

# 100% volle Akkus! Was bedeutet das?

G. Wiesspeiner

## **EINLEITUNG**

Im Betrieb und beim Laden von Akkus spielt der Zustand des 100% vollen Akkus eine entscheidende Rolle. Logischerweise sind unvollständige Aufladung und Überladung zu vermeiden. Dabei wird in erster Linie immer wieder die Akkuspannung ins Spiel gebracht, obwohl sie zur Charakterisierung des Vollzustandes nahezu ungeeignet ist. Beim CCS-Ladeverfahren ist es in einzigartiger Weise gelungen, durch komplexe Berechnungen aus der Wechselstromtechnik, den Zustand des 100% vollen Akkus mit höchster Präzision festzustellen. Auch mit anderen Lademethoden wird versprochen Akkus 100% voll zu laden und schädliche Überladungen zu vermeiden. Da mit der gleichen Aussage nicht immer das gleiche gemeint ist, soll im Folgenden den Fragen nachgegangen werden, was heißt eigentlich 100% voll und wie kann man diesen 100% igen Ladezustand feststellen?

Dieser Beitrag zeigt daher insbesondere auf,

- welche Probleme bei nicht 100% vollen Akkus entstehen,
- wie man die Kapazität von Akkus feststellt , und
- welche Einflüsse beim Laden und Entladen unbedingt zu berücksichtigen sind

## ***Nachteile und Probleme bei nicht vollen Akkus:***

### **Unvollständige Aufladung:**

Bei unvollständiger Aufladung ist nur eine geringere Leistung verfügbar, der erforderliche Strom kann nicht mehr geliefert werden, kommt es zu größerem Spannungsabfall, die Unterspannungsgrenze wird frühzeitig erreicht, mit dem Resultat der kurzen Betriebszeit, Umpolung schwacher Zellen, Entformierung, und bei Bleiakkus zusätzlich Elektrolytveränderung und Frostempfindlichkeit.



### **Überladung:**

Durch Überladung entstehen Kapazitäts- und Lebensdauerverlust bis zum Frühausfall, durch Erwärmung Korrosion der Elektroden und Elektrodenvergiftung, Gasung, Elektrolytzersetzung, Schlamm bildung, Dendritenbildung, Kurzschluß, Memory Effekt, Überhitzung, Beschädigung der Isolierung bzw. Dichtungen, Leckage, Elektrolytverlust, Austrocknung.



## **Anforderungen an die Stromversorgung**

Den Anwender interessieren die genannten Probleme nicht im Detail. Ihm kommt es vor Allem darauf an, wie gut und wie lange sein Gerät voll funktioniert. Zusätzlich erwartet er möglichst kleine und leichte Akkus, kurze Ladezeiten, lange Akku-Lebensdauer und einfache Handhabung. Nur wenn der Akku exakt zu 100% vollgeladen ist, werden diese Anforderungen in optimaler Weise erfüllt.

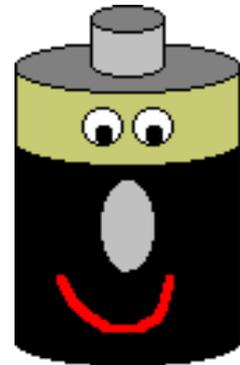
## **Begriffsdefinitionen: Voll, Ladung, Kapazität**

Im Prinzip interessiert also den Anwender vor allem die Energie, die in dem Akku steckt bzw. die Arbeit, die er damit verrichten kann. Allen Unsicherheiten dabei zum Trotz, steht die maximale Energie und Leistungsfähigkeit nur dann zur Verfügung, wenn der Akku voll geladen ist.

### **100% Voll**

Voll bedeutet in diesem Zusammenhang, daß die Akkukapazität vollkommen ausgeschöpft wird, der Akku also weder unvollständig geladen, noch überladen wird. 100% voll heißt, daß die Abweichungen weniger als 1% betragen.

Bevor wir aber feststellen können, wann bzw. ob ein Akku voll geladen ist, sollten wir wissen wieviel Ladung er überhaupt aufnehmen, bzw. abgeben kann.



### **Ladung:**

In der Elektrotechnik versteht man unter Ladung den Überschuß (neg.) oder Mangel (pos.) an geladenen Elementarteilchen (Elektronen, Ionen). Die Größe der Ladung, die Ladungsmenge, wird durch das Coulomb (Cb) definiert.

