

Professionelle Akku-Ladetechnik

Wenn Akkus schon nach kurzer Gebrauchsdauer spürbar an Kapazität verlieren, dann liegt das meist an Fehlern beim Ladevorgang. Mit sogenannten intelligenten Ladegeräten läßt sich die Lebensdauer wesentlich verlängern. Verschiedene Verfahren stehen im Wettbewerb.

Wie lade ich meinen Akku richtig? Darüber sind in den letzten Jahren zwischen Fachleuten heftige Diskussionen entbrannt. Einig sind sich alle nur in einem Detail: Es soll schnell gehen. Der Anwender will nicht mehr zwölf bis 14 Stunden warten, sondern möchte sein Akku-betriebenes Gerät spätestens nach einer Stunde wieder benutzen. Gleichzeitig soll der Akku geschont werden, damit er lange hält. Die meisten heute noch verwendeten Ladegeräte überladen die Zellen und verkürzen so deren Lebensdauer. Meist ist damit nach einigen hundert Lade-Entlade-Zyklen die Kapazität so weit verringert, daß ein weiterer Betrieb des Akkus keinen Sinn mehr macht. Kaum ein Anwender weiß, daß Akkus mehrere tausend Zyklen erreichen können, wenn man sie mit entsprechendem Sachverstand behandelt.

Probleme bei der Lebensdauer von Akkus entstehen vor allem beim Schnellladen mit Hochstrom. Den einstigen Standard-Ladestrom von zehn Prozent der Nennkapazität (0,1 C) haben die Nickel-Cadmium-Akkus (NiCd) auch über die Vollladung hinaus noch einigermaßen verkraftet, aber höhere Ströme nehmen sie übel. Sobald die elektrochemische Reaktion an den Elektroden abgeschlossen ist, wird die hineingesteckte Energie nur noch in Wärme umgesetzt. Zu hohe Temperatur nagt aber an der Speicherkapazität. Man muß also den Schnelladestrom genau im richtigen Moment stoppen.

Es kamen Ladegeräte auf, die nach einer bestimmten Zeit abschalteten. Aus technischer Sicht ist das Problem damit im Grunde aber nicht gelöst. Der Grund: Diese Akkulader passen immer nur zu einer ganz bestimmten Zellenkapazität; größere Zellen werden nicht voll, kleinere und teilentladene werden überladen. Die Folge ist eine Flut von früh ausgefallenen Akkus, von unachtsamen Normalverbrauchern

häufig in den Hausmüll geworfen – wo sie mit rund 20 Prozent Gewichtsanteil Cadmium regelrechte Giftbomben sind. Nicht viel besser sind Ladegeräte, die einen Akku vor dem Auf-

merklich erhöht. Technisch machbar ist das aber nur bei Akkupacks mit eingebautem Temperaturfühler (NTC – Negative Temperature Coefficient, Heißleiter). Einzelzellen bleiben bei dieser Lösung unberücksichtigt und so hat dieses Verfahren wenig Verbreitung gefunden.

Es gibt aber einen Weg, die Temperatur der Zelle indirekt ohne NTC zu erfassen: über die Zellenspannung. Sie hat bei NiCd-Akkus den in Bild 1 gezeigten charakteristischen Verlauf: Zu Beginn des Ladevorgangs steigt sie sehr langsam an; wenn die Zelle dann annähernd voll ist, plötzlich steiler und erreicht ein Maximum.

