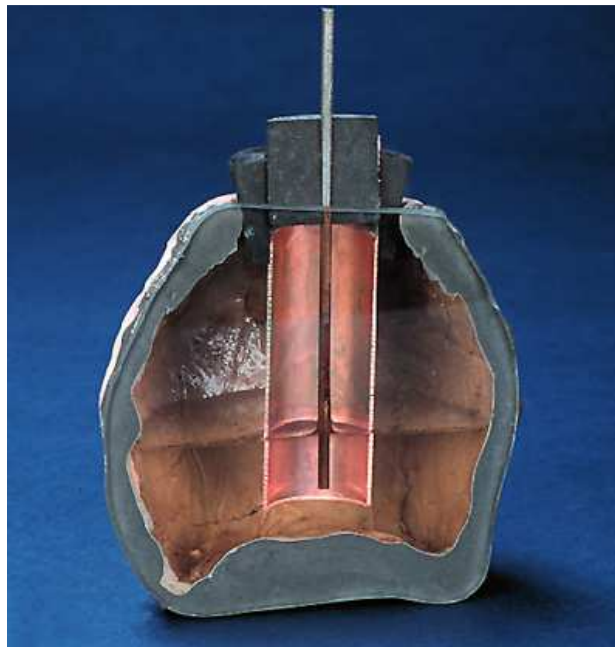
Generell gilt, dass unedle Metalle gerne oxidieren (kennen wir) und daher geeignet sind, Elektronen abzugeben. Sie bilden den Minuspol (oder auch die Anode) des elektrochemischen Elementes, während edlere Metalle als Kathode dienen, also Elektronen aufnehmen.

Ein Blick auf die Spannungsreihe zeigt uns, dass es zwar etliche tolle Kombinationen gäbe, aber in der Praxis bei Berücksichtigung von Faktoren wie Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit nur ganz wenige übrigbleiben.

## Kapitel 4: „wer hat's erfunden?“

Stromerzeugung auf chemischer Basis war die erste Möglichkeit zur Erzeugung von elektrischem Strom für Energieanwendungen, also mit niedriger Spannung und verhältnismäßig hohem Strom. Vergleichbare mechanische Stromerzeugung, basierend auf dem Induktionsprinzip (Stichwort Generator), entwickelte sich erst deutlich später. Zwar existierten bereits vorher Verfahren zur Erzeugung von Elektrizität, aber diese sogenannten Elektrisiermaschinen, (fachlich korrekter „Influenzmaschinen“) wie z. B. der Elektrophor oder der Bandgenerator, beruhen alle auf dem elektrostatischen Prinzip und sind nur zur Erzeugung hoher Spannungen bei minimalen Strömen geeignet. Die praktische Anwendung kennen wir zur Genüge, wie z. B. die schicke neue Kunstfaserjacke auf dem Autositz und wenn man nach dem Aussteigen die Tür anfasst, bekommt man ordentlich eine gewischt. Das ist zwar unangenehm, aber ein Lämpchen bringt man damit nicht zum Leuchten.

Die Geschichte der Stromerzeugung auf chemischer Basis reicht ins Jahr 1799 zurück, allerdings lässt ein Fund den Schluss zu, dass auch schon viel früher mit Elektrochemie experimentiert wurde. Das nach seinem Fundort „Bagdad - Batterie“ benannte Element wird von den Archäologen auf den Zeitraum 250 vor bis 225 nach Christus datiert und bestand aus einem vasenförmigen Tongefäß, in dem ein Kupferzylinder und ein Eisenstab mit Bitumenmasse fixiert waren. Als Elektrolyt könnte eine Salzlösung gedient haben. Man ist sich jedoch nicht sicher, ob es zur Stromerzeugung oder für elektrolytische Zwecke verwendet wurde.



Bildquelle: Michael Prachensky

## Robert's Akkumulatorenkompendium

Zurück in die Neuzeit, zwei Namen, die im Zusammenhang mit der Entdeckung von elektrischem Strom aufgrund chemischer Reaktionen unbedingt zu nennen sind, sind Luigi Galvani und Alessandro Volta.

(Der Dritte Italiener im Bunde war Alfa Romeo, der Entdecker der elektro - chemischen Korrosion an Kraftfahrzeugen .... denke ich.)

Galvani entdeckte um 1790 durch Experimente mit Froschschenkeln die Kontraktion von Muskeln, wenn diese mit Kupfer und Eisen in Berührung kamen, wobei dafür Kupfer und Eisen miteinander verbunden sein mussten. Galvani stellte also unwissentlich einen Stromkreis her, bestehend aus zwei verschiedenen Metallen, einem Elektrolyten („Salzwasser“ im Froschschenkel) und einem "Stromanzeiger" (Muskel). Galvani erkannte zwar diese Zusammenhänge noch nicht, legte damit aber die Grundlage für die Entwicklung elektrochemischer Zellen (auch Galvanische Zellen oder Galvanische Elemente genannt) durch Alessandro Volta.

Eine Anmerkung am Rande: Aus amateurfunktechnischer Sicht interessant ist, dass Galvani auch zu einer Zeit die erste Antenne errichtete, als es angewandte Elektrotechnik noch nicht gab. Ihm fiel auf, dass ein Froschschenkel, der mit einer Messerklinge in Berührung stand, immer dann zusammensuckte, wenn bei einer in der Nähe stehenden Hochspannungsmaschine ein Funke übersprang. Er war überzeugt - wohl auch aufgrund der wenige Jahrzehnte zuvor durch Benjamin Franklin angestellten Blitzableiterversuche - dass Gewitterblitze im Prinzip auch solche Funken sein müssen, nur viel größer. So führte er einen isoliert befestigten Draht vom First seines Hauses in den Garten an einen Froschschenkel. Ein zweiter Draht führte von diesem in einen Brunnen. So oft nun bei einem Gewitter in der Nähe ein Blitz aufzuckte, geriet der Froschschenkel in Bewegung und dies, *bevor* das zugehörige Donnern zu hören war. Zu dieser Zeit gab es offensichtlich noch kein PLCC.

Alessandro Volta entwickelte im Jahr 1800 auf Basis der Erkenntnisse von Luigi Galvani die erste funktionierende Batterie, die volta'sche Säule. Diese besteht aus einer Aneinanderreihung von Kupfer- und Zinkplättchen, die jeweils durch ein schwefelsäuregetränktes Filzplättchen voneinander getrennt waren. Jedes dieser Kupfer / Zinkelemente liefert eine Spannung von rund einem Volt. Die volta'sche Säule war die erste zuverlässige Spannungsquelle, mit deren Hilfe sich weitere Untersuchungen der Auswirkungen des Stromes anstellen ließen, allerdings ist sie nicht wieder aufladbar.

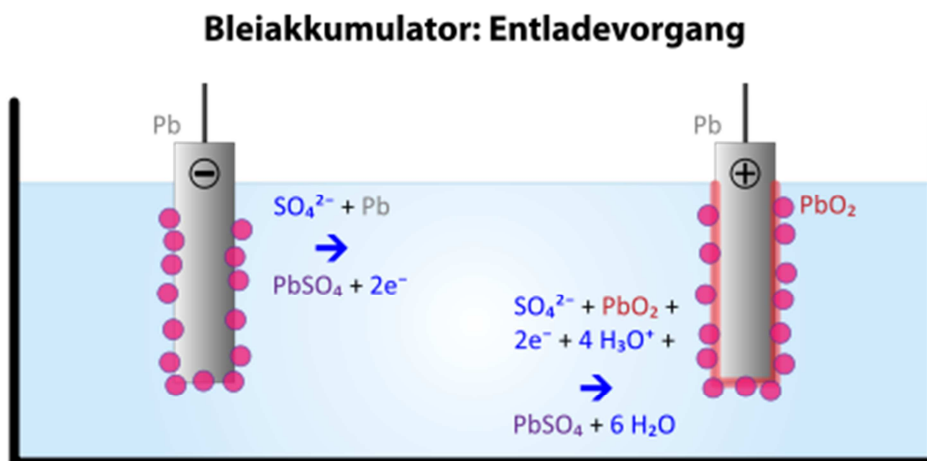
Die Speichermöglichkeit durch chemische Umwandlung entdeckte im Jahr 1802 der deutsche Apotheker Johann Wilhelm Ritter, der ebenfalls eine Säule konstruierte, die bestand jedoch nur aus Kupferplättchen, getrennt durch in Salzlösung getränkte Kartonplatten. Die Ritter'sche Ladungssäule gab zunächst keinen Strom ab, wurde sie aber mit einer Voltasäule verbunden und damit aufgeladen, konnte man ihr danach Strom entnehmen. Ritters Erkenntnisse gerieten jedoch in Vergessenheit und wurden erst 1854, also rund 50 Jahre später, wieder angewendet.

## Kapitel 5: endlich in die Praxis - Bleiakkumulatoren

Der Bleiakкумуляtor hat die längste Geschichte der aufladbaren Batterien auf dem Buckel, demzufolge sind die Vorgänge in seinem Inneren gut erforscht. Wir werden den Bleiakku recht ausführlich betrachten, denn die Erkenntnisse, die wir daraus gewinnen, lassen sich gut auf alle anderen Akkukonstruktionen umlegen. Seine Entwicklung geht zurück in das Jahr 1854, als der deutsche Arzt Josef Sinzeden in Anlehnung an die Ritter'sche Ladungssäule mit zwei in Schwefelsäure getauchten Bleiplatten experimentierte.

Einige Jahre später verfeinerte der Franzose Gaston Planté das Prinzip, indem er dünne Bleiplatten mit Gummibändern distanzierte, spiralig aufrollte und ebenfalls in verdünnte Schwefelsäure tauchte. Nach einigen Lade- und Entladevorgängen konnte dieser Akkumulator verhältnismäßig große Strommengen aufnehmen und wieder abgeben. Planté legte damit den Grundstein zu einer Ausführung, wie sie auch heute noch angewendet wird.

Grundlegender Aufbau: Wie wir schon gehört haben, sind alle elektrochemischen Elemente nach dem gleichen Prinzip aufgebaut, also aus einer positiven und einer negativen Elektrodenplatte, die von Elektrolyt umspült sind. Das Ganze ist in einem geeigneten Gehäuse untergebracht. Beim Bleiakku sind die Elektroden aus Blei, und zwar die positive Platte aus Bleidioxid und die negative Platte aus reinem Blei, der Elektrolyt ist verdünnte Schwefelsäure. In machen Ausführungen ist der Elektrolyt in Kieselsäure oder in Glaswolle gebunden (Gel - Akku, AGM, im englischen VRLA genannt). Eine Bleizelle liefert eine Nennspannung von 2 Volt.