Ein Elektron besitzt eine Elementarladung ( $e_0$ ) von:  $e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$

oder

$$6.241.453.110.147.920.519 e_0 = 1 \text{ Cb.}$$

Weil fließende Ladungen elektrischen Strom ergeben, ist auch die Durchflußgeschwindigkeit von Ladungen (Coulomb/Zeit) direkt an das Ampere gekoppelt.

$$1\text{A} = 1 \text{ Cb/s.}$$

Den Übergang zur galvanisch im Akku gespeicherten Ladung beschreiben die beiden Faraday'schen Gesetze. Sie definieren unabhängig vom chemischen Mechanismus den quantitativen Zusammenhang zwischen transportierter elektrischer Ladung (Cb) und abgeschiedener Stoffmasse (gespeicherter Ladung) durch das elektrochemische Äquivalent.

## Die Faraday'schen Gesetze:

- 1) Das elektrochemische Äquivalent gibt an, wieviel Gramm Ionen pro Coulomb abgeschieden werden. (z.Bsp.: 1,118mgAg/Cb)
- 2) Die elektrochemischen Äquivalente verhalten sich wie die Äquivalentgewichte der Stoffe. Jedes Grammäquivalent entspricht der Ladungsmenge von 96486,7 Cb  
(Faraday Konstante  $F = 96486,7 \text{ Cb/g}$ ; Äquivalentgewicht = Atomgewicht/Wertigkeit)

Weil diese Gesetzmäßigkeiten sich gut für theoretische Berechnungen und Absolutmessungen eignen, diente seinerzeit diese Definition der Ladung zur Normung der Stromstärke:

*1 Ampere ist jene Strommenge, die während 1 Sekunde 1,118mg Silber abscheidet.*

## Coulomb und Ampere-Stunden [Ah]:

In der Batterie- und Ladetechnik ist das Coulomb ungewöhnlich. Aus der Umkehr der Formel  $1 \text{ Cb} = 1 \text{ A} * 1 \text{ s}$  kommt man jedoch ganz leicht auf die gebräuchliche Einheit für die Ladung, die "Amperestunde" [Ah].

$$1 \text{ Ah} = 1 \text{ A} * 30 * 30 \text{ s} = 3600 \text{ As} = 3600 \text{ Cb}.$$

Die Faraday'schen Gesetze zeigen uns also den Zusammenhang zwischen Ah und elektrochemisch gespeicherter Ladung im Akku. Aus ihnen läßt sich das spez. Gewicht (g/Ah) und Volumen (l/Ah) des Elektroden-Materials vorausbestimmen. Sie geben uns jedoch keinen Aufschluß über die volle Ladung eines Akkus.

## Kapazität:

Kapazität bedeutet Aufnahmefähigkeit, Fassungsvermögen.

Während die Volumenskapazität von Gefäßen relativ einfach zu bestimmen ist, unterliegt die Ladungs-Kapazität eines Akkus ähnlichen Problemen wie die Leistungskapazität eines Menschen. So wie der Mensch, muß der Akku konditioniert werden, er kann ermüden, bekommt Langzeitschäden, läßt sich regenerieren und darf nicht überbeansprucht werden. Die Kapazität kann zeitlich großen Schwankungen unterliegen und hängt von vielen äußeren Faktoren und Vorbedingungen ab.

Der Akku ist eben nicht ein einfacher Tank der mit dem Treibstoff "Ladung" gefüllt wird. Die Ladung wird nicht eingefüllt, sondern an der Oberfläche der Elektroden gespeichert. Anders als beim Kondensator, der auch Ladung speichert, diese aber nur trägt, findet beim Akku in Wechselwirkung mit dem Elektrolyten eine Materialumwandlung der Elektroden statt. Die elektrochemische Veränderung des Materials bewirkt auch den Aufbau eines Gegenfeldes (Polarisation), wodurch der Austausch der Ladungsträger (Ionen) behindert und schließlich beendet wird. Die Schichtdicke der Ladung ist damit begrenzt.

Will man, z.Bsp. durch Erhöhung der Ladespannung, eine weitere Aufladung erzwingen, dann verhindert trotzdem das Gegenpotential an der Elektrode (Dipol-Doppelschicht), daß das Bindungsenergieniveau überschritten wird, und statt zum Austausch von (Ladungs-) Ionen kommt es zur Zersetzung des Elektrolyten (Elektrolyse). An der Kathode (Minuspol) entsteht Wasserstoff und Sauerstoff an der Anode (+).

