



# Batterien, Akkus und Ladekonzepte

## Teil 2

**Nachdem wir im „ELVjournal“ 2/98 die gängigen Akkutypen ausführlich betrachtet haben, widmen wir uns dieses Mal den wichtigsten Ladetechnologien und der zugehörigen Technik, wobei wir auch auf das spezielle Thema des Ladens von Batterien eingehen.**

### Batterien laden

Nein, nicht sachlich falsch, es gibt sie tatsächlich, diese Grenzgänger zwischen Batterie und Akku.

Bereits seit Jahren dauert der Streit in Fachkreisen an, ob denn die Ladegeräte, die **Alkali-Mangan-Batterien** mehrfach nachladen können, gefährliche Scharlatanerie sind oder ein geniales Mittel zum Abbau des Alt-Batterieberges. Inzwischen gibt es kommerzielle Ladegeräte, die diese Batterien tatsächlich mehrfach nachladen können. Dies gerät jedoch zum Glücksspiel, da die Nachladefähigkeit sehr stark vom vorherigen Einsatz, vom Hersteller der Zelle und vielen anderen Faktoren abhängt, weshalb man Alkali-Mangan-Batterien sicher nicht allgemeingültig zu den

nachladefähigen Energiespeichern zählen sollte.

Auf gar keinen Fall darf man Alkali-Mangan-Batterien mit „normalen“ Ladegeräten wieder aufladen, sondern allenfalls mit ganz speziell dafür konzipierten und zugelassenen Spezial-Ladegeräten. Die entsprechenden Sicherheitshinweise sind dabei sorgfältig zu beach-

**Bild 6: Die 1,5V-Alternative zur herkömmlichen Batterie - das AccuCell-System.**

ten. Unsachgemäß behandelte Batterien stellen ein erhebliches Gefahrenpotential dar.

Ein Ableger der Alkali-Mangan-Zelle jedoch ist der **Alkali-Mangan-Akku**, der gerade beginnt, unter Markennamen wie AccuCell (Abbildung 6), BOOMERANG und BIG Furore zu machen.

Das grobe Funktionsprinzip entspricht dem beschriebenen der Alkali-Mangan-Batterie, über die jeweils speziellen Ingredienzen schweigen sich die konkurrierenden Hersteller allerdings aus.

Zwischen mindestens 25 und mehreren 100 Ladezyklen versprechen die Hersteller, deren Systeme allerdings nicht miteinander kompatibel sind.

Der Hauptvorteil dieser noch recht teuren Akkus ist die nominelle Zellenspannung von echten 1,5 V, die Geräte, die zuvor keinen Einsatz von 1,2V-Akkus erlaubten, jetzt auch mit wiederaufladbaren Akkus bestückbar machen. Da die Akkus keinen Memoryeffekt aufweisen, können sie auch täglich nach Gebrauch ohne Vor-entladen wieder geladen werden. Sie erfordern keine Erstladung und weisen nur eine sehr geringe Selbstentladung auf. Allerdings sind sie nicht hochstromfähig, was ihren Einsatz z. B. im Modellbau problematisch macht (kein Einsatz als Antriebsakku möglich).

Trotz ihres recht hohen Preises sind die Alkali-Mangan-Akkus eine ökonomische Alternative zu den herkömmlichen Wegwerfbatterien. Allerdings muß man beim gleichen System bleiben, wie gesagt, die Systeme sind nicht kompatibel, man benötigt zwingend das passende Ladegerät dazu.

Alle uns bekannten Hersteller dieser Akkusysteme bieten die besonders verbreitete Mignon-Bauform an, wobei teilweise auch die Bauformen Mono, Baby und Micro erhältlich sind.

### Eco-Charger - der Batterielader

Der Streit in der Fachwelt wird wohl nie ausgestanden sein - trotzdem bewährt er sich nun seit Jahren, der Eco-Charger (Abbildung 7). Dieses spezielle Ladegerät, das





**Bild 7: Der Eco-Charger lädt auch Alkaline-Batterien bis zu 10x wieder auf und reduziert damit den Sondermüllberg.**

20fache Ladung (freilich mit stets leicht sinkender Kapazität) erwarten.

Bei länger lagernden (ab 24 Stunden) gebrauchten Batterien sind die chemischen Prozesse weitgehend irreversibel abgeschlossen. Trotzdem lohnt ein Versuch, bevor man die Batterie im Sondermüll landen läßt.