Von hier an erzeugt der hineinfließende Strom nur noch Wärme. Wegen des negativen Temperaturkoeffizienten fällt die Spannung dadurch wieder geringfügig ab. Genau dieser Effekt läßt sich ausnutzen, um den Schnelladestrom abzuschalten. Danach läßt man meist noch einen sehr niedrigen Strom weiterfließen (typisch 2,5 Prozent der Nennkapazität, 0,025C), um der Selbstentladung ent-

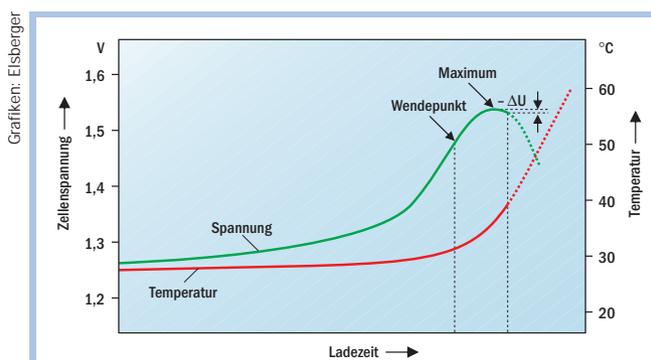


Bild 1: Typischer Spannungs- und Temperaturverlauf beim Laden von NiCd-Akkus: Kurz vor der Vollladung steigt die Spannung beschleunigt an, danach fällt sie wieder etwas ab. NiMH-Akkus verhalten sich ähnlich, aber mit weniger ausgeprägtem Buckel

laden erst ganz entladen. Zwar verhindert das den sogenannten Memory-Effekt – das Abnehmen der Speicherkapazität, wenn Zellen häufig nur teilweise entladen und dann wieder aufgeladen werden – die thermischen Probleme beispielsweise bleiben jedoch auch hier ungelöst.

Den Ladevorgang rechtzeitig stoppen

Weil nach Abschluß der Vollladung die Temperatur der Zelle ansteigt, bietet es sich an, diese als Kriterium zum Abschalten zu verwenden. Noch sicherer als der absolute Wert der Temperatur ist ihre Anstiegsgeschwindigkeit (dT/dt), die sich am Punkt der Vollladung

gegenzuwirken; damit kann die Zelle beliebig lange im Ladegerät verbleiben, ohne Schaden zu nehmen.

Dieses sogenannte $-(\Delta)U$ -Verfahren eignet sich nicht nur für Nickel-Cadmium-Akkus, sondern auch für die erst vor wenigen Jahren auf den Markt gekommenen Nickel-Metallhydrid-Akkus (NiMH), die 50 bis 100 Prozent mehr Energie speichern. Die Spannungslage ist die gleiche wie bei NiCd, deshalb kann man sie direkt austauschen. Bei Handys und Laptop-Rechnern haben sich die NiMH-Akkus schon weitgehend durchgesetzt, die NiCd-Typen sind auf dem Rückzug.

Leider sind die NiMH-Energiespeicher in vieler Hinsicht empfindlich. Vor allem Überladen nehmen sie sehr übel. Nach der Vollladung

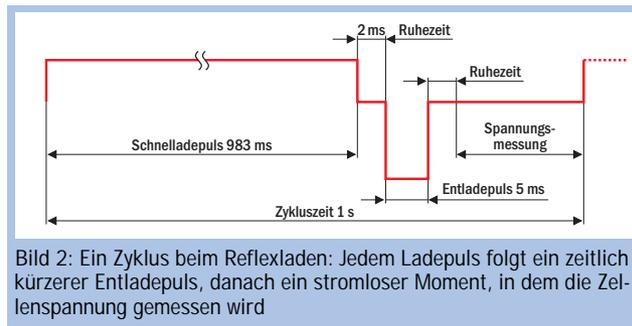
ist ein Strom von 0,1 C schon schädlich. Die theoretisch mögliche lange Lebensdauer ist nur zu erreichen, wenn der Strom genau im richtigen Moment heruntergeschaltet wird, insbesondere bei hohem Schnelladestrom. Der sogenannte Volllade-

Buckel auf der Kurve in Bild 1 ist bei NiMH schwächer ausgeprägt, er beträgt nur wenige Millivolt. Bei schwachen Ladeströmen verschwindet er ganz. Das heißt, NiMH-Akkus brauchen unbedingt einen hohen Schnelladestrom, damit der Volladezustand überhaupt erkannt werden kann. Doch auch für den Fall, daß der Abschaltzeitpunkt richtig bestimmt wird, hat das Verfahren einen Nachteil. Die Abschaltung wird immer erst dann ausgelöst, nachdem sich die Zelle bereits erwärmt hat. So wurde nach verbesserten Ladeverfahren gesucht, die noch früher von hohem auf niedrigen Ladestrom umschalten – bevor die Erwärmung der Zelle beginnt.

