

Was begrenzt die Betriebszeit eines Akkus?

Isidor Buchmann

Cadex Electronics Inc.

Isidor.buchmann@cadex.com

www.buchmann.ca

Edited May 2001

Steht die Betriebsdauer eines tragbaren Gerätes direkt mit der Größe des Akkus und seiner Kapazität im Zusammenhang? In den meisten Fällen kann dies mit 'Ja' beantwortet werden. Bei digitalen Geräten allerdings verläuft die Betriebsdauer nicht unbedingt linear mit der im Akku gespeicherter Energie.

In diesem Artikel untersuchen wir, warum die vom Hersteller spezifizierte Betriebsdauer oftmals nicht erreicht wird, besonders wenn der Akku einige Zeit lang im Gebrauch war.

Fallende Kapazität

Das Speichervermögen (Kapazität) eines Akkus nimmt allmählich durch Gebrauch, Alterung — und bei einigen Chemietypen — durch Wartungsmangel, ab. Mit einer 100%igen Kapazität im Neuzustand, muss der Akku bei verbleibenden 60% oder 70% ersetzt werden; 80% des Speichervermögens sind als typischer Grenzwert des Garantiebereiches anzusehen.

Die in einem Akku gespeicherte Energie kann in drei imaginäre Abschnitte eingeteilt werden, welche aus *verfügbarer Energie*, der *Leerzone*, sowie dem *unbrauchbaren Bereich* bestehen. Bild 1 illustriert diese drei Sektionen.



Bild 1: Die drei imaginären Abschnitte eines Akkus bestehen aus verfügbarer Energie, der Leerzone, und dem unbrauchbaren Bereich. Durch Gebrauch und Alterung vergrößert sich der unbrauchbare Bereich.

In Nickel basierenden Akkus kann der unbrauchbare Bereich aus kristallinen Formationen bestehen, der auch als 'Memory' bekannt ist. Der Kapazitätsverlust bei Li-Ion Akkus entsteht durch Zelloxidation und Korrosion, der während des Gebrauchs und durch Alterung entsteht. Der Leistungsabfall in Blei-Säure-Akkus wird gewöhnlich durch die Sulfatierung von Bleisulfat verursacht. Die Sulfatierung ist das Bilden

einer dünnen Ablagerung, die sich an den Zellplatinen bildet. Bei geschlossenen Blei-Säure-Typen kommt Wasserverdunstung hinzu.

Das Speichervermögen der auf Nickel basierenden Akkus läßt sich oft durch zyklieren wiederherstellen. Auch bekannt als 'Exerzieren' besteht ein Zyklus aus einer oder mehreren Entladungen bis auf ein Volt pro Zelle mit anschließendem Laden.

Es gibt Methoden, die effizienter sind, um die Kapazität der Akkus zu verbessern als das 'Exerzieren' allein. Nach einer Entladung bis auf ein Volt pro Zelle (dem Grenzwert der als das endgültige Entladen angenommen wird), wird der Akku langsam bei wesentlich reduziertem Strom weiter bis nahezu Null Volt entleert. Bekannt als das 'Rekonditionieren', vermag diese Methode die kristallinen Formationen abzubauen, verbessert die chemische Struktur der Zellen und stellt Nickel basierte Akkus wieder her. Packs, die sonst vernichtet würden, können öfters wieder auf ihr beinahe volles Speichervermögen gebracht werden. Es sollte jedoch angemerkt werden, daß einige dieser Akkus unter hoher Selbstentladung leiden, da die kristallinen Formationen das Separatorenmaterial bereits beschädigt haben. Dieses Problem tritt häufig bei älteren Akkus zu.