Die Kapazität eines Akkus zum galvanischen Speichern von Ladung, hängt also in erster Linie von der aktiven Elektrodenoberfläche ab. Die Elektrodenfläche ist durch die Konstruktion und den Aufbau des Akkus (Form, poröse bzw. gesinterte Materialien) bestimmt. Als Teil des

Herstellungsprozesses muß die Elektrodenoberfläche durch sogenanntes Konditionieren oder Formieren aktiviert werden.

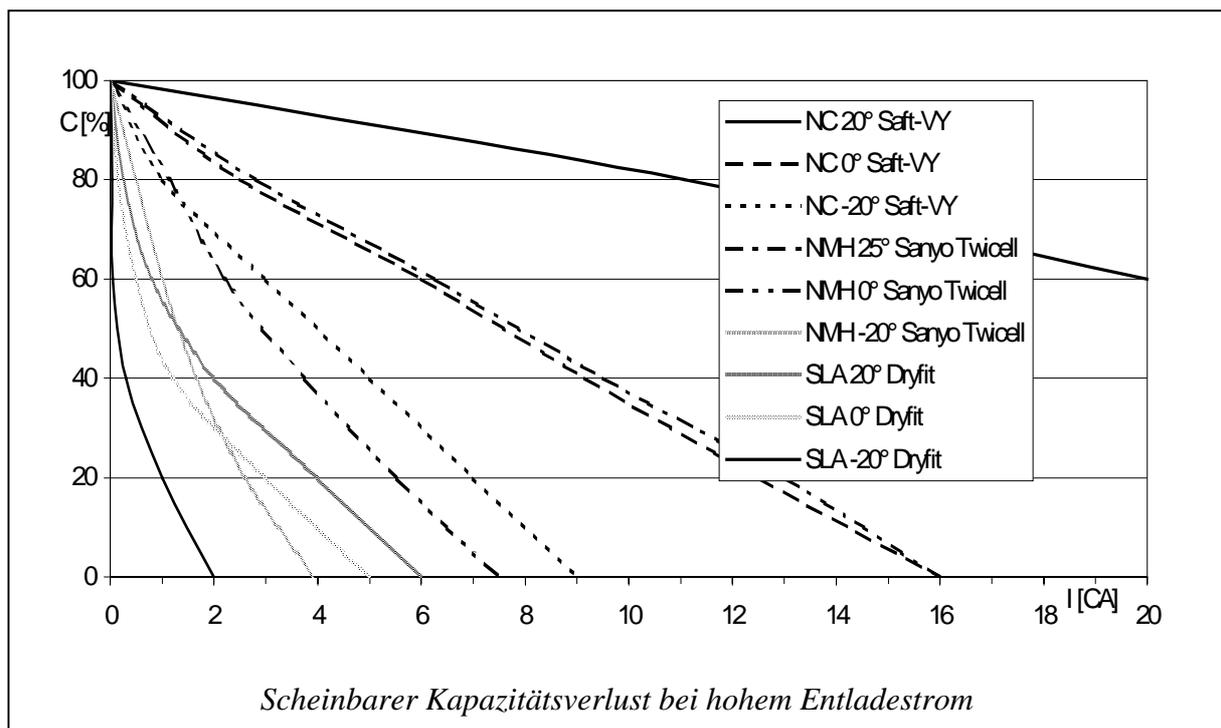
Entsprechend der verwendeten Technologie, kann also eine bestimmte Kapazität erreicht werden.

### Nennkapazität:

Unter Nennkapazität versteht man die vom Hersteller angegebene (erreichbare) Kapazität zum Zeitpunkt der Auslieferung.. Sie gilt nur innerhalb der zugehörigen Prüf- und Einsatzbedingungen (meist bei 20° und 5 bzw. 10-stündigem Dauer-Entladestrom). Auf Grund von Exemplarstreuungen kann die tatsächliche Kapazität dabei zwischen 90...140% vom angegebenen Wert liegen (siehe jeweils techn. Spezifikationen und Datenblattangaben des Herstellers).