Temperaturerhöhung im Akku ausschließen

Ein geeignetes Kriterium für die Unterbrechung des Ladestromes ist die zweite Ableitung der Spannungskurve (d^2U/dt^2 -Verfahren). Hier wird die Umschaltung bereits am Wendepunkt ausgelöst, wo die Steigung eben wieder abzunehmen beginnt – zeitlich vor dem Maximum (Bild 1). Damit ist die Zelle aber noch nicht ganz voll. Zum Volladen braucht sie für eine begrenzte Zeit noch eine Zusatzladung mit einem verminderten Strom. Geeignet sind 0,1 C für ein bis zwei Stunden, danach wird auf einen ganz niedrigen Wert, beispielsweise 0,025 C, heruntergeschaltet. Diesen Wert vertragen auch NiMH-Akkus beliebig lange. Häufig läßt man diesen Strom pulsweise fließen – mit relativ hohem Spitzenwert, aber sehr langen Pausen dazwischen, das wirkt dem Memory-Effekt entgegen.

Ein anderes Prinzip ist das sogenannte Reflexladen, erfunden von der US-Firma Christie Electric. Es lädt NiCd- und NiMH-Akkus mit gepulsten Strömen, wobei auf jeden Ladestrom-Puls ein kürzerer Puls in Entladerichtung folgt. Dies wirkt der Gasbildung in der Zelle entgegen und erzeugt weniger Wärme und Überdruck, auch verhindert es den Memory-Effekt. Ein Zyklus dauert zirka eine Sekunde, Bild 2 zeigt ihn im Detail. Auf den



Entladepuls folgt eine Pause, in der sich die Zelle beruhigt, in diesem Abschnitt des Ladezyklus wird alle zehn Sekunden die Spannung gemessen. Der Abschaltzeitpunkt für den Schnelladestrom wird nach der schon beschriebenen d^2U/dt^2 -Methode ausgelöst. Nach dem Ende der Schnellladung folgt die restliche Vollladung (top loading) mit 0,1 C für zwei Stunden, ebenfalls gepulst, aber mit größeren Abständen. In zahllosen Meßreihen wurde nachgewiesen, daß sich damit im Vergleich zum normalen Konstantstrom-Laden die Lebensdauer der Zellen etwa verdoppeln läßt.

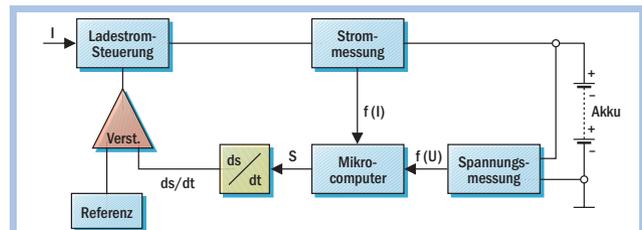
Völlig anders arbeitet das CCS-Verfahren (Computer Charge System) von der Firma BTI in Graz. Es lädt mit zeitlich variierendem, pulsiertem Ladestrom: In der Praxis mit Sinus-Halbwellen direkt aus dem Gleichrichter, ohne Glättungskondensator. Dabei wird ein längeres Stück der Strom-Spannungskennlinie der Zelle durchfahren, der Baustein wertet sie mittels digitaler Musteranalyse aus und berechnet daraus eine charakteristische Kenngröße, die den Ladestand exakt widerspiegelt. Im Moment der Vollladung erreicht diese Größe einen Extremwert, der vom Zellentyp, von der Temperatur und anderen Einflüssen unabhängig ist. Der Prozessor ermittelt daraus dann den optimalen Zeitpunkt zum Abschalten.