Der *Cadex C7000* Akku-Analyser, wie im Bild 2 gezeigt, wendet automatisch den Rekonditionierungszyklus an, wenn die vom Anwender eingestellte Zielkapazität nicht erreicht wird. Wenn nach dem Rekonditionieren die als Zielvorgabe eingestellte Kapazität dennoch nicht erreicht werden kann, ist es zu empfehlen, den Akku zu ersetzen. Der Vorteil dieses Systems liegt in der verlängerten Lebensdauer und der Sicherstellung, daß alle so gewarteten Akkus die minimal erforderlichen Kapazitäten erfüllen.



Bild 2: Cadex 7200

Der Cadex 7200 Akku-Analyser wendet automatisch den 'Rekonditionierungszyklus' an, wenn die vom Anwender eingestellte Zielleistung nicht erreicht wird.

Li-Ion Akkus können nicht durch Zyklieren regeneriert werden. Der Kapazitätsverlust ist endgültig, da die Metalle, die in den Zellen verwendet werden, nur für einen bestimmten Zeitraum wirksam sind.

Die Li-Ion Polymer-Akkus haben unzureichende Informationen betrefflich der zyklischen Lebensspanne. Dieser Akku ist ähnlich wie der Li-Ion konstruiert, hat jedoch den Hauptunterschied, daß die Elektrolyten gallertartig ist. Solidifizierte Elektrolyte machen es möglich, den Aufbau der Zellen zu vereinfachen. Geringere Abmessungen und weniger Gewicht sind andere gewinnende Aspekte dieses vielversprechenden neuen Akkusystems.

Der Blei-Säure-Akku sulfatiert, wenn er im entladenen Zustand gelagert wird oder wenn sich die Zellenspannung reduziert. Eine Restauration ist schwierig, oder unmöglich, besonders wenn sich der Akku über lange Zeit in einem solchen destabilisierenden Zustand befindet. Bei der Lagerung sollte eine Nachladung entweder alle sechs Monate erfolgen oder sobald die offene Zellspannung unter 2.10 Volt absinkt.

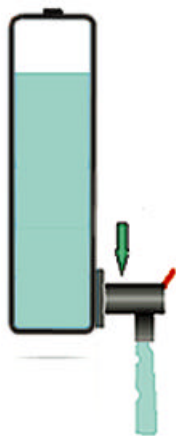
Steigende Impedanz

Der Innenwiderstand, auch Impedanz genannt, ist der Wächter des Akkus, der größtenteils die Betriebsdauer eines Akkus bestimmt. Eine hohe Impedanz begrenzt den Energiefluß aus dem Akku.

Eine simulierte niedrige und hohe Impedanz ist in Bild 3 und 4 dargestellt. Wird eine hohe Stromabgabe von einem Akku mit hoher Impedanz abverlangt, bricht die Spannung zusammen und löst die Warnanzeige aus. Obgleich der Akku über einen ausreichenden Energievorrat verfügt, unterbricht das tragbare Gerät kurz danach und die im Akku verbleibende Energie bleibt zurück.

Effekte bei niedriger und hoher Akkuimpedanz während des Ladens

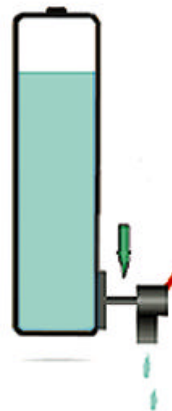
Niedrige Impedanz



Normaler Akku

Bild 3: Akku mit niedriger Impedanz.
Dieser Akku hat einen uneingeschränkten Stromfluß und liefert alle verfügbare Energie.

Hohe Impedanz



Fehlerhafter Akku

Bild 4: Akku mit hoher Impedanz.
Wegen Einschränkungen im Stromfluß kann dieser Akku keine hohen Stromstöße liefern und das Gerät setzt früh aus.