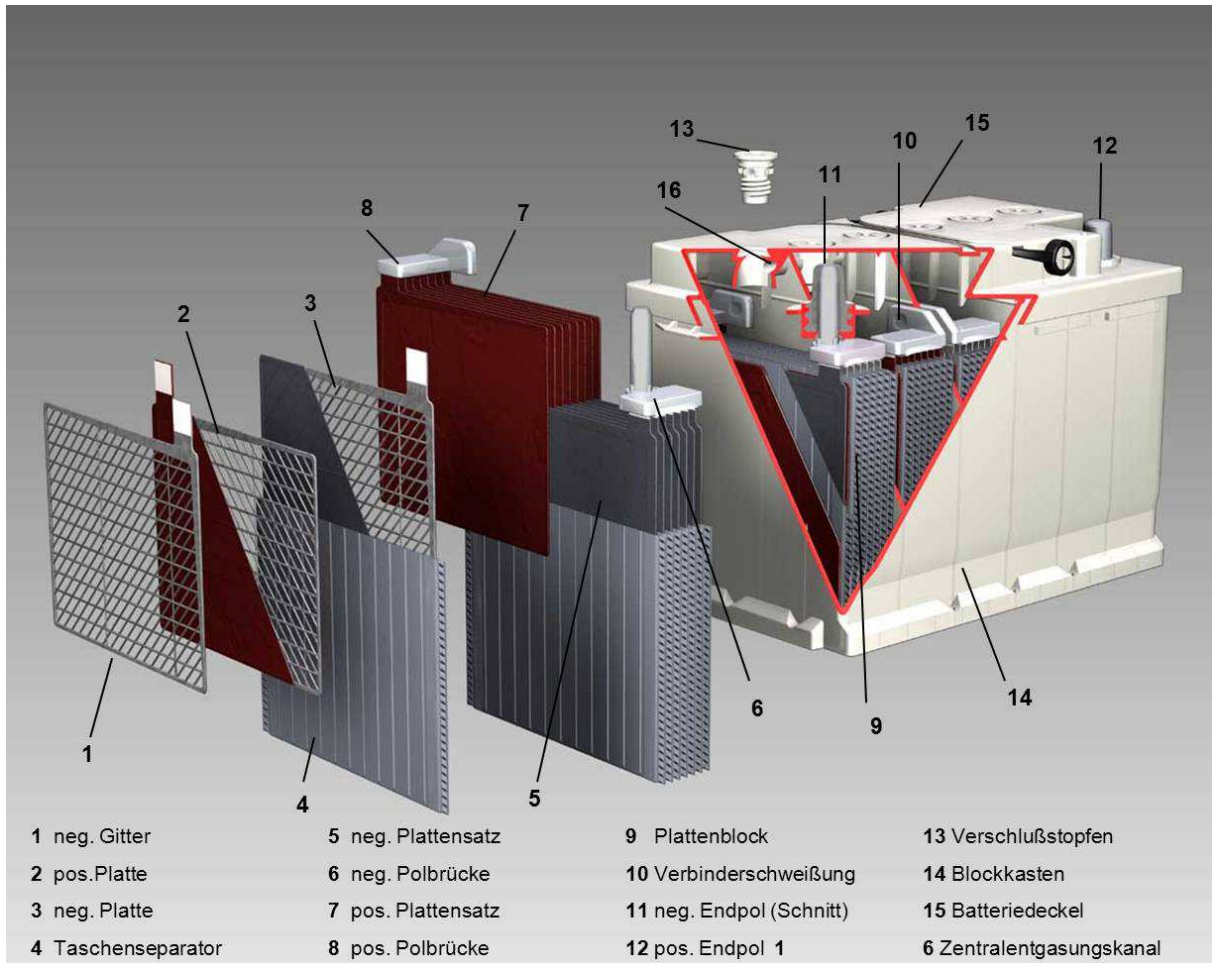
Bildquelle: Wikipedia / gemeinfrei ([http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bleiakkumulator\\_Entladevorgang.svg&filetimestamp=20091011130825](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bleiakkumulator_Entladevorgang.svg&filetimestamp=20091011130825))

Leider reicht es in der Praxis nicht ganz aus, einfach zwei Bleiplättchen in ein mit Schwefelsäure gefülltes Gefäß zu tauchen. Ein derartiger Akku hätte eine Kapazität, die eine Taschenlampenbirne nur wenige Sekunden zum Leuchten bringen könnte, danach müsste er wieder aufgeladen werden.

Für die heute erhältlichen Akkumulatoren mit Kapazitäten von einigen zehn bis zu vielen hundert Amperestunden müssen die Platten eine entsprechend große aktive Oberflächen aufweisen. Je nach Einsatzzweck finden Gitterplatten, Großoberflächenplatten oder Panzerplatten Verwendung und es werden Sätze aus mehreren Platten fein ineinander geschachtelt, also abwechselnd einer positive und eine negative Platte. Damit sich die eng aneinander geschichteten Platten nicht berühren können, weil das einen inneren Kurzschluss zur Folge hätte, kommt ein weiteres Bauteil

## Robert's Akkumulatorenkompendium

ins Spiel: zwischen die Elektroden werden sogenannte Separatoren aus isolierendem, jedoch elektrolytdurchlässigem Material eingefügt (Gummi, Kunststoff, Glaswolle).



### Vor- und Nachteile:

Auf der Habenseite steht, dass der Bleiakku ausgereift und mit Abstand die am preisgünstigsten herzustellende Batterie ist, Sie bekommen hier die meisten Amperestunden für Ihr Geld. Bei entsprechend sorgfältiger Behandlung erreichen ordentlich gemachte Industriezellen Lebenszeiten von 10 bis 15 Jahren.

Weniger günstig sieht es aus, wenn man das Speichervermögen mit Gewicht und Volumen in Relation bringt, da gibt es bessere Konstruktionen als den Bleiakku.

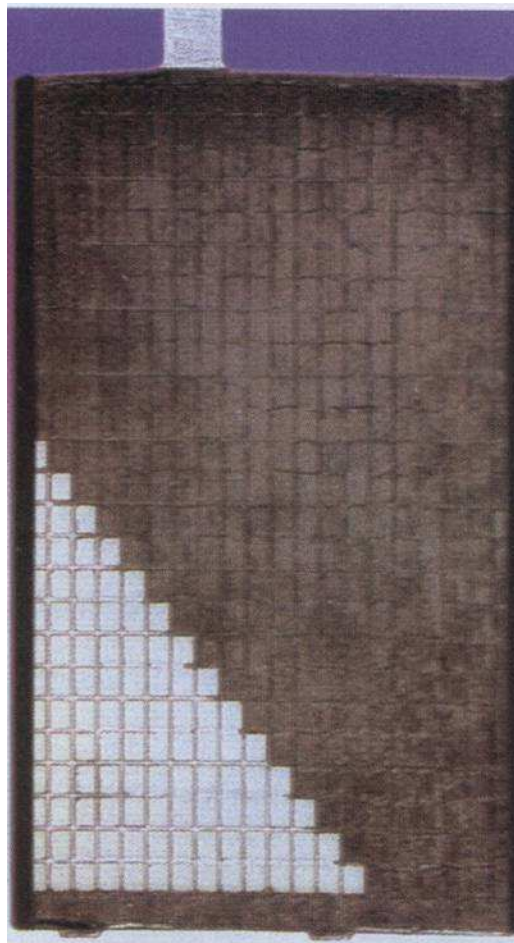
Der Bleiakku ist bei weitem nicht so schlecht, wie die Erfahrung es uns vermuten lässt. Die basiert hauptsächlich auf der Starterbatterie aus unserem Automobil, welche das denkbar ungünstigste Beispiel ist. Zum einen unterliegt diese Bauform des Bleiakkus besonderen wirtschaftlichen Einschränkungen bei der Herstellung, so dass in der Regel die allerbilligsten Lösungen und Materialien zum Einsatz kommen. Zum anderen ist die Kombination aus Betriebsweise und Umgebungsbedingungen im Auto die schlechteste, die man sich vorstellen kann. Temperaturen zwischen  $-20$  und  $+60^{\circ}\text{C}$  (zumindest bei Akkus, die im Motorraum hocken „dürfen“), Ströme von einigen hundert Ampere während des Startvorgangs, dafür völlig unzureichende Ladung beim Kurzstreckenbetrieb im Winter und zum „Ausgleich“ heftige Überladung bei stundenlanger Urlaubsfahrt in der Sommerhitze. Wenn man dann noch



## Robert's Akkumulatorenkompendium

gelegentliche „Kapazitätstests“ macht, indem man vergisst, Licht oder Radio auszuschalten, darf man sich nicht wundern, wenn einem der geschundene Stromsammler bereits nach wenigen Jahren den Stinkefinger zeigt.

Warum ist das so? Nun, ein Grund ist zunächst im Aufbau zu suchen. Die preiswerteste Möglichkeit, viel Kapazität zu bekommen, ist die Gitterplatte. Die besteht - wie der Name schon sagt - aus einem Bleigitter als Träger, in dessen Aussparungen - vereinfacht dargestellt - aktive Masse aus ganz kleinen Bleischnipsel gepresst wird. Diese Masse wirkt wie ein Schwamm, der sich mit Schwefelsäure ansäuft und damit eine riesige Oberfläche im Vergleich zu einer massiven Platte hat. An sich eine geniale Lösung, preiswert herzustellen, allerdings mit ein paar kleinwinzigen Nachteilen.



Während des Entladevorganges reagieren die Platten mit der Schwefelsäure, Teile der Säure werden in den Platten gebunden und es bildet sich Bleisulfat ( $\text{PbSO}_4$ ). Beim Laden kehrt sich der Vorgang um und die Masse wird wieder zu reinem Blei ( $\text{Pb}$ ) bzw. Bleidioxid ( $\text{PbO}_2$ ). Soweit, so gut, das ist eben das Funktionsprinzip des Bleiakkus.

Blöderweise ist diese chemische Umwandlung mit einer Volumsänderung verbunden, da  $\text{PbSO}_4$  deutlich mehr Platz beansprucht als reines  $\text{Pb}$  oder  $\text{PbO}_2$ . Natürlich reden wir, auf die Stärke einer Platte gebrochen, nur von Millimeterbruchteilen, aber die ständige geringfügige Bewegung in der aktiven Masse führt dazu, dass sich nach und nach kleine Teile der aktiven Masse lockern

## Robert's Akkumulatorenkompendium

und aus dem Gitter herausfallen. Das reduziert die wirksame Oberfläche und damit die Kapazität, außerdem sammelt sich dieser sogenannte Bleischlamm am Boden des Gehäuses und kann im schlimmsten Fall die Platten am unteren Ende kurzschließen. Zumindest dem kann begegnet werden, indem man die Platten nicht bis zum Boden des Gehäuses reichen lässt, wodurch ein Schlammraum bleibt. (Nachteil: weniger Kapazität bei gleicher Gehäusegröße).

Man kann leicht nachvollziehen, dass in diesem Punkt auch die Entladetiefe eine wesentliche Rolle spielt. Je tiefer ich den Akku entlade, umso mehr Bleisulfat bildet sich und umso stärker lockert sich die aktive Masse in den Platten. Ganz besonders Starterbatterien reagieren auf das oben beschriebene Phänomen besonders allergisch. Sie sind zur Abgabe hoher Ströme über einen kurzen Zeitraum ausgelegt, also für die wenigen Sekunden, während der Diesel angekurbelt wird. Deshalb und weil auch die Baugröße ein Faktor ist, haben Starterbatterien sehr viele, dünne Platten, die mechanisch verhältnismäßig empfindlich sind.