Der Eco-Charger analysiert jede einzelne Zelle genau und

sowohl das Laden von NiCd-Akkus als auch von Alkaline-Batterien zuläßt, war lange umstritten, stehen doch eingefleischte Puristen auch heute immer noch auf dem Standpunkt, daß das nicht gehen kann, was da geht. Auch die Batterieindustrie dürfte der Technik aus naheliegenden Gründen nicht hold sein.

Das Gerät lädt tatsächlich ganz normale Alkaline-Batterien der Dimensionen Micro, Mignon, Baby- und Mono (keine Knopfzellen und 9V-Blocks!!!!) nach, unter bestimmten Bedingungen erfolgt dies bis zu 10x.

Ohne auf die Batteriechemie tiefer einzugehen, ist diese Aufladbarkeit jedoch an einige Voraussetzungen gebunden, die man beim Einsatz des Gerätes unbedingt berücksichtigen muß.

Da spielen z. B. Faktoren wie Hersteller, Batterietyp und die individuelle Belastung der Batterie eine Rolle.

Besonders erfolgreich arbeitet der Lader mit Batterien, die kurz zuvor erst belastet wurden, z. B. im Walk- oder Discman, im CB-Funkgerät oder im Gameboy. Hier sind die chemischen Prozesse noch nicht abgeklungen, es fand keine endgültige Kristallisation statt, man kann also eine reversible Elektronenbewegung in Grenzen erreichen.

So kann man bei täglich nach dem Jogging geladenen Batterien schon eine bis zu

lädt sie individuell unter ständiger Prüfung nach bzw. lehnt zu weit entladene oder defekte Batterien sofort nach der Prüfung ab. So ist auch die Warnung über eine mögliche Explosionsgefahr beim Laden dieser Batterien durchaus ernst zu nehmen, jedoch sorgt der Eco-Charger durch vorstehen genannte Prüfungen dafür, daß hier kein Gefahrenpotential auftritt, wobei ein sachgerechter und sorgfältiger Umgang sowohl mit dem Ladegerät als auch mit den Batterien wichtig ist.

Der Einsatz des Eco-Chargers senkt die laufenden Betriebskosten von Geräten, die nicht auf Akkus umgerüstet werden können, sehr deutlich und trägt wesentlich zur Verringerung des giftigen Sondermüllbergs von Altbatterien bei, auch wenn nicht jede Batterie sich mehrmals laden läßt, schon der Rest lohnt die Anschaffung eines solchen Gerätes.

### Akku-Ladetechnologien

„Technologie“ reicht eigentlich nicht, wenn man das beschreibt, was heutzutage Ladegeräte mit Akkus anstellen - eher das Wort „Wissenschaft“ ist angesagt.

„Pumpte“ man vor Jahren Akkus noch einfach mit Konstantstrom über eine berechnete Zeit voll, so haben sich die Methoden mit dem Aufkommen moderner

Ladecontroller und leistungsfähiger Mikroprozessoren gründlich gewandelt.

Einfachstlader überladen z. B. den NC-Akku sehr schnell, er erwärmt sich stark durch die überschüssige Sauerstoffpro-

duktion in der Zelle und wird schließlich chemisch zerstört.

Heute wird zuerst ausführlich getestet, dann je nach Typ erst einmal entladen, eventuell bis zu einem bestimmten Grad normalgeladen, schnellgeladen und schließlich erhaltungsgeladen. Zwischendurch wird gemessen und getestet.

Hintergrund des Aufwands: Akkus sind teuer und werden für umfangreiche, auch sicherheitsrelevante Aufgaben eingesetzt, für die sie langlebig und optimal vorbereitet sein müssen.

Ein leistungsfähiges Ladegerät mit Mikroprozessorsteuerung (Abbildung 8) amortisiert sich sehr schnell, da es nicht nur lädt, entlädt und testet, sondern auch regeneriert (z. B. NiCd-Akkus mit Memoryeffekt), erhält und auffrischt - und das alles automatisch. Dort, wo es notwendig ist, z. B. im kommerziellen Einsatz, erlauben solche Geräte auch die computergestützte Aufzeichnung und Auswertung der Akkudaten, so daß man den Zustand seines Akkus gewissermaßen schriftlich in der Hand halten kann (Abbildung 9).

Wir wollen im folgenden die Lademethoden für die einzelnen Akkuarten näher betrachten.