Der NiCd Akku hat aufgrund seiner Eigenschaften die geringste Impedanz aller handelsüblichen Akkusystemen, selbst nach der Lieferung von 1000 Zyklen. Zum Vergleich beginnt der NiMH mit einem höheren Widerstand und die Ablesewerte steigen nach 300-400 Zyklen an. Der Li-Ion bietet etwas bessere Impedanz-Charakteristiken als der NiMH, ist jedoch nicht so gut wie der NiCd. Der tägliche Gebrauch ändert den Innenwiderstand der Li-Ion nicht, die Alterung trägt jedoch dazu bei. Die typische Lebensdauer eines Li-Ion beträgt zwei bis drei Jahre, benutzt oder nicht.

Es ist wichtig, den Innenwiderstand eines Akkus niedrig zu halten, besonders bei digitalen Handys und Geräten mit hoher Strombelastung. Die Impedanz bei einem auf Nickel basierenden Akku vermag sich drastisch zu erhöhen, wenn er nicht regelmässig gewartet wird.

Impedanzwerte von mehr als doppelt der normalen Stufe konnten bei NiCd Akkus mit Memory beobachtet werden. Nach Anwendung eines Rekonditionierungszykluses mit dem Cadex Akku-Analyser kehrten die

Ablesewerte auf das normale Maß zurück. Es wird angenommen, daß das Rekonditionieren die Zelle von kristallinen Formationen reinigt und den Innenwiderstand verringert.

Die Impedanz der Li-Ion Akkus kann durch Zyklieren nicht korrigiert werden, da die Zelloxidation, nicht rückgängig machbar ist. Blei-Säure-Akkus lassen sich manchmal durch Zyklieren oder Ausgleichladung verbessern.

In Bild 5 vergleichen wir die Spannungseigenschaften mit der entsprechenden Akku-Betriebszeit einer niedrigen, mittleren und hohen Akku-Impedanz, wenn belastet mit einem digitalen Gerät. Ähnlich einem Softball, der sich leicht verformt sobald er gedrückt wird, schwankt die Spannung eines Akkus mit hoher Impedanz mit ihrem Abgabestrom wie eine Fahne im Wind. Die Stromimpulse drücken die Spannung zum Ende der Entladung, was sich in frühzeitiges Abschalten umsetzt.

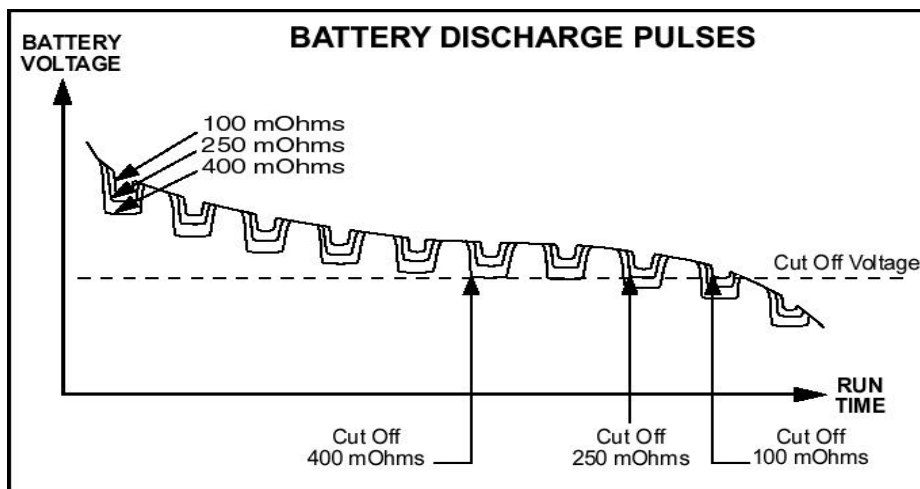


Bild 5: Entladekurve.

Die Betriebszeiten einer niedrigen, mittleren und hohen Akku-Impedanz gleicher Kapazität ist gegenübergestellt wenn sie durch eine pulsartige Belastung entladen werden.