Diese Lademethode eignet sich für alle bekannten Akkutypen und ermöglicht Schnelladen bis auf exakt 100 Prozent der verfügbaren Kapazität mit sehr hohen Strömen bis etwa 5 C, entsprechend einer Ladezeit von nur zwölf Minuten. Bild 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau. Ein damit ausgestattetes Ladegerät ist lernfähig und läßt sich genau auf die Zellen abstimmen. Es ist auch aus zeitlich schwankenden Stromquellen (etwa Solarzellen) zu betreiben. Eine Temperaturüberwachung ist

nicht erforderlich, daher lassen sich auch einzelne Zellen ohne Sensor laden. Ein vorheriges Entladen ist nicht nötig, Akkus mit Memory-Effekt regenerieren sich dennoch. Defekte Zellen erkennt das System sofort. Weil eine Überladung wirksam verhindert wird, erhöht sich die Lebensdauer beträchtlich: Der Rekord im Laborversuch steht bei 5.000 Zyklen.

Gegenüber diesen „rückschauenden“ Ladetechniken arbeitet VDX (Voltage Descend Expander) „vorausschauend“. Das von der Firma Becker in Mühlhausen (Mittelfranken) entwickelte Verfahren führt mit dem Akku sozusagen einen Dialog. Dazu wird ein erster Ladestromimpuls eingegeben und untersucht, welchen Ausschwingvorgang (Voltage Descending) die Zelle danach ausführt (Bild 4). Das Laden ist hier mit dem Füllen einer Flasche vergleichbar: Man lauscht einfach dem Geräusch, das sich ändert, je voller die Flasche wird. Dabei läßt sich der richtige Abschaltzeitpunkt exakt ermitteln. Ein Überladen ist ausgeschlossen, die Zelle bleibt kühl. Auch eine Entladung vor dem Aufladen ist nicht nötig.

Wieder ganz anders lädt das Verfahren der Firma Chartek, Charlottenlund/Dänemark. Es hat drei Phasen: In der ersten beginnt der Strom niedrig und steigt kontinuierlich an; damit wird verhindert, daß tiefentladene Zellen geschädigt werden. Die zweite Phase ist eine



Konstantstromladung, die dritte eine Konstantspannungsladung, bei der der Strom kontinuierlich abfällt. Spannung, Strom und Temperatur werden ständig überwacht. Es wurden Testreihen mit insgesamt über 9,2 Millionen Lade-Entladezyklen gemacht. Auch dieses System garantiert 100 Prozent Vollladung bei NiCd-, NiMH- und auch Lithium-Ionen-Akkus.

Der Schnelladestrom ist mit typisch 4 C sehr hoch, entsprechend 15 Minuten Ladezeit. Der wichtigste Kontrollparameter ist die Zellen-Leerlaufspannung – in diesem Fall temperaturkompensiert. Zum Messen wird der Ladestrom kurz unterbrochen, und es wird die Zeit gemessen, bis ein bestimmtes Spannungsniveau erreicht ist. Daraus wird dann die Zeit berechnet, die zur Vollladung noch gebraucht wird. Es wird mit konstanter Spannung gearbeitet, der

Strom nimmt kontinuierlich ab. Die Spannungsbegrenzung verhindert eine Beschädigung der Zelle.