Lassen Sie sich keinesfalls von der Kapazitätsangabe blenden, die ist nur wegen des Startstroms erforderlich, denn logischerweise kann ein Akku mit höherer Kapazität auch einen höheren Strom liefern. Die 100 Ah Batterie in Ihrem Auto brauchen Sie nicht, weil da hundert Amperestunden entnommen werden, sondern nur, weil eine 36 AH - Batterie den Startstrom nicht zuverlässig liefern könnte.

Wer in der Photovoltaikanlage auf seiner Almhütte eine Batterie für Startanwendungen zur Dauerversorgung verwendet, wird feststellen müssen, dass die schon nach kurzer Zeit ihren Dienst versagt. Bleiakkus für Zyklenbetrieb haben einen wesentlich anderen Aufbau, wenn Gitterplatten, dann sind diese deutlich dicker als bei einer Starterbatterie, noch besser sind grundsätzlich andere Konstruktionen mit Panzerplatten oder Großoberflächenplatten.

Neben der soeben beschriebenen Volumenzunahme kommt noch folgendes erschwerend hinzu: Im Normalfall ist das bei der Entladung entstehende Bleisulfat eine ganz dünne, feine Schicht, die sehr reaktionsfreudig ist und beim anschließenden Ladevorgang wieder vollständig abgebaut wird. Wenn wir den Bleiakku jedoch sehr tief entladen und zu allem Überfluss noch in diesem Zustand einige Zeit stehen lassen, wächst die feine Sulfatschicht zu größeren Kristalleinheiten zusammen. Man bezeichnet diesen Effekt als „sulfatieren“ und wer in der Schule im Chemieunterricht Kupfersulfatkristalle gezüchtet hat, weiß, wovon ich spreche.



Diese größeren Kristalle benötigen noch mehr Platz, sind aber vor allem nicht elektrisch leitend und können daher beim Laden nicht wieder abgebaut werden, weder durch elektrische noch durch chemische Maßnahmen. Sulfatierung schädigt den Akku dauerhaft, da Teile der aktiven Masse unwiederbringlich passiviert werden. Findige Marktstrategen preisen zwar immer wieder Säftchen und Geräte an, die das angeblich beheben. Schenken Sie dem um Himmels Willen keinen Glauben, sparen Sie ihr Geld und kaufen Sie sich ein besseres Ladegerät und / oder eine bessere Batterie!

Bildquelle: Wikipedia / GNU - Lizenz ([http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Copper\\_sulfate.jpg&filetimestamp=20060210175413](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Copper_sulfate.jpg&filetimestamp=20060210175413))

## Robert's Akkumulatorenkompendium

Aber es geht auch in der anderen Richtung: Wenn wir den Bleiakku über den Vollzustand hinaus laden, beginnt er aus lauter Verzweiflung, den Wasseranteil der verdünnten Schwefelsäure zu zersetzen, es entsteht Sauerstoff an der positiven und Wasserstoff an der negativen Platte, gemeinsam ergibt das das sogenannte Knallgas.

Kommen Sie mit einer Flamme oder Zigarette in die Nähe eines eifrig gasenden Akkus, ist sein Leben in Sekundenbruchteilen vorbei und Ihr eigenes möglicherweise in Mitleidenschaft gezogen, denn der Akku fliegt Ihnen schlicht und ergreifend um die Ohren.

Auf jeden Fall aber tragen diese Gasbläschen, die auch tief im Inneren des „Schwammes“ aus aktiver Masse entstehen, ebenfalls zum Lockern derselben bei, Ergebnis siehe weiter oben.

Man darf sich das jetzt natürlich nicht so vorstellen, dass bei jeder Ent- oder Überladung eine Hand voll Material aus den Platten herausfällt, aber wie das schöne Sprichwort schon sagt: steter Tropfen höhlt die Leber.

Darüber hinaus sinkt der Elektrolytstand im Akku, wenn wir durch häufige Überladung das Wasser „herauskochen“. Kein Beinbruch bei herkömmlichen Bleiakkus, wo man die Verschlussstopfen der einzelnen Kammern öffnen und den Flüssigkeitsstand mit destilliertem Wasser wieder auffüllen kann. Wartungsfreie Akkus oder solche mit festgelegtem Elektrolyt (Gel, AGM) bieten diese Möglichkeit jedoch nicht. Bei fest verschlossenen Akkus gibt es zwar Techniken, mit deren Hilfe ein Teil des Knallgases wieder zu Wasser „rekombiniert“ wird, ein gewisser Verlust bleibt aber immer.

Da es sich bei dem Elektrolyt um verdünnte Schwefelsäure handelt, steigt deren Konzentration, wenn wir durch Überladung Wasser herauskochen. Die höhere Säurekonzentration begünstigt auch bei gut geladenem Akku die Bildung von Sulfat und führt nebenbei zu sogenannter Plattenkorrosion. Betroffen hiervon ist vor allem das Gitter der Platte, welches an dem chemischen Prozess eigentlich gar nicht teilnehmen soll. Das Gitter besteht aus reinem Blei und ein paar Zusätzen, die es mechanisch stabil machen und soll nur die aktive Masse tragen. Durch die Plattenkorrosion wird es zu  $PbO_2$  umgewandelt und benimmt sich ab sofort wie die aktive Masse selbst. Das ist zunächst scheinbar gar nicht so schlecht, weil damit die Kapazität des Akkus zunimmt. Allerdings verliert das Gitter durch die Umwandlung deutlich an Festigkeit und nimmt an Volumen zu, wodurch in Folge überproportional viel aktive Masse „abgeworfen“ wird. Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass dem Gitter gelegentlich Calcium oder Antimon beigemischt wird, um die mechanische Stabilität zu verbessern und es weniger anfällig gegen die vorher erwähnte Korrosion zu machen. Die Zusätze helfen zwar, führen aber zu erhöhter Selbstentladung oder erhöhtem Wasserverbrauch, es gibt also wieder einmal nichts geschenkt. Wie heißt es so schön in der Werbung für Kopfschmerztabletten? „Bei Risiken und Nebenwirkungen fressen Sie die Packungsbeilage und erschlagen Ihren Arzt mit Ihrem Apotheker“.

Am Rande anführen, aber nicht weiter erläutern möchte ich noch Schäden durch die Verbleiung der negativen Platte sowie die Dendritenbildung, wo Bleisulfat durch den Separator hindurch zur andern Platte wächst und zu einem inneren Kurzschluss der Zelle führt. Wie Sie sehen, gibt es etliche Mechanismen, die eine Bleibatterie ordentlich herbeuteln können.

Die entscheidende Frage, die aber bleibt: Wie um alles in der Welt behandeln wir ihn richtig? Auch wenn das jetzt nach der Auflistung der Schadensmöglichkeiten schier unmöglich erscheint, ist es in Wirklichkeit ganz einfach.

## Robert's Akkumulatorenkompendium

Zusammengefasst gibt es zwei gute Möglichkeiten, einen Bleiakku (und nicht nur diesen) beschleunigt in den Akkuhimmel befördern: Zu wenig und / oder zu viel laden. Demzufolge ist es ganz einfach, den Akku richtig zu behandeln: verwenden Sie ausschließlich ein Ladegerät, das erkennt, wenn der Akku voll ist und den Ladestrom entsprechend anpasst beziehungsweise unterbricht und entladen Sie den Akku nicht zu sehr und laden Sie ihn umgehend nach der Benutzung wieder nach, getreu dem Grundsatz: Bleiakkus sind am glücklichsten, wenn sie möglichst vollgeladen sind.

Um das Ganze an Hand konkreter Zahlen zu betrachten, werfen wir einen Blick auf das Datenblatt eines Bleiakkus.

Vorausschicken möchte ich, das die dort entnommenen Werte repräsentativ sind und vom Prinzip her auch für andere Bleiakkus Gültigkeit haben. Das Beispiel stammt allerdings von einem recht preiswerten Akku aus Fernostproduktion, bei hochwertigen Produkten ist bei den meisten Werten noch deutlich Spielraum nach oben.

Betrachten wir zunächst den sogenannten Bereitschaftsparallelbetrieb (floating use), der Akku hängt dauernd am Ladegerät. Typische Beispiele wären Notversorgung unserer Funkstation, die USV für den Rechenknecht oder Photovoltaik (mit geringer Nutzung) auf unserer Almhütte oder ähnliches. Wir entnehmen dem Datenblatt folgende Details:

### Operating Temperature Range:

Discharge	-35°C (-31°F) ~50°C (122°F)
Charge	-15°C (5°F) ~40°C (104°F)
Storage	-15°C (5°F) ~40°C (104°F)

\*\* Die Umgebungstemperatur (eigentlich die Akkutemperatur) sollte sich im Bereich zwischen -15 und +40°C bewegen, das wird in aller Regel kein Problem darstellen.

Max Charge Current	0.3C(A)
--------------------	---------

\*\* Der Ladestrom sollte 0,3 C (100 Ah x 0,3 = 30A) nicht überschreiten. Da weder Solarmodule noch in Frage kommende Ladegeräte mehr als 30A Ladestrom liefern, brauchen wir auch diesem Punkt keine besondere Beachtung schenken.

### Charging Methods:

Floating Use	13.5V~13.8V(20°C), Compensation co-efficient-3mv/cell/°C
Cycling Use	14.4V~15.0V(20°C), Compensation co-efficient-5mv/cell/°C

\*\* Im floating use soll die Ladeschlussspannung bei 13,5 Volt liegen, wir müssen demnach Ladegerät oder Laderegler entsprechend einstellen.

Allerdings gilt das nur für eine Umgebungstemperatur von 20°C, bei Abweichungen ist eine Korrektur von 3 mV pro Grad und Zelle erforderlich. Das sind  $3 \times 6 = 18$  mV pro Grad für den ganzen Akku, denn unser 12V Akku besteht ja aus 6 in Serie geschaltete Zellen. Niedrigere Temperaturen erfordern eine höhere Ladespannung und umgekehrt.