Mißt man den Akku nach der Entladung mit einem Voltmeter, erholt sich im allgemeinen die Spannung und alles erscheint wieder normal. Dies gilt besonders bei auf Nickel basierenden Akkus. Es sollte erwähnt werden, daß der Ladezustand sich auf keinen Fall durch eine Spannungsmessung ablesen läßt.

Ein Akku mit hoher Impedanz vermag zu arbeiten, wenn er behutsam mit einem niedrigen Gleichstrom belastet wird, wie dies für Taschenlampen und bei tragbaren CD-Spielern der Fall ist. Bei dieser langsamen Entladung ist die meiste Energie lieferbar und der Nachteil der hohen Impedanz wird größtenteils verschleiert.

Den Innenwiderstand eines Akkus kann man mit einem Impedanz-Meßgerät ermitteln. Verschiedene Methoden stehen zur Verfügung, die Wechselstrom-, Gleichstrom-Ladungen und die Pulsiermethoden umfassen; jede für sich ergibt leicht unterschiedliche Ablesewerte. Die Cadex C7000 Akku-Analyser Serie erlaubt die Impedanzmessung durch den *Ohm-Test* bezeichnen. Die Testzeit dauert zehn Sekunden und arbeitet mit diskreten Lade- und Entlade Pulsiermethoden, ohne daß der Akku entladen wird

Erhöhte Selbstentladung

Alle Akkus sind einer bestimmten Selbstentladung unterworfen. Der größte Energieverlust tritt in den ersten 24 Stunden nach der Aufladung ein. Als Faustregel läßt sich sagen, daß ein auf Nickel basierender

Akku 10-15% seiner Kapazität in den ersten 24 Stunden nach der Ladung verliert, gefolgt von 10-15% jeweils in jedem darauffolgenden Monat.

Die Selbstentladung ist bei den Li-Ion Akkus geringer als bei auf Nickel basierenden Systemen. Ein gut abschneidendes System in Bezug auf die Selbstentladung ist das Blei-Säure-System, daß sich nur um 5% pro Monat entlädt. Es soll jedoch erwähnt werden, daß der Blei-Säure-Akku auch die geringste Energiedichte unter heutigen Akkusystemen aufweist. Daher ist dieses System für portable Kleingeräte ungeeignet. Statt dessen ist die Blei-Säure bei stationären Einrichtungen, wie z.B. Notstromaggregaten und UPS-Einheiten oder zum Radantrieb bei Rollstühlen und Golf-Carts zu finden.

Bei höherer Temperatur steigt die Selbstentladung bei allen Akkuchemiearten an. Typischerweise verdoppelt sich der Wert je 10°C (18°F). Große Selbstentladungen entstehen wenn ein Akku lange in einem heißen Fahrzeug verbleibt. Ein Problem entsteht wenn die gespeicherte Energie im Verlauf des Tages durch Selbstentladung anstelle der angewandten Nutzung verloren geht. Dieses Phänomen tritt bei älteren Akku-Packs häufig auf.

Auswirkungen der Impedanz bei hoher Belastung



Bild 6: Akku mit hoher Selbstentladung.

Erhöhte Temperatur, hohe Zykluszahlen und das Altern treiben die Selbstentladung voran. Ein Problem entsteht wenn die gespeicherte Energie im Verlauf des Tages durch Selbstentladung anstelle der angewandten Nutzung verloren geht.

Die Selbstentladung eines Akkus steigt mit Alterung und Gebrauch. Ein NiMH Akku ist nur für 300-400 Zyklen gut. Hingegen ist ein NiCd nach über 1000 Zyklen noch leistungsfähig. Bei den Li-Ion und Blei-Säure-Systemen steigt die Selbstentladung nicht in gleichem Maße wie bei den auf Nickel basierenden Systemen an, nachdem sie einer hohen Zykluszahl ausgesetzt wurden.