Lithium-Ionen-Akkus erfordern Präzision

Seit kurzen ist ein völlig neuer Akkutyp auf dem Markt, technologisch vollständig anders als alles Bekannte: Der Lithium-Ionen-Akku. Er hat pro Gewicht eine noch höhere Speicherkapazität als der NiMH-Akku und ist damit ideal für Handys, Laptops und andere Geräte, die zwischen

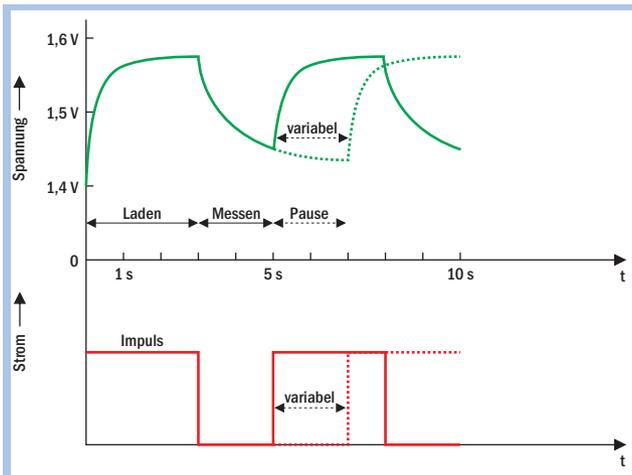


Bild 4: Das VDX-Verfahren: Es untersucht das Ausklingen der Zellen-spannung nach Eingabe eines kurzen Ladeimpulses und berechnet daraus den weiteren Verlauf des Ladevorgangs

zwei Aufladungen sehr lange durchhalten sollen, geeignet. Die verkauften Stückzahlen sind im Moment im Vergleich zu NiCd und NiMH noch sehr klein, steigen aber schnell an.

Die extrem hohe Energiedichte hat auf der anderen Seite ihren Preis: Fehlbehandlung nimmt dieser Akku sehr übel. Im vollgeladenen Zustand ist die Zellenspannung 4,2 V – ein Rekordwert unter allen galvanischen Zellen. Im Laufe der Entladung sinkt sie bis auf 2,3 V bis 2,7 V ab. Der Endwert ist bei den verschiedenen Fabrikaten unterschiedlich. An der jeweiligen Untergrenze muß man den Laststrom abschalten, sonst gerät die Zelle in den Bereich der Tiefentladung, von wo aus sie unter Umständen nicht mehr wieder aufzuladen ist, zumindest verliert sie dabei irreversibel an Kapazität.

Das Laden muß genau nach Vorschrift erfolgen: Die Zelle kann so lange mit hohem Konstantstrom beaufschlagt werden, bis die Zellenspannung 4,2 V erreicht. Höher darf sie nicht werden, sie muß mit einer Toleranz von einem Prozent elektronisch begrenzt werden. Die letzte Ladephase ist demnach eine Konstantspannungsladung, der Strom geht dabei exponentiell gegen Null (*Bild 5*). Eine zu hohe Ladespannung führt zur Überladung, was der Zelle sehr schadet, eine zu niedrige dagegen läßt sie nicht voll werden, so daß ihr Vorteil nicht zum Tragen kommt. Ist die Ladespannung 100 mV zu niedrig, gehen bereits sieben Prozent an Kapazität verloren.

Alkali-Mangan-Akkus richtig laden

Alkali-Mangan-Akkus sind noch neu und erst wenig verbreitet. Es handelt sich um eine Abwandlung der ursprünglich nicht wiederaufladbaren Alkali-Mangan-Primärzelle. Sowohl die Elektroden wie auch der Separator dazwischen sind hier anders ausgeführt. Man sollte auf keinen

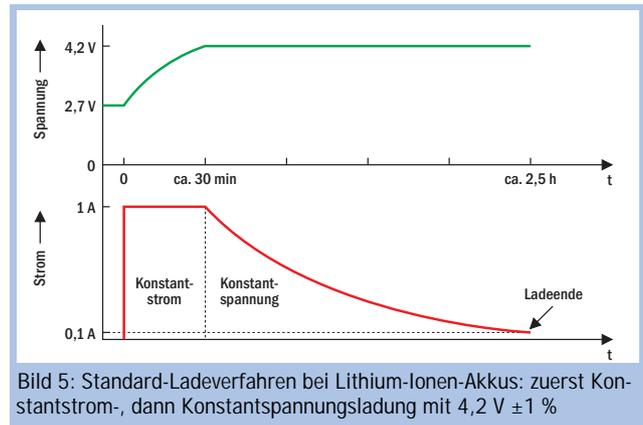


Bild 5: Standard-Ladeverfahren bei Lithium-Ionen-Akkus: zuerst Konstantstrom-, dann Konstantspannungsladung mit $4,2 \text{ V} \pm 1 \%$

Fall versuchen, normale Alkali-Mangan-Zellen wiederaufzuladen, diese werden dabei nur sehr heiß und können unter Umständen platzen.