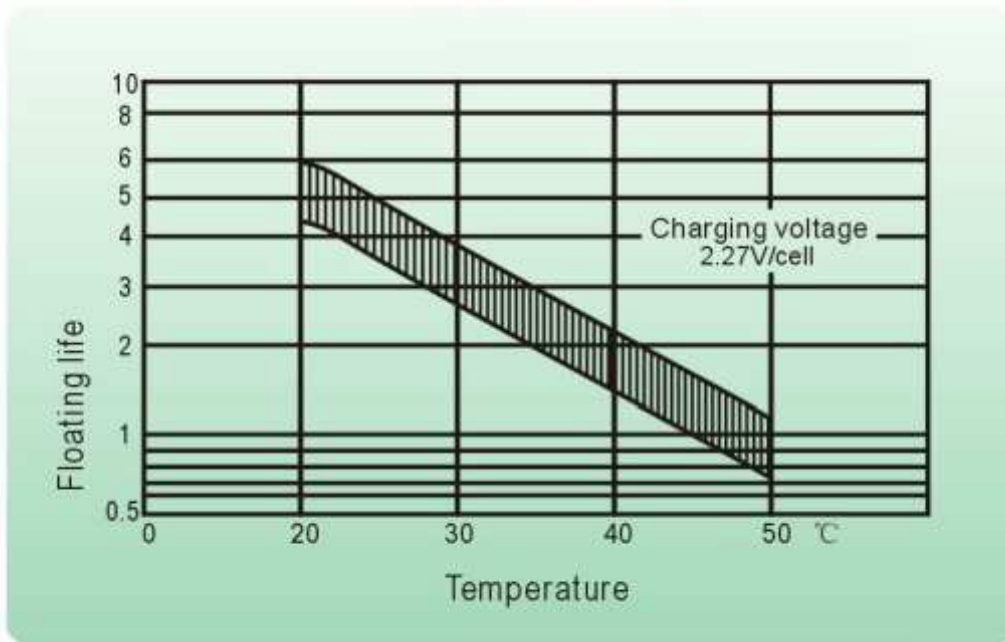
18 mV sind 0,018V, das klingt zunächst vernachlässigbar wenig, trotzdem wollen wir diesen Punkt genauer unter die Lupe nehmen. Wenn wir nämlich unser gemütliches Zuhause verlassen und den Akku in der rauen Wildbahn betreiben, kann sich da ganz schön was zusammensummieren. Beim unteren Grenzwert, -15°C, müsste die Spannung von 13,5 auf immerhin 14,1 Volt erhöht werden, schwitzt der Akku hingegen bei sommerlicher Hitze, dürfen es nur mehr 13,1 Volt sein. Über den

## Robert's Akkumulatorenkompendium

ganzen zulässigen Temperaturbereich ergibt sich somit eine Änderung von 1,0 Volt. Klingt kompliziert, ist in der Praxis aber halb so dramatisch. Ordentliche Ladegeräte verfügen über einen Temperaturfühler, mit dessen Hilfe diese Temperaturkompensation selbsttätig durchgeführt wird.

Das war's auch schon Im Großen und Ganzen, interessant ist vielleicht noch dieser Punkt:

### Float Service Life

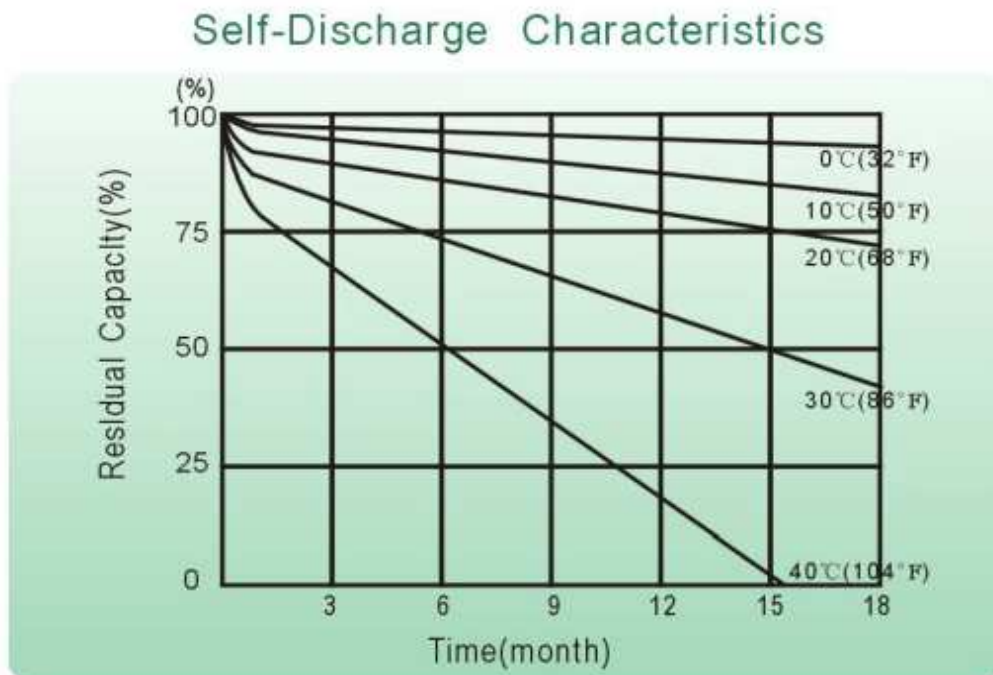


Quelle: Greensaver corporation

Wie wir sehen, gibt der Hersteller für die Lebensdauer eine Bandbreite zwischen  $4 \frac{1}{2}$  und 6 Jahren an, allerdings bei einer Temperatur von 20°C. Höhere Umgebungstemperaturen ziehen eine deutlich abnehmende Nutzungsdauer nach sich, bei lediglich 10°C mehr ist bereits nach  $2 \frac{1}{2}$  bis 4 Jahren Schluss mit lustig. Sie sehen also, dass es nicht egal ist, wo Sie den Akku hinstellen, in einer Ecke, wo im Sommer die Sonne schön hinknallt oder in einem geschlossenen Kasten gemeinsam mit dem wohlige Abwärme spendenden Ladegerät ist definitiv nicht die beste Wahl.

## Robert's Akkumulatorenkompendium

Nicht ganz ausser Acht lassen sollte man noch das Thema Selbstentladung, vor allem, wenn die Anlage nicht permanent genutzt wird. Hierzu gibt das Datenblatt folgendes preis:

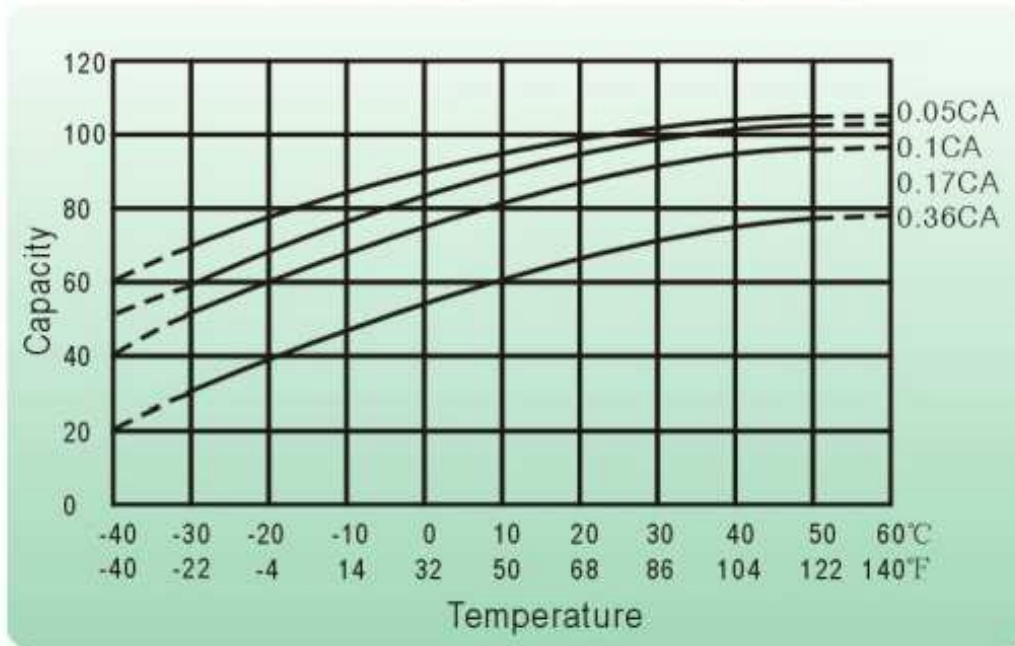


Quelle: Greensaver corporation

Sie sehen, die Selbstentladung ist auch eine Funktion der Umgebungstemperatur. Spätestens, wenn der Ladestand unter 80% abgesunken ist, muss der Akku nachgeladen werden, um Langzeitschäden durch Sulfatierung zu vermeiden. Beträgt die Umgebungstemperatur 10°C, so brauchen wir uns 1 ½ Jahre lang keine Gedanken darüber machen, bei durchschnittlich 40°C ist es jedoch bereits nach einem Monat so weit. Auf unserer Almhütte werden wir die Akkus demzufolge möglichst im Erdkeller verstecken, da hat es das ganze Jahr über angenehme 10 - 15°C, also fast der Idealzustand.

Wer jetzt die Schlussfolgerung zieht, dass es am Besten ist, den Akku in die Tiefkühltruhe zu stecken, dem sei noch das nachstehende „ja, aber ...“ ans Herz gelegt:

## Effect of Temperature on Capacity



Quelle: Greensaver corporation

Man erkennt aus dem Diagramm, dass die Nennkapazität irgendwo bei 20, 30°C erreicht wird, bereits um den Gefrierpunkt stehen je nach Belastung nur mehr 80% zur Verfügung. Der Grund liegt darin, dass chemische Vorgänge bei höheren Temperaturen einfach besser ablaufen.

Zusammengefasst heisst das, einen geeigneten Aufstellplatz zu wählen und die Ladespannung auf den richtigen Wert einzustellen, sind die wesentlichen Geheimnisse für ein langes und erfülltes Batterieleben.

Im zweiten Betrachtungsfall nehmen wir den Zyklusbetrieb unter die Lupe, also abwechselnde Entladung und Aufladung. Beispiele hierfür sind Batterien in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen oder Geräten, wie die Antriebsbatterien aus den Beispielen mit dem Stapler und dem Elektroboot oder sogenannte Komfortbatterien in Segelbooten, also alles, wo Akkus alternierend ge- und entladen werden.

Der wesentliche Unterschied zum vorhergehenden Betriebsfall ist, dass wir den Akku hier stets (teil)entladen zum Ladegerät bringen und in möglichst kurzer Zeit wieder vollgefüllt zurück bekommen wollen.

### Charging Methods:

Floating Use	13.5V~13.8V(20°C), Compensation co-efficient-3mv/cell/°C
Cycling Use	14.4V~15.0V(20°C), Compensation co-efficient-5mv/cell/°C

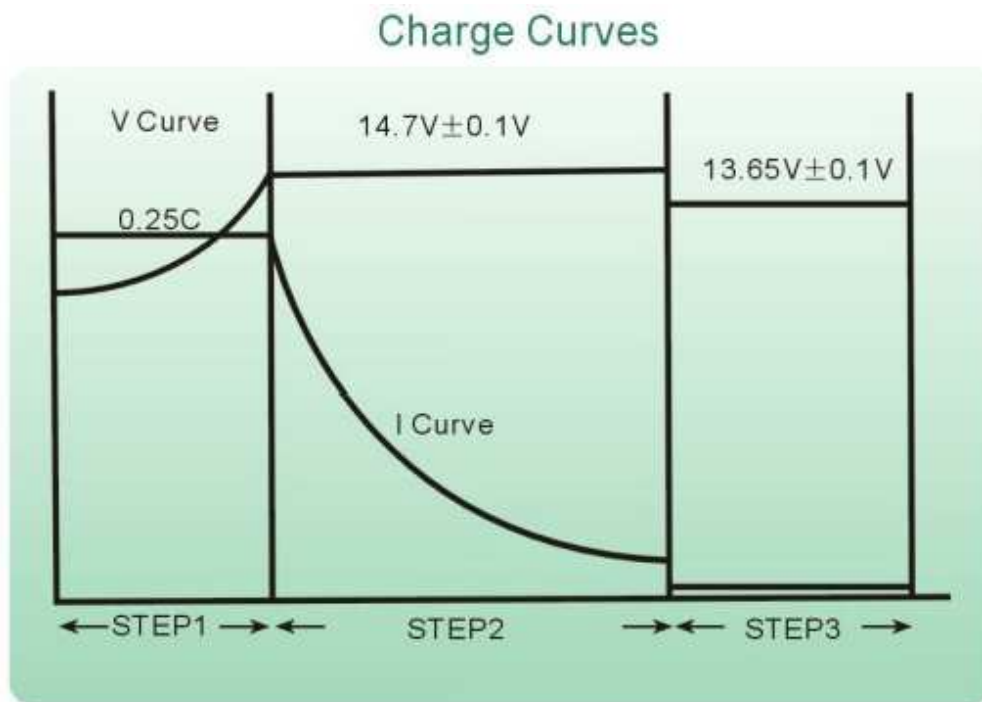
Vor allem aus dem Grund der Ladezeit wird für den Zyklusbetrieb eine höhere Ladespannung, nämlich 14,4 Volt zugelassen. Außerdem beträgt die temperaturbedingte Korrektur der Ladespannung 5 mV anstelle 3 mV.