### Lademeister

Blei- und Blei-Gel-Akkus werden typisch mit einem Konstantstrom von 1/10 C geladen, bis die Ladeschlußspannung von 2,35 V je Zelle erreicht ist (C entspricht der Akku-Nennkapazität, d. h. mit einem Konstantstrom von 1/10 C ist ein Strom gemeint, der 10% der Akku-Nennkapazität entspricht. Beispiel: Bei einer Akku-Nennkapazität von 700 mAh wäre ein Konstantstrom von 1/10 C mit 70 mA anzusetzen).

Danach erfolgt der Übergang in den Konstantspannungslademodus, bis ein charakteristischer Ladestromabfall das Ladegerät veranlaßt, in den Erhaltungslademodus zu gehen, der den Akku ständig auf Vollzustand (2,23 V je Zelle) hält.

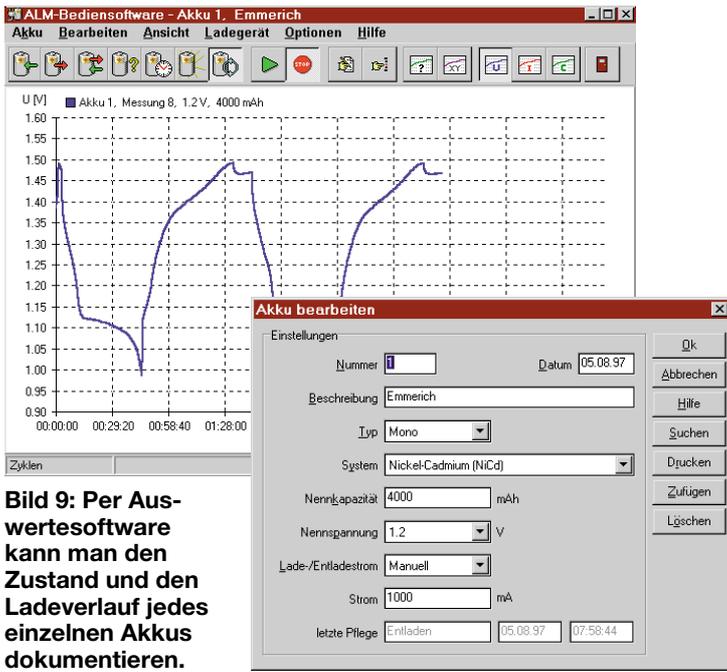
Der 25DM-Einfachstlader aus dem Baumarkt realisiert solch ein Verhalten (I/U-Kennlinie) freilich nicht, dazu bedarf es schon einigen Schaltungsaufwands. Betreibt man den jedoch, wird man lange Freude an seinem Akku haben. Ein solch komfortables Ladegerät ist z. B. das BGL 7000 von ELV (Abbildung 10).

Noch viel ausgefeilter ist die Technik in modernen NiCd-/NiMH-Ladern. Hier sind schon Spezial-Lade-ICs oder ein Mikroprozessor nötig, um die Akkus richtig zu behandeln.

Beide Akkutypen unterscheiden sich sowohl in ihrem Entlade- als auch ihrem Ladeverhalten (Abbildung 4 und 11), dem müssen die Geräte gerecht werden. Dazu kommt, daß der NiMH-Akku wesentlich



**Bild 8: Mikroprozessorgesteuerte Ladegeräte arbeiten weitgehend automatisch, analysieren und pflegen NiCd- und NiMH-Akkus jeder Art.**



**Bild 9: Per Auswertesoftware kann man den Zustand und den Ladeverlauf jedes einzelnen Akkus dokumentieren.**

empfindlicher auf Überladen reagiert als der robuste NiCd-Akku.

Sehr verbreitet ist heute das  $-\Delta U$ -Ladeverfahren. Es wertet das in der Ladekurve der Akkus auftretende charakteristische Spannungsmaximum bei etwa 100% der Ladekapazität aus und schaltet dann den Ladestrom ab. Der Ladecontroller mißt dabei in regelmäßigen Zeitabständen stromlos die Akkuspannung.

Unterschreitet die Akkuspannung nach mehrmaliger Messung den Maximalwert (in einem bestimmten Differenzbereich unterhalb des Maximalwertes, daher das  $-\Delta U$ ), schaltet der Prozessor auf Erhaltungsladen mittels kurzer Stromimpulse in bestimmten Zeitabständen um.