### Entladekapazität

Zur Bestimmung der Kapazität beim Entladen wird der Akku bei Raumtemperatur mit konstantem Strom oder mit konstantem Widerstand bis zu seiner Entladeschlußspannung entladen. Die Entladeschlußspannung wird (Datenblattangabe) etwa 20-25% unter der Nennspannung festgelegt. Der genaue Wert dieser Schwelle hat meist geringeren Einfluß auf das Ergebnis als die Größe des Entladestromes. Die Nennkapazitäten von Ni-Zellen werden meist für 5-stündigen Entladestrom angegeben, während für Blei Zellen 10h typisch sind. Niedrigere Entladeströme (also längere Entladezeiten) erreichen die Entladeschlußspannung später (führen also scheinbar zu einer Kapazitätssteigerung), wogegen bei höheren Entladeströmen (kürzeren Entladezeiten) kleinere Kapazitäten ermittelt werden. So liegt z.Bsp. die verfügbare Kapazität von Bleiakkus bei 1-stündigem Entladestrom nur mehr bei ca. 40% von der 10h-Nennkapazität.

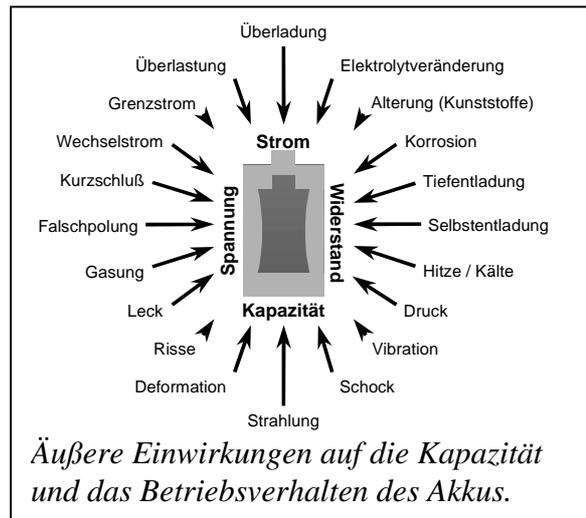


## Kapazitätsverluste ("Shrinking Tank")

Wie bereits erwähnt kann die tatsächliche Kapazität in relativ weiten Grenzen schwanken. Zusätzlich nimmt sie durch Alterung und Verschleiß ab (shrinking Tank).

Durch Tiefentladung kann die aktive Schicht deaktiviert (entformiert) werden.

Durch Überladung kann das aktive Material ebenfalls verringert werden, und zwar durch Zerstörung (z.B. Korrosion), Vergiftung (z.B., "Sulfatierung"), Passivierung (z.B. Memory Effekt), Kurzschluß (z.B. Dendriten Bildung), Elektrolytzersetzung (z.B. Austrocknung), u.a.m..



## Momentane individuelle Kapazität

Die bisherigen Ausführungen zeigen, daß ein und derselbe Akku abhängig von Konditionierung, Vorbedingung, Alterung, Behandlung, Umgebungsbedingungen unterschiedliche Kapazitäten aufweisen kann. Man muß sich also mit dem Begriff der "Individuellen Kapazität" bzw. "momentanen Kapazität" anfreunden. Dabei stellt sich natürlich erst recht die Frage: Wie kann man beim Laden feststellen, daß diese momentane Kapazität wirklich ganz voll geladen und auch nicht überladen wird?



## Ladekapazität: Akkus 100% voll laden

Den größten Einfluß auf die Akku-Leistung, Verfügbarkeit und Lebensdauer hat das Ladeverfahren. Während beim Entladen nicht mehr als die gespeicherte Energie entnommen werden kann, muß umgekehrt die entnommene Ladung durch eine mindestens gleiche Energiemenge nachgeladen werden. Zusätzlich müssen auch die Ladeverluste ersetzt werden. Durch ungeeignete Voll-Detektions-Methoden ist es möglich, den Voll Zustand zu verfehlen und den Akku exzessiv zu überladen. Die meisten Schäden werden daher meist durch ungeeignete Lademethoden, insbesondere durch Überladen, verursacht (Memory, Sulfatierung, Dendriten, Gasung). Das Hauptproblem beim Laden betrifft also weniger die Stromform, als die Erkennung des 100% vollen Akkus und die Abschaltung des Ladestroms zu diesem Zeitpunkt. Vor allem bei hohen Ladeströmen führen Fehler rasch zu einer merklichen Verringerung der Akku-Lebensdauer (Kapazitätsrückgang, Ausfall).

Die verschiedenen Lademethoden versuchen nun auf unterschiedliche Weise den Akku voll zu laden.