## Robert's Akkumulatorenkompendium

Grundsätzlich kann ein Bleiakku mit der temperaturkorrigierten, konstanten Gleichspannung geladen werden, da macht man nichts falsch. Allerdings dauert der Ladevorgang dann sehr lange, da der Strom, den der Akku aufnimmt, ab einem gewissen Füllgrad stark zurückgeht und nur mehr wenig Energie zugeführt wird. Dieses Verfahren wird deshalb normalerweise nur im Bereitschaftsparallelbetrieb angewendet, wo der Akku ohnehin permanent an der Mutterbrust hängt.

Im Zyklenbetrieb wollen wir den randvollen Akku möglichst bald wieder zum Gebrauch zurückhaben, deshalb wird bei mittlerem Ladezustand für einen gewissen Zeitraum eine höhere Spannung angelegt, um die Ladung zu beschleunigen. Das hat keine negativen Auswirkungen, da die höhere Spannung nur zeitlich begrenzt anliegt und auf einen schonenderen Wert reduziert wird, bevor der Akku den Vollzustand erreicht und zu gasen beginnen würde.

Die Umschaltung erfolgt automatisch im Ladegerät einfach zeitabhängig oder dann, wenn der Ladestrom unter einen gewissen Wert des ursprünglichen Stromes abgesunken ist. Ein Beispiel für einen solchen Verlauf finden wir ebenfalls im Datenblatt:

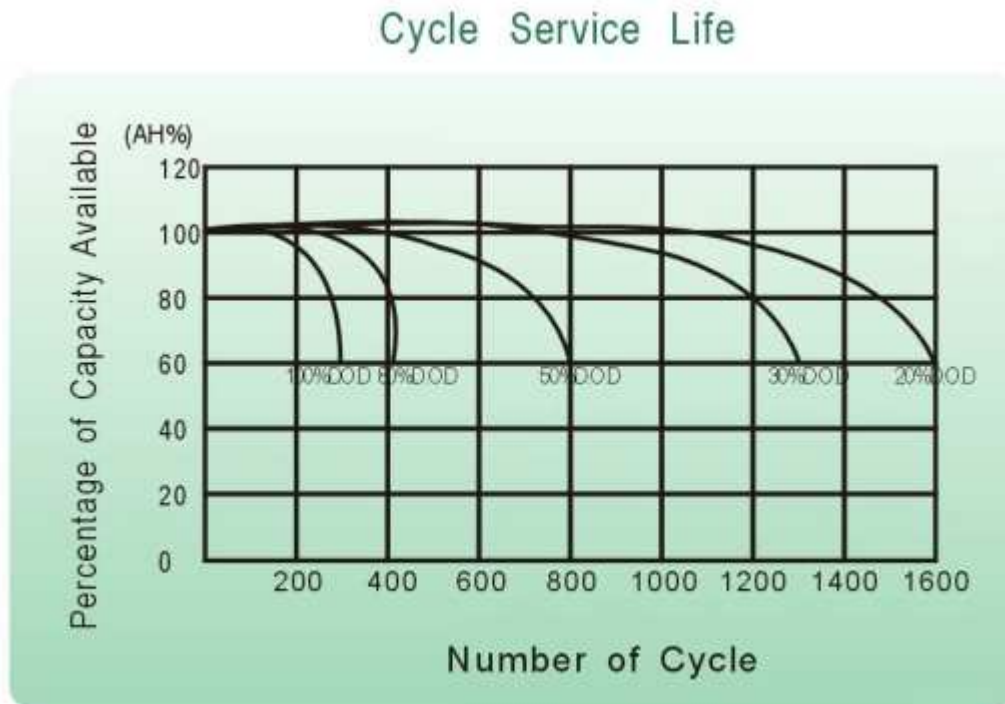


Quelle: Greensaver corporation



## Robert's Akkumulatorenkompendium

Was die Lebensdauer selbst angeht, interessiert uns beim Zyklusbetrieb weniger die Standzeit als die mögliche Anzahl der Ladungen und Entladungen und hierzu gibt das Datenblatt folgende Information preis:



Quelle: Greensaver corporation

Entladen wir den Akku nicht mehr als bis zur Hälfte, können wir ihn rund 700 Mal laden und entladen, bevor er verschlissen ist. Wenn wir ihn aber jedes Mal ordentlich auslutschen, wird sein Lebensende schon nach weniger als zweihundert Zyklen erreicht sein.

Für das Elektroboot eine sicher ausreichende Nutzungsdauer, umgelegt auf unser Staplerbeispiel hieße das, wir kaufen dem (dann sicher besonders freundlichen) Händler jährlich einen Batteriesatz ab (80% DOD = 200 Arbeitstage = 1 Jahr). Für den Stapler müssten wir entweder einen höherwertigen Akkusatz nehmen, der bei gleicher Behandlung länger lebt oder - falls Platz dafür ist, größere Akkus mit mehr Kapazität verbauen.

Wenn wir das vorstehende zusammenfassen, ergeben sich folgende Punkte für eine lange Lebensdauer:

Verwenden Sie nur für den jeweiligen Einsatzzweck geeignete Bleiakkus, also zum Starten Starterbatterien und für Zyklusbetrieb Langzeitentladebatterien. Natürlich kann man im Notfall auch eine Starterbatterie zur Notstromversorgung und eine Langzeitbatterie zum einmaligen Starten verwenden, aber für Daueranwendung ist das definitiv nicht geeignet.

Verwenden Sie nur ein ordentliches Ladegerät mit mehrstufigem Ladeverfahren, Vollerkennung und Temperaturkompensation. Das kostet zwar soviel wie guter Akku, kann aber das Leben von unzähligen retten.

## Robert's Akkumulatorenkompendium



Bildquelle: [www.waeco.de](http://www.waeco.de)

Wenn Sie den Platz haben, nehmen Sie den Akku eine, besser zwei Nummern größer. Sie reduzieren damit bei gleicher Belastung deutlich die Entladetiefe und erhöhen im Gegenzug die verfügbare Zyklenzahl.

Halten Sie Ihre Bleiakkus stets gut geladen. Wenn wir unter dem soeben erworbenen Wissen unsere Starterbatterie im Auto betrachten, wird schnell klar, worin deren Dilemma liegt. Die Lichtmaschine (eigentlich: Generator) im Auto liefert nur eine einzige, fixe Ladespannung, da das Blechtier eine konstante Spannung im Bordnetz benötigt. Wir würden uns schließlich schön bedanken, wenn im Winter pausenlos alle Lampen durchbrennen und wir in lauen Sommernächten mit Funzellicht wie zu Zeiten des 6 Volt Käfers unterwegs sein müssten. Dieser zwangsläufige Kompromiss bedeutet Überladung im Sommer und Mangelladung im Winter.

Vielleicht erinnert sich noch mancher daran, dass manche Autos in den Sechzigern einen Sommer / Winterumschalter am Lichtmaschinenregler hatten, mit dem die Spannung geringfügig angepasst werden konnte. Da alles, was bedient werden kann, häufig falsch bedient wird und danach dem Gerät die Schuld zugewiesen wird, wurde diese durchaus sinnvolle Einrichtung irgendwann einmal wegrationalisiert.

Bei modernen Autos, die jede Menge elektrischer Verbraucher haben, ist die Ladespannung ziemlich hoch angesetzt, damit die Kiste auch im Winter und bei Kurzstreckenbetrieb stets genug „Saft“ hat. Deshalb geht der Stromspeicher mittlerweile häufiger im Sommer als im Winter ein, weil er während langer Urlaubsfahrt bei hohen Temperaturen stundenlang überladen wird.

Starterbatterien freuen sich besonders während der kühlen Jahreszeit über eine monatliche Ausgleichladung, die wenigstens 24 Stunden dauern sollte. Wenn Sie dieser Empfehlung folgen, wird er deutlich länger seinen Dienst versehen.

Merke: Akkuladen ist wie einen Kübel mit Wasser anfüllen. Die Lichtmaschine ihres Autos hat das Feingefühl einer Feuerwehrspritze, da kriegen Sie zwar blitzartig einen Mindeststand hinein, mehr aber schon nicht. Um ihn bis zum Rand zu füllen, braucht es spätestens ab der Hälfte einen feinen Strahl sowie ausreichend Geduld.

## Kapitel 6 - der Stahlakkumulator

wird in diesem Kapitel etwas knapp behandelt werden, da er nur sehr wenig verbreitet ist. Allerdings bildet er die technische Basis für den sehr häufig anzutreffenden NiCd und NiMH - Akku, was die Grundlagen wiederum interessant macht. Seine Hauptverwendung fand der NiFe - Akku ab 1900 als Antriebsakku für Automobile, für Eisen- und Grubenbahnen, in den Unterseebooten des zweiten Weltkrieges, als Stationärbatterie in Notstromversorgungen sowie als Energiequelle für Grubenlampen.

Der unumstrittene Vorteil des NiFe - Akkus ist seine im Vergleich zu allen anderen Systemen beeindruckende Unempfindlichkeit gegen sämtliche Arten von Fehlbehandlung und der daraus resultierenden enormen Lebensdauer.

Dem Vernehmen nach besitzt der amerikanische TV - Moderator Jay Leno einen Baker electric, ein elektrisch angetriebenes Auto aus der Zeit um 1910, dessen Original Akkusatz nach wie vor funktionstüchtig ist. Auch sind Stationärbatterien bekannt, die 30 Jahre und mehr auf dem Buckel haben und nach wie vor einwandfrei ihren Dienst versehen. Klingende (und teilweise wieder in Vergessenheit geratene) Namen wie DEAC (Deutsche Edison Akkumulatoren Company) oder Gottfried Hagen wurden mit der Produktion von Edison - Akkumulatoren groß.

Erfunden wurde der NiFe - Akku um 1900 vom Amerikaner Thomas Edison, weshalb er auch die Bezeichnung „Edison - Akku“ trägt. Fast zeitgleich brachte der Schwede Waldemar Jungner einen Akku mit vergleichbarem Aufbau zur Serienreife, allerdings verwendete Jungner für die Anode Cadmium anstelle von Eisen, wodurch die Energieausbeute etwas höher war.