Die Ladefähigkeit hat man bei dem neuen System erst dadurch erreicht, daß man einen mit hoher Frequenz pulsierenden Strom verwendet. Nur damit scheidet sich das metallische Zink fein genug ab. Bei Gleichstrom würde es nadelförmige Kristalle (Dendriten) bilden, die durch den Separator hindurchwachsen und die Zelle kurzschließen können. Niemals darf man deshalb Alkali-Mangan-Akkus mit einem Ladegerät für NiCd oder NiMH aufladen.

Als Ersatz für NiCd oder NiMH sind diese Sonderlinge weniger geeignet. Nicht nur wegen ihrer höheren Nennspannung von 1,5 V (wie bei der verbreiteten nichtaufladbaren Zelle), auch wegen ihrer geringeren Zyklenzahl (je nach Fabrikat nur etwa 25 bis 100). Vorteilhaft sind dagegen die enorme Energiedichte und die sehr lange Lagerzeit aufgrund minimaler Selbstentladung. Das Einsatzgebiet sind also eher solche Geräte, die monate- oder jahrelang unbenutzt bleiben und dann ganz überraschend gebraucht werden. Hier wären andere Akkus meist leer vorzufinden. NiCd-, NiMH- und Bleiakkus entladen sich selbst innerhalb von einigen Monaten, Lithium-Ionen-Akkus halten etwa ein Jahr, Alkali-Mangan-Akkus dagegen weit länger. Für alle Akkus gilt: Die Selbstentladung ist abhängig von der Temperatur. Um sie zu verringern, kann man die Zellen bei einigen Grad über Null im Kühlschrank lagern – nicht aber im Eisfach.

Auch für Bleiakkus ist gesorgt

Bleiakkus werden in tragbaren Geräten wegen des hohen Gewichts nicht mehr eingesetzt, aber für stationäre Hochlastanwendungen (Notstromversorgungen) sind sie nach wie vor die kostengünstigste Lösung. Die heute überwiegend verwendete verschlossene Gel-Version ist zwar wartungsfrei, aber empfindlicher als das offene Pendant (Autobatterie) und nimmt eine Überladung übel. Gasbildung ist unbedingt zu vermeiden. In der Anfangsphase kann man sie mit einem hohen Ladestrom beaufschlagen, im Laufe des Ladevorgangs muß man dann zu einer Konstantspannungsladung übergehen, pro Zelle mit 2,3 V und mit demselben negativen Temperaturkoeffizienten wie die Zelle selbst (4 mV/K).

(Helmuth Lemme/MK)

Literatur:

- Grundlagen der Akkutechnik. *FUNKSCHAU* 1996, Nr. 15, S. 37.
- Akku-Ladegeräte für Profis. *FUNKSCHAU* 1996, Nr. 18, S. 74.
- Fortschritte beim Batterie-Recycling. *FUNKSCHAU* 1997, Nr. 5, S. 43.
- Aufladbare Batterien. *FUNKSCHAU* 1997, Nr. 6, S. 74.
- Akkus und Ladestationen für Handys. *FUNKSCHAU* 1997, Nr. 16, S. 72.
- Damit der Akku lange lebt. *ELEKTRONIK* 1995, Nr. 23, S. 119.
- Akkuladen: Trend zur Perfektion. *ELEKTRONIK* 1996, Nr. 21, S. 66, Nr. 23, S. 144.