## Konstantspannungsmethode und Ladeschlußspannung:

Vor allem bei Blei- und Li-Ion Akkus wird hauptsächlich mit stromlimitierter Konstantspannung geladen und die Ladeschlußspannung als "voll" Indikator verwendet. Allerdings ist der genaue Wert von vielen Einflüssen abhängig. Nach der Nernst Gleichung errechnet sich die (Leerlauf-) Spannung (E) einer elektrochemischen Zelle aus der EMK der Spannungsreihe ( $E_0$ ), der Temperatur (T), der Elektrolytaktivitäten ( $a_i$ ), der Gaskonstanten (R) und Faradaykonstanten (F).

$$E = E_0 - RT/nF + \ln(a_x/a_y)$$

Abhängig von der Elektrolytzusammensetzung liegt die Leerlaufspannung beim Blei Akku zwischen 1V9@1,05 bis 2V15@1,3 spezifischer Dichte H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Dies entspricht einer Spannungs-Schwankungsbreite von 12%. Auch das Aufladen eines Bleiakkus erhöht die Säuredichte. Vom leeren zum vollem Bleiakku nimmt die Dichte (im o.a. Bereich von 1,05 bis 1,35) um etwa 0,12 zu, was einer Spannungszunahme von etwa 220mV entspricht, oder nur 5% des Nennwertes. Der bekannte, wesentlich höhere Spannungsanstieg des Bleiakkus beim Laden auf ca. 2V5 pro Zelle (+25%) kommt hauptsächlich durch die Polarisation zustande. Längerfristig kommt es dabei zur Einlagerung von Schwefel (Sulfatierung).

Eine weitere Einflußgröße ist die Temperatur. Der Temperaturkoeffizient (TK) ist ebenfalls von der Elektrolytdichte abhängig und liegt zwischen  $-0,05 < TK < 0,3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

Außerdem darf man nicht vergessen, daß durch Fertigungstoleranzen bedingte Materialunterschiede die EMK selbst beeinflussen.

Bei Untersuchung an 30 Blei-Gel Akkus (Sonnenschein), die alle im gleichen Gerätetyp eingesetzt wurden, konnte festgestellt werden, daß die individuelle Spannungsgrenze für den 100%-Voll-Zustand je nach Akku im Bereich zwischen 9V5 und 10V8 lag!

Allerdings bewirken vor allem im "Standby" oder "Backup" Betrieb (Notstromversorgungen, USV), wenn der Akku immer aufgeladen sein muß, bereits wenige 10mV Abweichung eine Schädigung der Zelle.

Bei Ni-Zellen (NiCd, NiMH) ändert sich die Elektrolytdichte nicht und die Ladekurve verläuft wesentlich flacher. Die Ladeschlußspannung liegt in einem wesentlich größerem Streubereich. Unter Konstantstrombedingungen zwischen 1V38 bis 1V6 und in Extremfällen bis über 2V!

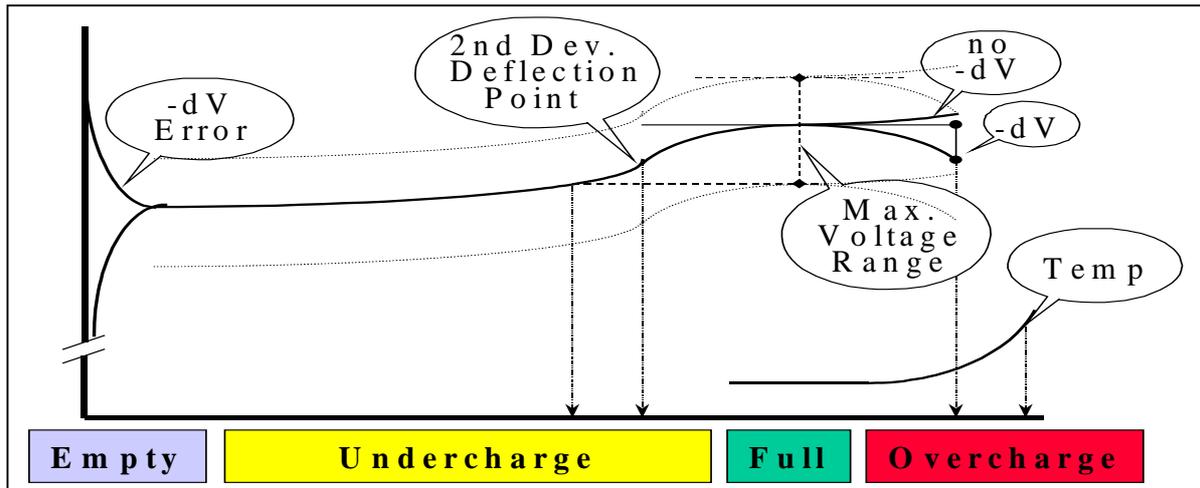
In der Praxis ist die Spannung zur Erkennung des 100% Voll-Zustandes nicht geeignet.
--