Die diese Kapitel einleitende Bezeichnung „Stahlakkumulator“ hat der Edison Akku daher, weil die Platten meist aus vernickeltem Stahl als Taschen- oder Röhrchenplatte ausgeführt waren. Diese Konstruktion fixierte die eingefüllte aktive Masse mit größtmöglicher Sicherheit - vor allem im Vergleich zur Gitterplatte des Bleiakkus - und gewährte somit die außerordentliche Lebensdauer des Akkus.

Aufbau: beim NiFe - Akku besteht die positive Elektrode (Kathode) aus Nickelhydroxid (NiOOH), die negative Elektrode (Anode) besteht aus pulverförmigem Eisen. Meist wird den Elektroden Graphit zur Verbesserung der Leitfähigkeit beigemischt. Als Elektrolyt dient eine 20 prozentige, wässrige Lösung von Kaliumhydroxid (KOH), landläufig Kalilauge genannt. Eine NiFe - Zelle liefert eine Nennspannung von 1,2 Volt.

Die überaus lange Haltbarkeit NiFe - Akkus ergibt sich zum einen dadurch, weil die verwendeten Materialien im Vergleich zum Bleiakku sehr stabil sind. Zum anderen macht die kräftige Volumsänderung beim Lade / Entladevorgang von vornherein entsprechend massive Plattenkonstruktionen nötig. Gitterplatten, wie wir sie vom Bleiakku kennen, wären hier nicht brauchbar. Verwendet werden Ausführungen wie Röhrchen-, Faltband-, Taschen- oder Sinterplatten.

Einziges „Verschleißteil“ ist der Elektrolyt, der gerne mit dem Luftsauerstoff reagieren und schlecht leitendes Kalium - Karbonat bilden möchte, weshalb die Akkuzellen luftdicht verschlossen werden müssen. Bei Großakkumulatoren geschah dies zunächst durch einen Ölfilm auf dem Elektrolyt, später durch entsprechend dichte Deckelkonstruktionen. Ein Verschlussstopfen mit Ventil ermöglicht den Austritt der Ladegase und verhindert das Eindringen von Luft. Auch kann durch diesen im Bedarfsfall Wasser nachgefüllt werden. Zellen

## Robert's Akkumulatorenkompendium

dieser Bauweise werden Ventilzellen genannt. Da der Elektrolyt an der chemischen Umsetzung nicht nennenswert teilnimmt, kann er im Bedarfsfall problemlos ausgetauscht werden.

Später entdeckte man, dass man durch entsprechenden Aufbau einen weiteren chemischen Vorgang in die Zelle einbauen kann: Die beiden Elektroden werden unterschiedlich groß gemacht, so dass die positive zuerst vollgeladen ist und beim Überladen Sauerstoff produziert. Dieser Sauerstoff reagiert an der negativen Elektrode mit den OH<sup>-</sup> Ionen, verhindert die weitere Aufladung derselben und rekombiniert zu Wasser, womit sich der Kreislauf schließt. Diese Erkenntnis trug zur Entwicklung der ersten, wirklich gasdichten Zellen bei und führte letztlich zu den NiCd- und NiMH - Akkus, wie wir sie hinlänglich kennen.

Die eingesetzten Materialien und die aufwendigere Konstruktion des NiFe - Akkus bedingen einen wesentlich höheren Preis gegenüber dem Bleiakku, was letztlich den Ausschlag für den bleiernen Siegeszug gab. In letzter Zeit ist jedoch ein gewisses Comeback bei der dezentralen Stromerzeugung mit Photovoltaik oder Windkraft zu erkennen, wenn die Notwendigkeit einer Zwischenspeicherung gegeben ist. Wegen der langen Amortisationszeiten derartiger Anlagen von 20 Jahren und mehr will man hier auch Akkumulatoren mit entsprechender Lebensdauer haben.

## Kapitel 7 - Nickel Cadmium (NiCd) und Nickel Metallhydroxid (NiMH) Akkus

Nickel - Cadmium (NiCd) - Akkus kennen wir hauptsächlich als Energiequelle in tragbaren Elektrogeräten und Akkuwerkzeugen oder als Einzelzellen gleicher Baugröße wie Trockenbatterien zum Ersatz für eben diese.



Wie im Kapitel Stahlakku erläutert, können Nickel - Akkus durch entsprechende konstruktive Maßnahmen gasdicht hergestellt werden und sind damit die ersten für lageunabhängigen Betrieb geeigneten Akkus. Diese Eigenschaft ermöglichte uns erstmalig ein sorgenfreies Leben mit unseren tragbaren Stromverbrauchern abseits der Wegwerftrockenbatterie. Ihre sprichwörtliche Robustheit war allerdings Segen und Fluch gleichermaßen. Die verleitete die Industrie nämlich dazu, eine derartig primitive und billige Ladetechnik mitzuliefern, dass es heute noch zum Himmel stinkt. Während die Akkuhersteller Daten veröffentlichten, die auf lange Betriebszeiten und unzählige Zyklen hoffen ließen, wurden die Akkus in der Praxis durch unzureichende Ladetechnik scharenweise hingerichtet und hinterließen beim Anwender neben einem schalen Geschmack oft noch ein ordentliches Loch im Geldbeutel.

Das Geheimnis der Gasdichtheit liegt wie erwähnt darin, dass der bei Überladung an der positiven Elektrode gebildete Sauerstoff an der negativen Elektrode rekombiniert wird. Es entsteht also kein Gas, das nach außen will und die Zelle kann (mit einem Überdruckventil zur Sicherheit) verschlossen gebaut werden. Immer, wenn Sauerstoff im Spiel ist, handelt es sich im chemischen Sinne um einen Oxidationsvorgang, der landläufig eine Verbrennung darstellt und daher Wärme produziert. Die elektrische Energie, die wir dem Akku beim Überladen zuführen, wird zur Gänze in Wärme umgewandelt und muss an die Umwelt abgegeben werden. Damit das Ganze ohne bleibende Nebenwirkungen abläuft, darf vor allem der Ladestrom nicht zu hoch sein.

Auf den meisten Kleinakkus findet sich üblicherweise einen Aufdruck mit der Empfehlung für die Standardladung „laden mit  $I/10$  für 14 Stunden“. Nach 10 Stunden ist der Akku theoretisch voll, 2 Stunden sind für den Wirkungsgrad (leider müssen wir etwas mehr hineinstecken als wir herausbekommen) und zwei weitere Stunden als Sicherheit, damit er auch wirklich ganz voll ist beziehungsweise bei mehrzelligen Akkus eventuelle Unterschiede ausgeglichen sind. Alles, was darüber hinausgeht, erwärmt unser Herz und unser Wohnzimmer, in erster Linie aber den Akku selbst. Natürlich funktioniert der Rekombinationsvorgang theoretisch ewig, aus dem täglichen Leben wissen wir aber, dass es immer irgendwo Verluste gibt, wenn auch nur ganz kleine. Deshalb ist es leicht verständlich, dass sich bei Akkus, die tagaus, tagein am Netz hängen, doch nach und nach etwas vom Elektrolyt verflüchtigt und der Akku in Folge an Kapazität verliert. Darüber hinaus beschleunigen höhere Temperaturen die Alterung, das gilt für südländische Mädchen genauso wie für die Kunststoffteile der Akkuzelle. Einerseits sind da Dichtungen, die versprechen, wodurch wiederum der Elektrolyt leichter entweichen kann. An besonders heikler

## Robert's Akkumulatorenkompendium

Stelle aber sitzt der Separator, eine hauchdünne Kunststofffolie, die die beiden Elektroden voneinander trennt. Wenn der Separator porös wird, kommt es zu Mikrokurzschlüssen und der Akku leidet zunehmend an Selbstentladung. Gefördert werden kann das durch sogenannte Dendriten, die bei Dauerladung aus der Anode Richtung Kathode wachsen wie die Stalaktiten von einer Höhlendecke.

Weil die dermaßen beschleunigte Alterung des Akkus aber keine unmittelbaren Auswirkungen zeigt, haben die wenigsten Geräte mit Standardladung irgendeine Technik zur Vollerkennung eingebaut. Denken Sie nur an Ihre Erfahrungen mit Schnurlostelefonen, elektrischen Zahnbürsten, Akkuwerkzeugen und vielen anderen derartigen Gerätschaften. Da ist von einer mehrjährigen Lebensdauer oft keine Rede, von ein paar hundert Ladezyklen schon gar nicht.

Als nächstes entdeckte die Industrie die sogenannte „beschleunigte Ladung“, wer will schließlich 14 Stunden warten, bis er mit dem Akkuschauber weiter am Baumhaus für die Kinder werken kann. Weil NiCd - Akkus so robust sind, konnte man sie mit entsprechend hohem Ladestrom in zwei, drei Stunden vollballern. Damit ist allerdings eine unbegrenzte Überladung nicht mehr möglich, eine Vollerkennung musste her. Dem Einfallsreichtum der Rationalisierer sind bekanntlich kaum Grenzen gesetzt und so machte man sich hierfür die Eigenschaft des Akkus zunutze, sich bei Überladung zu erwärmen. Also einfach einen Temperaturschalter auf den Akku gepappt und fertig war die Vollerkennung. Der löst natürlich erst bei 50°C oder höher aus, damit das Ganze auch noch bei entsprechenden Umgebungstemperaturen funktioniert und keine Frühabschaltung produziert. Wen kümmert es, dass dem Akku Schweißperlen aus Kalilauge auf der Stirn stehen, vor allem, wenn der Thermoschalter in einem Batteriepack auf der Zelle montiert ist, die zuletzt warm wird. Besonders in Mitleidenschaft gezogen wird bei dieser Tortur der Separator, weil die Temperatur im Inneren der Zelle noch ein gutes Stück höher liegt. Man darf sich also nicht wundern, wenn derartig geschundene Akkus bereits nach kurzer Zeit eine Selbstentladung aufweisen, die höher ist als die Nutzentladung durch den Verbraucher selbst.

Dass es auch besser geht, zeigen unter anderem die Modellbauer. Um 1975 begann der Trend zu elektrisch angetriebenen Flugmodellen, der bis heute ungebrochen anhält. In den Anfängen erfüllten ausschließlich NiCd - Akkus die Anforderung von Antrieben, mit denen Elektrosegler senkrecht in den Himmel stiegen und deren Energiebedarf den Akku in 5 Minuten oder weniger leerte. Sogenannte Sinterzellen schaffen problemlos Ströme von 50 - 100A und erreichen dennoch eine beachtliche Zyklenzahl.

Grund dafür ist schlicht und ergreifend, dass ausschließlich Ladegeräte mit ausgefeilter Vollerkennung zum Einsatz kommen, die eine Überladung des Akkus mit Sicherheit verhindern.