Wenn ein Akku unter hoher Selbstentladung leidet, gibt es keine Möglichkeit, diesen Effekt zu korrigieren. Die Ursachen, die eine Selbstentladung beschleunigen, liegen in abgesonderten kristallinen Formationen und den dadurch entstehenden Beschädigungen an den Separatoren. Das Überhitzen der Akkus beim Aufladen und hohe Zyklenzahlen, welche ein Aufschwellen der Zellen fördern, sind für die Beschädigungen verantwortlich.

Es gibt kein einfacher Schnelltester, der eine Selbstentladung des Akkus messen kann. Jedoch kann ein Akku-Analyser benutzt werden, der Test dauert jedoch einige Zeit. Durch Ablesen der Anfangskapazität nach einer vollen Ladung und Entladung, und dem erneuten Messen der Kapazität nach einer Zeitvorgabe von etwa 12 Stunden, kann die Selbstentladung automatisch ausgeführt werden. Der Cadex C7200 Analyser führt diesen Vorgang selbstständig durch.

Hohe Abschaltspannung

Ein gut ausgelegtes, tragbares Gerät funktioniert in einem weiten Spannungsbereich. Während moderne elektronische Schaltungen so ausgelegt sind, daß sie mit niedrigeren Spannungen arbeiten können, sind dennoch manche Geräte nicht in der Lage, das volle Spannungs-Spektrum eines Akkus zu nutzen. In dieser Situation unterbricht das Gerät bevor die Endspannung erreicht ist und kostbare Akkuenergie bleibt ungenutzt zurück.

Rest-Energie nach
Abschalten des Gerätes

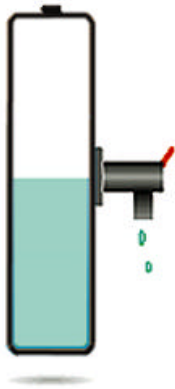


Bild 6: Illustration einer Geräteausrüstung mit hoher Abschaltungs-Spannung.

Einige portable Geräte nutzen nicht die insgesamt verfügbare Akkuspannung und lassen dadurch wertvolle Energie ungenutzt zurück.

Das Problem des hohen Spannungsabbruchs ist weiter verbreitet als allgemein angenommen wird. Ein bekanntes Handy schaltet z.B. bereits bei 3.3 Volt an einer Einzellen-Li-Ion ab, die darauf ausgelegt ist, bis zu 3 Volt und niedriger zu entladen. Mit einer Entladung bis zu 3.3 Volt wird nur rund 70% der erwarteten 100% Energie genutzt. Ein anderes Handy, daß NiMH und NiCd Akkus nutzt, schaltet bereits bei einem Abfall auf 5.7 Volt ab, obwohl diese Akkus bis zu 5 Volt entladen können. Entlädt man diesen Akku bis zu ihrer entsprechenden Endstufe mit dem Akku-Analyser weiter, ergibt sich Residualkapazität von 30% bis 60%. Dieses Phänomen herrscht besonders bei Akkus mit hoher Impedanz vor und bei Akkupacks, die unter erhöhten Temperaturen arbeiten.

Obwohl eine hohe Abschaltspannung meistens gerätebezogen ist, wird in einigen Fällen der vorzeitige Spannungsschwund durch einen Akku mit niedriger Spannung eingeleitet. Dies wird oft bei Akkus auftreten, die kurzgeschlossene Zellen aufweisen. Memory führt ebenfalls zu einer Spannungsverminderung, jedoch macht sich dieser Effekt nur bei auf Nickel basierenden Systemen bemerkbar. Hohe Temperaturen senken die Spannung ebenfalls, aber diese Erscheinung ist vorübergehend und korrigiert sich, sobald der Akku abkühlt.

Zusammenfassung

Kapazität und Betriebszeiten verlaufen nicht unbedingt linear. Dies ist besonders bemerkbar wenn das Gerät oder der Akku aufgrund von Umwelteinflüssen und Alterung die Eigenschaften verliert. Es ist allgemein so, daß Hersteller ihre Erzeugnisse unter den günstigsten Bedingungen, mit ausgeglichen Betriebstemperaturen und mit neuen Akkus überprüfen. Der Verbraucher wundert sich dann, warum sein Gerät eine Ausnahme zur Regel bildet.