Diese Aussage steht scheinbar im Widerspruch zur gängigen Praxis. So werden ja auch Li-Akkus auf konstante Spannung aufgeladen. Der Sollwert wird sogar mit sehr hoher Genauigkeit (<0,5%) angegeben. Allerdings handelt es sich nicht wirklich um den Voll Zustand des Akkus, sondern für einen Grenzwert, bei dem aus dem Li-Salz metallisches Lithium austritt (irreversibler Schaden), und außerdem unterliegen Li-Akkus ebenfalls der Temperatur.

## -Delta V- Methode

Neben ihrer Unsicherheit bzw. Ungenauigkeit hat die Konstantspannungsmethode noch einen weiteren entscheidenden Nachteil: Der Strom nimmt zum Ladeende bis auf Null ab. Dadurch entstehen sehr lange Ladezeiten. Bei Ladung mit Konstantstrom wird der Akku schneller voll und die Klemmspannung steigt rasch an. Danach folgt durch Übertemperatur und innere Druckzunahme ein Abfall der Klemmspannung (-Delta V). Dieser Effekt tritt nur bei den gasdichten Ni-Zellen auf. Eine Überladung ist die Voraussetzung dafür, daß er entstehen kann.

Mit der -Delta V- Methode wird der Akku überladen.
--



### Temperaturmethode

Wenn eine volle Zelle weiter geladen wird, dann wird die ganze zugeführte Energie in Verlustwärme umgesetzt. Der Temperaturanstieg ist Ausdruck der Überladung. Wegen der Wärmekapazität des Akkus, fällt diese Überladung mit Verspätung, dafür aber um so kräftiger aus, je höher der Ladestrom ist.

Vorteil: Gilt nicht nur für die Ni-Zellen, sondern für alle Akku-Technologien.

Nachteil: Verwendung und Platzierung des Temperatursensors

Mit der Temperaturmethode wird der Akku überladen.

### Nenn-Kapazität auffüllen:

Einen leeren Akku könnte man dadurch Akku "voll" laden, indem man ihn mit seiner (Nenn-) Kapazität wieder auffüllt. Voraussetzung ist dabei natürlich, daß der Akku leer ist und auch wirklich Nennkapazität hat. Ansonsten (normalerweise) wird er nicht voll geladen, sondern voll überladen.

Nach der gebräuchlichen  $14h * 0,1CA$  Regel (=140%C) erhöht man die Über-Ladung zur "Sicherheit" um weitere 40%.

Nachladen mit Nennkapazität ignoriert den vollen Akku.

### Ladungszähler, Gas Gauge, Charge Balance, Smart Battery

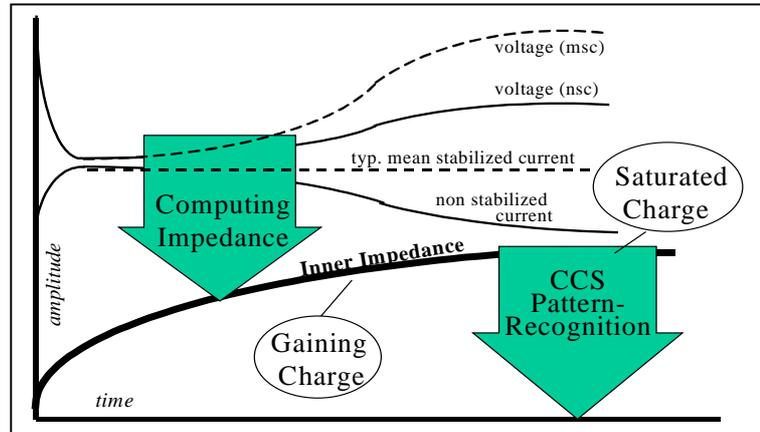
Eingangs haben wir festgestellt, daß beim Akku die galvanisch gespeicherte Ladung direkt einer Stromzeitfläche [Ah] entspricht. Mit einem Ladungszähler könnte man die Entlademenge messen und dann durch eine entsprechende Lademenge ersetzen. Wie bei allen relativen Zählverfahren ist hier der Voll-Ladezustand überhaupt nicht charakterisiert und daher völlig unbestimmt. Geringe Meßfehler führen in Summe zu einem völlig falschen Ergebnis. Ein nachweislich voller Akku zeigt an, er wäre leer und wird hitzig überladen, während andererseits ein leerer Akku nicht geladen werden will, weil er scheinbar voll ist. Dabei fällt einem auf, wie sehr so "Smarte Typen" nerven können. In der Praxis entstehen die Fehler aus Unkenntnis der wahren Kapazität sowie aus Nullpunktsdriften oder falschen Einschätzungen der Selbstentladung oder der Ladeverluste.