Als gängigstes Abschaltkriterium dient ein charakteristischer, geringfügiger Spannungsrückgang, wenn der Akku den Voll - Zustand erreicht. Das Ladegerät speichert in Abständen von ca. 30 Sekunden die Akkuspannung und vergleicht den gespeicherten Wert mit der aktuellen Spannung. So lange der Akku Ladung aufnimmt, steigt seine Spannung stetig und liegt daher immer über dem gespeicherten Wert. Wenn der Akku voll ist, geht die Spannung etwas zurück und ist damit niedriger als der gespeicherte Wert. Führt die Auswertung ein paar Mal hintereinander zu diesem Ergebnis, wird die Schnellladung beendet und auf Erhaltungsladung mit geringem Strom umgeschaltet.

Sie sehen also, dass die Alterung der NiCd - Akkus hauptsächlich über den Ladevorgang gesteuert wird. zusammenfassend ist daher festzuhalten, dass möglichst Ladegeräte mit Vollerkennung und Abschaltung Verwendung finden sollten. Wer viele Kleinakkus betreibt, sollte

## Robert's Akkumulatorenkompendium

die Anschaffung einer derartigen Ladeeinrichtung in Betracht ziehen.

Es hilft aber schon viel, bei Geräten im Dauerladeverfahren eine einfache Schaltuhr dazwischen zu stecken, die das Gerät vom Netzstrom trennt und nur solange einschaltet, wie für eine sichere Vollladung nötig ist. Als Nebeneffekt sparen Sie auf diese Weise auch noch ein klein wenig bei Ihrer Stromrechnung.

Eine Eigenheit von manchen NiCd sei noch zu erwähnen, nämlich der sogenannte Memory - Effekt. Wenn man NiCd - Akkus mehrfach nur zum Teil entlädt, „merken“ sie sich das und geben die restliche Energie nur mehr widerwillig ab. Wenn Sie also beispielsweise den Akku Ihrer Videokamera aus Sicherheitsgründen immer nur bis zur Hälfte entladen, kann es passieren, dass bei einem längeren Dreh plötzlich die Spannung wegkippt und die Kamera einen leeren Akku vermeldet, obwohl eigentlich noch ausreichend Energie vorhanden sein müsste. Begründet ist das in einer Veränderung der kristallinen Struktur der Elektroden, wenn diese immer in (teil)geladenem Zustand gehalten werden. Der Memory - Effekt tritt nur bei Sinterzellen auf und kann durch einen oder mehrere vollständige Entlade / Ladezyklen „gelöscht“ werden.

Die vorgenannte Veränderung der Kristallstruktur ist mit ein Grund, warum NiCd's in entladene Zustand und - wie für alle Akkutypen gültig - bei niedriger Temperatur gelagert werden sollen. Nebenbei wird damit der beschriebene Memory - Effekt im Ansatz wirksam verhindert. Vernünftig lösen lässt sich das wiederum nur mit einem guten Ladegerät, denn die bieten auch die Möglichkeit, Akkus für die Einlagerung zu entladen oder im Bedarfsfall automatisierte Lade / Entladevorgänge zu fahren.

### Nickel - Metallhydrid Akkumulatoren

In einer von der EU 2004 verabschiedeten Richtlinie wurden die Mitgliedsstaaten aufgefordert, die Verwendung des Schwermetalls Cadmium einzuschränken und NiCd - Akkus binnen zwei Jahren zu verbieten. An diesem Punkt sei eine kritische Anmerkung nach der Sinnhaftigkeit der Maßnahme gestattet, da die technische Alternative in Form von Nickel - Metallhydrid - Akkus zwar unbestritten umweltfreundlicher, aber bei weitem nicht so langlebig ist und daher viel öfter den Recyclingvorgang durchläuft. Man fragt sich daher zu Recht, ob es tatsächlich nachhaltiger Umweltschutz ist, wenn wir ein Produkt weniger umweltschädlich machen und dafür viel öfter wegschmeißen.

Beim NiMH - Akku besteht die positive Elektrode unverändert aus Nickel(III)hydroxid, auch der Elektrolyt ist weiterhin 20 prozentige Kalilauge. Die negative Elektrode besteht jedoch aus einem Lochblech als Trägermaterial, in das eine pulverförmige Metalllegierung mit recht komplizierter Zusammensetzung eingebracht wird. Die Mischung besteht aus seltenen Erden wie Lanthan (La), Cer (Ce), Palladium (Pd), manchmal Neodym (Nd) und Metallen wie Nickel, Aluminium, Cobalt, Mangan und Molybdän. Das Material ist in der Lage, Wasserstoff zu speichern, der als eigentliche Anode dient.

Oberflächlich betrachtet, bietet die NiMH - Zelle zunächst einige Vorteile gegenüber ihrer Schwester mit dem Cadmiumanteil. Neben der fragwürdigen Umweltfreundlichkeit unbestritten ist jedenfalls die höhere Energiedichte, die wenigstens 50% über der einer gleich großen NiCd - Zelle liegt, bei manchen Typen ist sogar der doppelte Wert angegeben. Aufgrund nicht spezifizierter Messverfahren ist diesen Angaben aber mit Vorsicht zu begegnen. Darüber hinaus

## Robert's Akkumulatorenkompendium

liegt das Redoxpotential der NiMH Zelle mit 1,3 Volt um 0,1 Volt höher. Auch sind NiMH's nicht vom Memory - Effekt betroffen, so dass sie theoretisch und jederzeit aus jedem beliebigen Ladezustand wieder randvoll geladen werden können.

Wo viel Licht ist, ist viel Schatten und der, den die NiMH - Zelle wirft, ist nicht ganz kurz. Da wäre zunächst die Temperaturabhängigkeit der Wasserstoffdiffusion in der negativen Elektrode zu nennen. Die Reaktionsfreude im Mischmetall der Anode lässt mit sinkender Temperatur drastisch nach, so dass NiMH - Akkus bei Temperaturen um den Gefrierpunkt in den Winterschlaf verfallen und kaum noch Strom abgeben.

Umgekehrt fördert Betrieb bei höheren Temperaturen die Leistungsbereitschaft, gute NiMH's können dabei durchaus die Hochstromeigenschaften einer NiCd - Sinterzelle erreichen. Bei weiterem Temperaturanstieg, auch infolge der Eigenerwärmung bei Hochstromanwendungen nimmt der Alterungsprozess überproportional zu. Während ein NiCd - Akku im elektrisch angetriebenen Modell auch bei voller Belastung noch 100, 200 Zyklen schaffte, sind NiMH's bereits nach wenigen 10 Entladevorgängen am Ende.

Ein Punkt, der diesen Akkutyp besonders in die Schlagzeilen brachte, ist die Selbstentladung. Da waren die NiCd - Akkus schon nicht berühmt, vor allem, wenn sie ein wenig in die Jahre gekommen sind. NiMH's aber sind in der Lage, den Vollladezustand binnen einer Woche um bis zu 25% abzuschütteln, mit fortschreitender Entladung lässt die Selbstentladerate allerdings nach. Außerdem ist die die Selbstentladung eine Umkehrfunktion des Speichervermögens, so dass Hochkapazitätzellen besonders davon betroffen sind.

Mittlerweile gibt es Ausführungen, die nicht so hochgezüchtet sind und dafür eine geringere Selbstentladerate haben, wodurch sie wieder als Trockenbatterieersatz in Frage kommen (z. B. Sanyo Eneloop). Der Vorteil der NiMH - Zelle beim Speichervermögen hat sich damit allerdings weitgehend verflüchtigt.

Der NiMH - Akku kennt keinen Memory - Effekt, ließ uns die Industrie wissen. Ja, das stimmt, aber dafür bescherte man uns den lazy - battery - Effekt, der bei wenig genutzten Akkus auftritt. Veränderungen im Kristallgefüge führen zu niedrigerer Spannungslage und erhöhtem Innenwiderstand und damit zu einer „faulen Batterie“. Glücklicherweise kann man den - wie auch beim Menschen- durch ein paar Trainingseinheiten am Lade / Entladegerät wieder rückgängig machen

Abschließend ist noch zu erwähnen, dass NiMH's im Gegensatz zu NiCd - Akkus nicht leer gelagert werden dürfen. Die Speichermetallanode korrodiert, was dauerhaftem Kapazitätsverlust nach sich zieht.

Mittlerweile ist die Entwicklung von Akkumulatoren auf Lithiumbasis so weit fortgeschritten, dass die meisten akkubetriebenen Geräte, selbst wenn sie ordentlich Strom benötigen, mit diesem Typ versorgt werden können. Die etwas durchwachsene Geschichte der NiMH - Akkus kann daher als weitgehend abgeschlossen betrachtet werden, selbst, wenn die neue Technologie durchaus auch in der Lage ist, einige Stirnfalten hervorzurufen. Aber dazu mehr im nächsten Kapitel.



## Kapitel 8 Die Familie der Lithium - Ionen Akkus

Im Gegensatz zu den bisher behandelten Akkumulatoren wie Blei- oder Nickel - Cadmium Akkus, wo die Bezeichnung recht eindeutige Rückschlüsse auf den Aufbau zulässt, existieren bei Lithium Akkus unterschiedliche Varianten. Die Namensgebung rührt daher, dass alle diese Akkus natürlich Lithium in der einen oder anderen Form enthalten und der Ladungsaustausch innerhalb des Akkus erfolgt durch Wanderung von Lithium in ionisierter Form zwischen den Elektroden erfolgt. Die verschiedenen Varianten unterscheiden sich rein äußerlich in den technischen Daten wie z. B. der maximalen Ladespannung, ein Blick ins Datenblatt ist im Anwendungsfall daher durchaus ratsam. Wir werden in diesem Kapitel daher bei allgemeinen Themen einfach von Lixx - Akkus sprechen.

Bei der Betrachtung der elektrochemischen Spannungsreihe haben wir festgestellt, dass die von einem Element abgegebene Spannung umso höher ist, je edler bzw. unedler das Material ist. Die daraus zulässige Schlussfolgerung ist, dass die höhere Spannung entsteht, weil diese Stoffe besonders gerne und heftig reagieren. Es gab daher immer Bestrebungen, für elektrochemische Reaktionen Elemente mit möglichst hohem Redoxpotential zu verwenden. Lithium als eines dieser Elemente liefert eine Spannung von rund - 3 Volt, komplette Lithium - Zellen weisen eine Nennspannung von 3,2 bis 3,8 Volt auf und damit rund dreimal so viel wie eine NiCd - Zelle.

Wie wir schon gehört haben, ist eine Eigenheit von chemischen Reaktionen, dass sie bei höheren Temperaturen besser ablaufen. Auf der anderen Seite setzen chemische Reaktionen als Nebenprodukt häufig selbst Wärmeenergie frei. Unter ungünstigen Umständen führt das dazu, dass die Eigenerwärmung den Prozess beschleunigt, was die Abwärmemenge erhöht, wodurch wiederum der Prozess beschleunigt wird und so weiter. Man spricht in diesem Zusammenhang von „thermischer Eskalation“ oder engl. „thermal runaway“. Die heftigste Form dieses Vorgangs findet unter dem leider in letzter Zeit in die Schlagzeilen gekommenen Begriff „Supergau“ in einem Atomreaktor statt.