Durch Anstieg der Temperatur bei voll geladener Zelle nimmt die Zellenspannung wieder geringfügig ab.

In der Praxis vielfach anzutreffen ist das Ladeverfahren mit Spannungsgradientenmessung, dort trifft man z. B. die Ladecontroller der U240x-Reihe. Hier wird als Hauptkriterium zur Beendigung des Schnell-Ladevorgangs der Umkehrpunkt der Spannungssteigung ( $dU/dt=0$ ) ausge-

wertet. Sobald am Ende des Ladevorgangs die Steigungsgeschwindigkeit der Spannung nicht mehr zunimmt, wird der Schnell-Ladevorgang beendet und der Akku durch Übergangsladung auf 100% seiner speicherbaren Kapazität aufgeladen.

Ist die zweite Ableitung der Steigung ( $+d^2V/dt^2$ ) bei einem Akku nicht auswertbar, so erfolgt z. B. beim U2402 B die Beendigung des Schnell-Ladevorgangs nach dem oben beschriebenen  $-\Delta U$ -Verfahren. Der komplette Lade-Ablauf beim Einsatz des U 2402 B ist in Abbildung 12 sehr gut illustriert. Hier kommt eine intelligente Mischung von  $-\Delta U$ - und  $dV/dt$ -Ladeverfahren zur Anwendung.

Ein weiteres Ladeverfahren ist das Reflexladeverfahren. Hier wird (beim NiCd-Akku) durch gepulstes Laden mit bis zu 4 C und Entlade-Impulse mit bis zu 3mal höheren Strom erreicht, daß der Gasaustausch innerhalb der Akkuzelle so optimiert wird, daß tatsächlich 100% der Akkukapazität

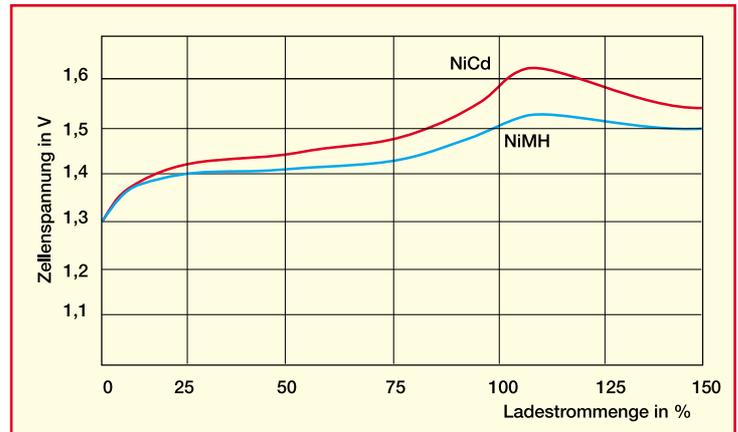
erreicht werden. Dies begegnet dem benötigten Memoryeffekt genauso wie das vorherige definierte Entladen des Akkus bis auf seine definierte Entladeschluß-Spannung.

Ausgefeilte Überwachungstechniken wie Temperaturüberwachung des Akkus, Test auf falsch eingelegten, überladenen und defekten Akku sowie die stromlose Spannungsmessung sind weitere Features dieser modernen Lader.

Übrigens hat sich das Arbeiten mit Ladestromimpulsen statt Konstantstrom inzwischen allgemein durchgesetzt, hier ist ein wesentlich effektiveres Schnellladen möglich, so daß man den Akku u. U. schon nach einer Viertelstunde wieder aus dem Ladegerät entnehmen kann.

Unkontrolliertes Schnellladen ist eine recht gefährliche Sache für jeden Akku. Er wird schließlich mit einem Ladestrom von bis zu 4 C beaufschlagt. Hier ist eine besonders ausgeklügelte Überwachungstechnik notwendig, um den Akku nicht zu beschädigen.

Insgesamt können Prozessor-Ladegeräte für NiCd- und NiMH-Akkus heute schon als ausgereift gelten, wenn sie die Features Entladen, Schnellladen, Erhaltungsladen aufweisen. Das wesentliche Kriterium ist



**Bild 11: Ladecharakteristik von NiCd- und NiMH-Akkus (Quelle: VARTA).**

jedoch eine möglichst intelligente Ladend-Erkennung, die entscheidend zur schonenden Akkuladung beiträgt.