Den Charge Balance Methoden fehlt der Bezug zum vollen Akku.

## CCS-Verfahren

Das CCS Verfahren zielt darauf ab, zu erkennen wann der Akku exakt 100% voll ist, und zwar unabhängig von Kapazität, (Vor-) Ladezustand, Stromaufnahmevermögen, Ladeschlussspannung, Alter, Vorgeschichte oder Umgebungsbedingungen.

Das patentierte CCS Verfahren (Computed Charge System) verwendet ein elektrisches Modell zur Bestimmung der inneren Impedanz. Die Innere Impedanz ist nicht zu verwechseln mit dem Akku-Innenwiderstand oder der Klemmen-Impedanz, sondern betrifft den Anteil zwischen Elektrode und Elektrolyt. Das CCS-Verfahren basiert daher auf Vorgängen, die direkt am Übergang von Strom zu Ladung ermittelt werden. Der Abschaltzeitpunkt wird durch



digitale Musteranalyse aus dem Verlauf der inneren Impedanz erkannt. CCS erkennt also, wie lange die elektrisch zugeführte Ladung eine galvanische Umwandlung bewirkt und ab wann nur mehr "Verlustleistung" zugeführt wird.

Entscheidend sind nicht vorgegebene Werte, sondern die zeitliche Reaktion des Verhaltens während der Ladung. Daher ist CCS ein Ladeverfahren, welches sich in einzigartiger Weise nicht nur dem jeweiligen Akkuzustand, sondern auch an unterschiedliche Akkutechnologien anpassen kann. So konnte gezeigt werden, daß man mit dem CCS9620 NiCd, NiMH, SLA und LiIon Akkus laden kann, wobei keinerlei Änderungen an der Schaltung bzw. am Ladegerät vorgenommen werden müssen. [Ladecontroller made in Austria]

Die hohe Präzision mit der die Erkennung des vollen Akkus zeigen folgende Ergebnisse:

- Der Abschaltzeitpunkt wurde bei 10 Ladevorgängen (Panasonic SLA) mit einer Genauigkeit von insgesamt 4% ermittelt. Pro Ladevorgang bedeutet das eine Genauigkeit von 0,4%!
- Ladet man einen vollgeladenen Akku nach, so reduziert sich die Nachlademenge auf unter 0,3%
- Die eingeladene Kapazität weicht meist nicht mehr als 1-2% (Ladeverluste) von der entnehmbaren Kapazität ab.
- Auch durch erzwungenes weiteres Aufladen kann nicht mehr Ladung entnommen werden als bei der ersten Abschaltung.
- Der Akku wird durch Überladung nicht geschädigt, wodurch sich eine sehr hohe Lebensdauer ergibt (>5000 Ladezyklen).
- 

Das CCS Verfahren kann Akkus 100% voll laden

AUTOR: G. Wiesspeiner, Tel. +43-316-873 7392, email: WP@BMT.tu-graz.ac.at  
Institut für Elektro- und Biomedizinische Technik, TU-Graz, Inffeldgasse 18, A-8010 Graz  
Ludwig Boltzmann Institut für Technische Lebenshilfen

CCS-INFO: =BTI= Büro für Technologie und Innovation, Rudolfstrasse 14, A8010 Graz,  
Tel. +43-316-326 031 FAX +43-316-381 808, email: info@bticcs.com  
INTERNET: <http://www.bticcs.com>

LITERATUR: AUF ANFRAGE BEIM AUTOR