Gerade die für Hochenergieakkus in Frage kommenden Stoffe wie Magnesium, Natrium, Kalium, Lithium sind aufgrund ihrer Reaktionsfreudigkeit ausgesprochen leicht für thermische Eskalation zu begeistern, das ist leider der Preis für die hohe Abgabe von elektrischer Energie. Vielleicht erinnert sich der Eine oder Andere in dem Zusammenhang noch an spektakuläre Versuche aus dem Chemieunterricht.

natrium.mpeg

### [Natrium explodiert im Wasser Video - Uri1 - MyVideo Österreich](#)

Erklärung: kommt Natrium mit Wasser in Berührung, so bildet sich Wasserstoff. Die bei der Reaktion freigesetzte Hitze entzündet diesen, wodurch es zur Verpuffung kommt.

Das soll jetzt keinesfalls die Angst vor diesen Akkutypen schüren, sondern nur Verständnis dafür wecken, warum beim Umgang mit ihnen ein bisschen Sensibilität angebracht ist. Während bei „herkömmlichen“ Akkus auf Blei oder Nickelbasis aufgrund der Gutmütigkeit der verwendeten Stoffe eine Überlastung beim Laden oder Entladen kein besonderes Drama bedeutet, meist wird der Akku einfach nur unbrauchbar, kann es bei Hochenergiezellen durchaus

## Robert's Akkumulatorenkompendium

zur explosiven Freisetzung der enthaltenen Energie kommen.

Selbstverständlich setzt die Industrie alles daran, um derartige Auswirkungen durch konstruktive Maßnahmen zu verhindern, aber ein bisschen Eigenverantwortung kann nie schaden. Üblicherweise werden Lithiumakkus nahezu ausnahmslos durch eine in der Batterie angebrachte Elektronik vor unzulässigen Betriebszuständen geschützt (sogenanntes BMS Batterie Management System).

Wie der Name vermuten lässt, bestehen die Elektroden des Lixx Akkus aus verschiedenen Formen von Lithium. Der ursprüngliche Ansatz mit metallischem Lithium hat sich nicht bewährt, da es nach wenigen Zyklen durch unkontrolliertes Wachstum (Dendritenbildung) zu inneren Kurzschlüssen kam und außerdem der auf organischer Basis bestehende Elektrolyt zersetzt wurde (Akku frisst sich selber auf). Diese Vorgänge werden durch hohe Temperaturen und hohen Laderstand der Zellen beschleunigt.

Lithiumakkus der ersten Generation litten oft schon nach einem Jahr an deutlichem Kapazitätsverlust und waren nach zwei bis drei Jahren völlig unbrauchbar. Man ging deshalb dazu über, das Lithium in sogenannte Wirtsmaterialien wie beispielsweise Graphit einzulagern. Als verbreitete Ausführungen sind neben dem herkömmlichen Lithium Ionen Akku auf Graphit / Kohlenstoffbasis noch der Lithium - Titanat Akku und der Lithium - Eisenphosphat Akku (LiFePo<sub>4</sub>) zu nennen. Auf Details möchte ich hier nicht weiter eingehen, es findet sich genug zum Thema in den Literaturhinweisen. Für den Anwender ist vor allem entscheidend, dass sich die Ausführungen in der Nenn- und in der Ladespannung unterscheiden.

Weil Lithium ähnlich wie Natrium heftig mit Wasser reagiert, wir erinnern uns an das eingangs gezeigte Video, können Elektrolyte auf wässriger Basis nicht eingesetzt werden. Stattdessen kommen Lithiumsalze in wasserfreien Lösungsmitteln (Beispiel: Propylencarbonat, auch Aceton gehört zu dieser Familie) zum Einsatz.

Werden Lithium Akkus mechanisch beschädigt, kann die eindringende Luftfeuchtigkeit heftige Reaktionen auslösen (Wärmeentwicklung bis zum Brand). Die Crash - Sicherheit von Elektrofahrzeugen mit Lithium - Akkus stellt eine der noch nicht ganz gelösten Aufgaben dar, schließlich ist da doch das Material von ein paar zehntausend Handyakkus verbaut, da ist es nicht ganz wurscht, wenn es ein bisserl brandelt.

In manchen Lixx - Akkus liegt der Elektrolyt nicht flüssig, sondern als gel - artige oder feste Folie vor. Diese als Polymer bezeichnete Verbindung ist Namensgeber für den Lithium - Polymer - Akku. Vorteil dieser Ausführung ist, dass nahezu jede beliebige Bauform hergestellt werden kann.

### Praktischer Betrieb:

Im täglichen Leben ist der Umgang mit Lixx - Akkus eigentlich recht angenehm. Die Ladung erfolgt einfach mit konstanter Spannung und einem Maximalstrom, das macht die Ladetechnik grundsätzlich überschaubar und erschwinglich. Aus diesem Grund und auch, weil falsche Ladeverfahren unappetitliche Auswirkungen haben können, ist die serienmäßige Ladetechnik bei Lixx - Akkus ausreichend gut, hier muss nicht nachgebessert werden.

Die Ladung ist zu beenden, wenn der Ladestrom unter einen gewissen Wert (üblich: 3%) des Anfangsstromes gefallen ist, das kriegen die Serienlader in der Regel auch noch hin. Dauerladung schadet einem Lixx - Akku zwar nicht, da der Strom ohnehin irgendwann gegen null geht, aber es ist besser, den Akku nach Beendigung des Ladevorganges aus dem Ladegerät zu entfernen. Schon deshalb, weil es dort meist wärmer ist und Wärme ist etwas, vor dem Lixx - Akkus tunlichst zu schützen sind.

## Robert's Akkumulatorenkompendium

Was unter allen Umständen vermieden werden muss ist, den ohnehin vollen Akku sicherheitshalber nochmals „einen Schluck Strom“ zu verpassen. oder in vollem Zustand und noch dazu bei hohen Temperaturen zu lagern (Videokamera auf der Heckablage im Auto). Lixx - Akkus lagert man am besten bei Temperaturen zwischen 0 und 15°C (beispielsweise im Gemüsefach des Kühlschranks) und etwa halbvoll geladen.

Der Gebrauch - also die Entladung - von Nixx - Akkus sollte weder bei zu hohen als auch zu tiefen Temperaturen erfolgen, am liebsten haben sie es bei Temperaturen, wo Mensch sich auch wohlfühlt. Generell ist es der Lebensdauer von Lixx Akkus zuträglich, wenn die Zyklen „flach“ gehalten werden, also die Entladung bei spätestens 30% Restladung beendet wird und der Akku auch nicht randvoll gepumpt wird.

Würden wir beispielsweise auf einen 5 Ah Akku nur 4 Ah draufschreiben und die Lade- und Entladeelektronik so einstellen, dass auch nur diese 4 Ah genutzt werden, könnte das die Zyklenzahl vervielfachen. Gelegentlich wird dieser Trick - vor allem bei Laptopakkus - schon angewandt. Alleine die „Geiz ist geil“ - Mentalität, in noch ein kleineres Kästchen noch mehr Strom einzufüllen, vereitelt die flächendeckende Verbreitung. Außerdem ist es der Industrie gar nicht so unangenehm, wenn Sie des Öfteren einen neuen Akku kaufen (müssen).

Vor allem, wenn Sie selbstkonfektionierte Akkupacks verwenden, ist noch ein ganz wesentlicher Punkt anzusprechen: Wenn Akkuzellen in Serie geschaltet sind, fließt logischerweise durch alle Zellen genau der gleiche Strom, sowohl beim Laden als auch beim Entladen. Da auch bei präzisester Fertigung alle Zellen nie ganz gleich sind, gibt es immer zumindest ein schwächstes Glied in der Kette. Oft kommt es im Betrieb zu Ungleichgewicht, weil im Verbund eine ungünstige Stelle ist, wo es etwas wärmer ist. Die betroffene Zelle ist beim Laden und Entladen benachteiligt und wird mehr beansprucht, was sie zunehmend schwächt. Sie ahnen, worauf ich hinaus will: Diese Zelle wird in Folge vermehrt tiefentladen und / oder überladen, was letztlich zum Ausfall des gesamten Akkupacks führt.

In Wirklichkeit tritt dieses Problem bei allen Batterien auf, egal welcher Bauart sie sind. Bei „herkömmlichen“ Akkus auf Blei- oder Nickelbasis können die Unterschiede zwischen den Zellen jedoch durch gelegentliche Ausgleichladungen egalisiert werden. Es werden dann halt die besseren Zellen ein wenig überladen, bis die schwächeren wieder auf dem gleichen Stand sind.

Bei Lixx - Akkus ist das nicht möglich, da die eine Überladung überhaupt nicht vertragen. Einzige Lösung wäre es, das Akkupack aufzutrennen und alle Zellen einzeln zu laden, ein hoher schaltungs- und ladetechnischer Aufwand, der nur sehr selten zur Anwendung kommt.

Lixx - Batterien sind deshalb serienmäßig mit einem Batterie - Management - System ausgestattet, welches sogenannte „Balancer“ enthält. Diese leiten den Ladestrom um die bereits vollen Zellen herum, damit die sich Nachkömmlinge in Ruhe anfuttern können, ohne dass die von der schnellen Truppe überladen werden. Die Balancer funktionieren gegebenenfalls auch in umgekehrter Richtung und verhindern damit, dass eine schwächelnde Zelle bereits tiefentladen wird, während die Gesamtspannung des Packs einen noch scheinbar belastbaren Akku vorgaukelt.

Wenn Sie also selber Lixx - Akkupacks konfektionieren, denken Sie daran, beim Laden unbedingt Balancer zu verwenden und beim Entladen zumindest rechtzeitig Schluss zu machen, besser wäre es, hier ebenfalls eine Schutzschaltung einzusetzen.

## Kapitel 9: Nachsatz

Abschließend ist zu sagen, dass dieses Kompendium derzeit nur ein Auszug der gebräuchlichsten Batteriesysteme darstellt, es gibt noch etliche andere Kombinationen, die sich aus verschiedenen Gründen nicht oder noch nicht durchgesetzt haben. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu nennen wäre beispielsweise die Natrium - Schwefel Batterie, die Natrium - Nickel Chlorid Batterie („Zebra Batterie“) oder die Zink - Brom Batterie.

Vor allem, weil der Bedarf an mobiler Elektrizität noch lange nicht auf dem Höhepunkt angelangt ist, werden wir noch etliche tolle Entwicklungen mitbegleiten dürfen. Es bleibt also weiterhin spannend und ich werde das Manuskript gegebenenfalls entsprechend erweitern.

Ein Satz noch in eigener Sache: Die meisten Weisheiten, die ich hier zum Besten gegeben habe, stammen aus eigenen, langjährigen Erfahrungen, ergänzt mit zusammengetragenem Wissen von fachkundigen Freunden, aus Fachliteratur und dem Internet. Bei letzterem möchte ich aber zur Vorsicht mahnen, nicht alles, was dort zu lesen ist, ist zwangsläufig auch richtig. Vielfach wird hemmungslos abgeschrieben und nur, weil sich der Unfug dann in vielen Beiträgen findet, wird er nicht besser.

Somit wünsche ich Ihnen allzeit genügend Strom auf Ihren Wegen und Ihren Akkus ein langes und hochkapazitives Leben.

Herzlichst, Ihr Robert Schillinger