Obgleich sich die Akkutechnologie im Laufe des letzten Jahrzehntes verbessert hat, waren die Fortschritte doch nicht so dramatisch wie bei der peripheren Micro-Elektronik. Leistungsmaximierung und ständiges Verkleinern der Akkus brachten unerwünschte Nebeneffekte, von denen einige zu gesteigerter Impedanz und zu höhern Selbstentladungen führten. Dazu erfuhr man eine verkürzte Lebensdauer und erhöhte Betriebskosten. Dies ist hauptsächlich beim NiMH Akku ersichtlich.

Allgemein kann man sagen, daß neue Geräte eine längere Betriebszeit bieten, als jene Produkte, die sie ersetzen. Die erfolgreiche Verbesserung ist nicht allein dem Akku zu verdanken, sondern ebenfalls verfeinerter elektronischer Schaltkreise, die weit weniger energiehungrig sind.

Blicken wir in die Zukunft, so bietet sich derzeit keine unmittelbare Lösung an, welche die Unzulänglichkeiten heutiger Akkus lösen könnte. Solange Akkus als elektro-chemische Prozesse wirken, sind wir auf Energiespeicher angewiesen, die teuer und unberechenbar sind, die langsam laden, groß und schwer sind, und die eine relative kurze Betriebsdauer haben.

Wiederauffüllbare Akkus, wie sie in der Brennstoff-Zell-Technologie Verwendung finden, sind noch nicht für handliche Geräte verfügbar. Vielleicht werden eines Tages Handys und Notebook-Computer mit Brennstoffzellen versorgt werden können. Kommt dies zur Anwendung, wird der Konsument möglicherweise flüssige Energie in der Brieftasche in einer Flasche als Reserve mit sich tragen, statt dem herkömmlichen Ladegerät.

*Dieser Artikel ist ein Auszug aus **Batteries in a Portable World** — A Handbook on Rechargeable Batteries for Non-Engineers (second edition) {Ein Handbuch über wiederaufladbare Batterien für Nicht-Ingenieure}. In diesem Buch wertet Herr Buchmann den Akku im täglichen Gebrauch und erklärt seine Stärken und Schwächen. Das dreihundertseitige Buch ist erhältlich bei Cadex Electronics Inc. über book@cadex.com, tel. +1 604 231-7777 oder in den meisten Buchhandlungen. Um mehr Details über das Buch zu erhalten, besuchen sie die Website www.buchmann.ca.*

Zum Autor

Isidor Buchmann ist Gründer und Geschäftsleiter CEO von Cadex Electronics Inc. in Richmond (Vancouver) BC, Kanada. Herr Buchmann kommt aus der Radio Kommunikation und hat das Verhalten von Akkumulatoren in allen täglichen Anwendungsbereichen über zwei Jahrzehnte studiert. Als Autor vieler Artikel, Schriften und Bücher mit Themen über die Akkuwartungstechnologie ist Herr Buchmann ein weithin als Fachberater bekannter Vortragsredner, der technische Schriften und Präsentationen auf Seminaren und Konferenzen rund um die Welt durchführt.

Die Firma

Cadex Electronics Inc. ist einer der führenden Anbieter in Design und Herstellung von hochwertigen Akkuanalysierern und Ladegeräten. Die preisgekrönten Erzeugnisse werden eingesetzt, um die Lebensdauer von Akkus im Einsatz bei der drahtlosen Kommunikation, bei Notdiensten, der Biomedizin, mobilen Computern, Rundfunk, Luftfahrttechnik, und auf dem Sektor der Wehrtechnik und Weltraum zu verlängern und zu warten. Cadex Produkte werden in über 100 Länder verkauft.