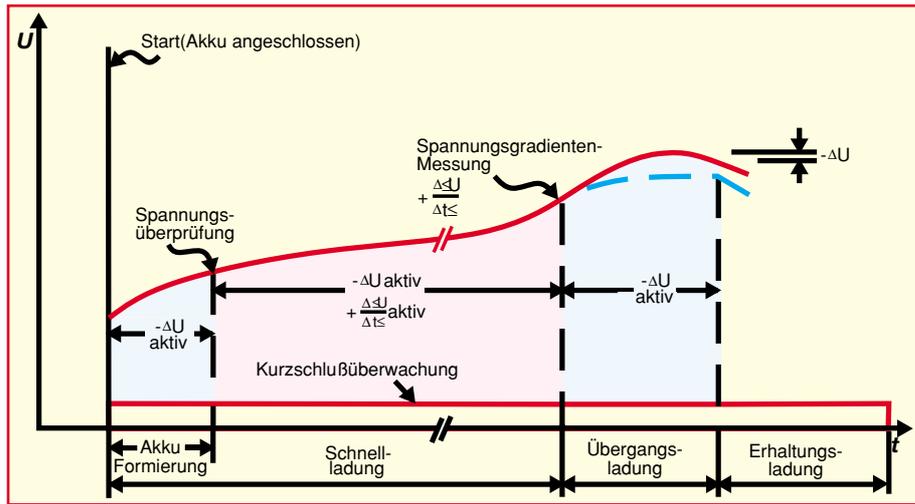
Noch komfortabler sind die Geräte, wenn sie auch noch einen Test-, Auffrisch- bzw. Regeneriermodus beherrschen. Solche Geräte empfehlen sich dann besonders für den professionellen Einsatz und den Modellbauer.

### Sonderfall Lithium-Ionen-Akku

Lithium-Ionen-Akkus hingegen sind grundsätzlich anders zu laden als NiCd- und NiMH-Akkus. Dies erkennt man schon am charakteristischen Verlauf der Strom- und Spannungskurven beim Laden von Lithium-Ionen-Akkus (Abbildung 13).



**Bild 10: Blei-Gel-Akku-Lader sind heute ebenfalls schon mit einer gehörigen Portion Intelligenz ausgestattet, um automatische und akkuschonende Ladung zu gewährleisten.**



**Bild 12: Typischer Ladespannungsverlauf bei Anwendung des Ladecontrollers U 2402 B. Dieser kommt z. B. bei der beliebten ELV-Universal-Lade-/Entlade-schaltung zum Einsatz.**

Der Ladeverlauf gleicht im Ansatz dem des Blei-Akkus, jedoch ist hier sehr sorgfältig auf die Verhinderung zu tiefen Entladens und Überladens zu achten, da die Akkus dann sehr schnell beschädigt werden können.

Der Akku wird also vor dem Laden sorgfältig gemessen, dann mit einem niedrigen Konstantstrom geladen, bis eine Zellenspannung von ca. 2,7 V erreicht ist. Danach erst erfolgt die Schnellladung mit einem hohen Konstantstrom von 1 C bis 2 C. Kurz vor Erreichen der Ladeschlussspannung von 4,2 V wird auf Spannungsregelung umgeschaltet, der Ladestrom fällt stark ab, bis er schließlich abgeschaltet wird.

Ganz wichtig ist die genaue Einhaltung der Ladeschlussspannung (mind. 1% Genauigkeit). Während eine Überladung zu Schäden am Akku führt, sorgen 100 mV Unterspannung bereits für einen Kapazitätsverlust von immerhin 7%.

**Achtung:** Vielfach werden Lithium-Ionen-Akkus für einen ganz bestimmten Einsatzfall konzipiert und bezüglich Bauform

und Leistung exakt auf diese Anwendung ausgelegt und daraufhin optimiert. Da für solche speziellen Einsatzfälle, z. B. in einem bestimmten Handy auch das Ladegerät darauf angepaßt sein kann, weisen derartige Akkus neuerdings eine Besonderheit auf, die darin besteht, daß der betreffende Akkupack nicht allein aus dem Akku selbst, sondern aus einer zusätzlichen eingebauten Elektronik besteht. Diese kann u. a. neben Ein- und Ausschaltvorgängen Schutz vor Überlastung bei der Entladung aber auch beim Aufladen bieten.

Wie eine entsprechende Elektronik ausgelegt ist und tatsächlich arbeitet, kann nicht verallgemeinert werden (zumindest derzeit gibt es noch keine allgemein geltenden Richtlinien und Normen - Stand: Mai 1998).

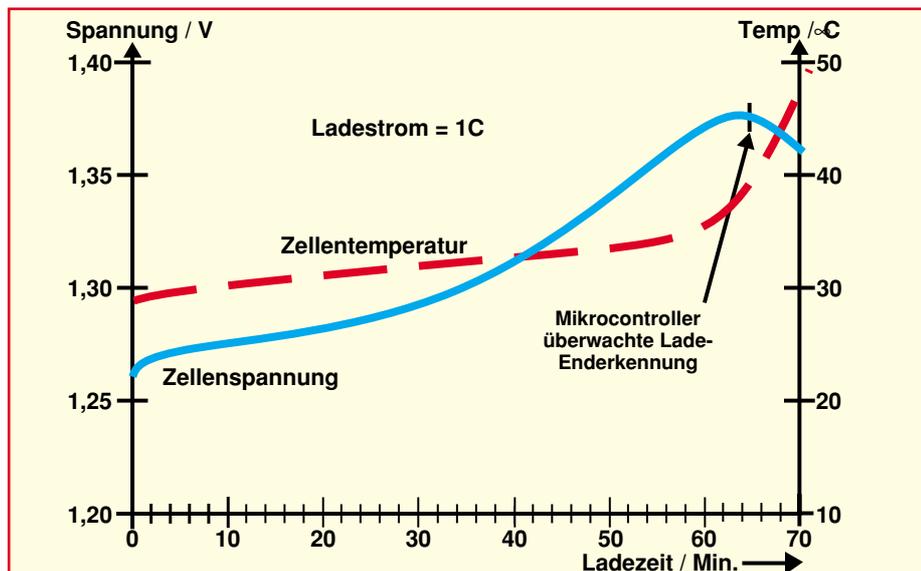
Da entsprechende Stromversorgungssysteme nicht allein aus einem Akku bestehen, sondern wie vorstehend erwähnt, aus einer Kombination von Akku und Elektronik, ist ein Aufladen über Universal-Ladegeräte üblicherweise nicht möglich, es sei denn, daß das betreffende Ladegerät spezi-

ell auch auf exakt diesen Akkutyp mit Elektronik ausgelegt ist. Wenn also ein konventionelles Universal-Ladegerät allgemein auch für das Laden von Lithium-Ionen-Akkus vorgesehen ist, so bedeutet dies üblicherweise nicht, daß damit Akkusysteme mit eingebauter Elektronik „behandelt“ werden dürfen. Vielmehr besteht die Gefahr, daß entsprechende Universal-Ladegeräte durch das nicht eindeutige Verhalten der Akkusysteme „verwirrt“ werden, was unkalkulierbare Schäden nach sich ziehen kann.

Fazit: Für Spezial-Akkus (und hier insbesondere Lithium-Ionen-Akkus mit eingebauter Elektronik) sind üblicherweise genau die dafür vorgesehenen Spezial-Ladegeräte zu verwenden. Nur wenn genau bekannt ist und vom Akkuhersteller auch freigegeben, dürfen Lithium-Ionen-Akkus mit anderen dafür geeigneten und spezifizierten Ladegeräten „behandelt“ werden. Durch die vergleichsweise hohen Preise der Lithium-Ionen-Akkus empfiehlt es sich, besondere Sorgfalt walten zu lassen - nicht zuletzt auch aus Sicherheitsgründen - und im Zweifelsfall nur das Original-Ladegerät, das für diesen Einsatzfall vorgesehen ist, einzusetzen..

### Ausblick

So kann man resümieren, daß man für nahezu alle Energiespender heute über ausgereifte Ladetechnologien verfügt, die umweltfreundliche Mehrfachnutzung erlauben und die Energiequellen zum Teil in kürzester Zeit wieder verfügbar machen. Gleichzeitig werden Akkus und Batterien immer kompakter und leistungsfähiger. Vor allem auf dem Gebiet der LiIon-Technologie werden wir noch eine enorme Leistungssteigerung erleben. Im Zusammenspiel mit immer genügsamerer und intelligenterer Elektronik ist damit mobiler Betrieb von elektronischen Geräten unter allen Bedingungen heute und in Zukunft kein Problem mehr.



**Bild 13: Typische Ladestrom- und Spannungsverläufe an einer Lithium-Ionen-Zelle.**