

# **Akkumulatorenpraxis**

Begleittdokumentation

zur Präsentation von Urs Hadorn, HB9ABO, an der  
Monatsversammlung von HB9F vom 28.1.09

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Definitionen.....	3
Begriffe in der Stromversorgung.....	3
Was bedeutet Batteriekapazität? .....	3
Die Angabe der Lade- und Entladeströme.....	3
Die Kapazität hängt vom Strom ab .....	3
Übersicht über die wichtigsten Akkutypen [1].....	5
Laden.....	5
Nickel-Cadmium-Batterien laden.....	5
Nickel-Metallhydrid-Batterien laden.....	6
Bleiakkumulatoren laden.....	7
Lithium-Polymer-Akkumulatoren laden.....	8
Ladungsarten .....	8
Womit laden? .....	9
Entladen.....	10
Womit entladen.....	10
Tiefentladung.....	11
Wartung .....	12
Akkutraining.....	12
Retten von Zellen mit internem Kurzschluss.....	12
Akkupacks und ihr Inhalt .....	13
Anschlüsse und Kontakte .....	13
Batterieelektronik.....	16
Aus der Praxis:.....	18
Vorzeitiger Ausfall einer Zelle.....	18
Überladen eines Lithium-Ionen-Akkus.....	18
Eine Batterie zusammenstellen.....	19
Zylindrische Zellen.....	19
Flache Zellen: Lithium-Ionen-Polymer-Batterien konfektionieren:.....	21
Ausblick.....	23
Lithium-Nanophosphat .....	23
Technische Daten.....	23
Entladecharakteristik.....	23
Bezugsquelle .....	23
Batterien richtig entsorgen [2]) .....	24
Referenzen (Stand 8.1.09).....	24
Informationsquellen .....	24
Bezugsquellen.....	24
Batterien, Akkumulatoren:.....	24
Ladegeräte, Akkupfleger:.....	24
Quizfragen .....	25

## Definitionen

### **Begriffe in der Stromversorgung**

<i>Primärelement</i>	Gleichstromquelle, die unmittelbar nach ihrer Herstellung in der Lage ist, Strom abzugeben. Normalerweise nicht aufladbar
<i>Sekundärelement</i>	Gleichstromquelle, die nach der Fertigung geladen werden muss. Die chemischen Vorgänge sind in diesem Element umkehrbar
<i>Zelle</i>	Primär- oder Sekundärelement; Grundeinheit einer Batterie
<i>Batterie</i>	Gruppe von mehreren Elementen (Flaschen, Geschützen, Zellen) Allgemein gebräuchlich für die Stromversorgung in einem tragbaren Gerät
<i>Akkumulator</i>	Batterie aus aufladbaren Zellen (Sekundärelementen)

### **Was bedeutet Batteriekapazität?**

Unter Batteriekapazität versteht man die Fähigkeit einer Batterie, eine bestimmte elektrische Ladung aufzunehmen, zu speichern und bei Bedarf abzugeben. Die elektrische Ladung – und damit die Batteriekapazität - wird ausgedrückt als Produkt von Strom und Zeit. Die Masseinheit für die elektrische Ladung ist das Coulomb ( $C = 1$  Amperesekunde). Aus praktischen Gründen wird die Batteriekapazität in Amperestunden bzw. Milliamperestunden (Ah, mAh) angegeben. Eine Batterie, die zehn Stunden lang einen Strom von 0,1 Ampere abgeben kann, hat eine Kapazität von 1 Ah. Fünf Stunden mit 0,2 A oder eine Stunde mit 1 A entsprechen ebenfalls einer Kapazität von 1 Ah.

Die Kapazität einer Primär- oder Akkuzelle ist dann erschöpft, wenn diese während des Entladens die Entladeschlussspannung erreicht hat. Es ist zwar möglich, weiter Strom zu entnehmen, die Spannung sinkt jedoch rasch gegen Null, und je nach Batterietyp kann die Zelle Schaden nehmen. Deshalb darf bei der Entladung diese Schlussspannung nicht unterschritten werden.

### **Die Angabe der Lade- und Entladeströme**

Der Ladestrom wird auf den Zellen oder in den Datenblättern meistens *in Bezug zur Nennkapazität* angegeben; dabei sind Angaben wie  $C/10$  oder  $C/5$  üblich. C ist die Nennkapazität, und die Zahl nennt eine Anzahl Stunden. Für eine 1000-mAh-Zelle bedeutet ein Ladestrom von  $C/10$ :  $1000 \text{ mAh} / 10 \text{ h} = 100 \text{ mA}$ ; und  $C/5$  bedeutet  $1000 \text{ mAh} / 5 \text{ h} = 200 \text{ mA}$ . Manchmal wird die Laderate auch durch einen Dezimalbruch ausgedrückt. Die Schreibweise ist dann:  $0.1C (=C/10)$ ,  $0.2C (=C/5)$  oder für höhere Ströme z.B.  $1C$  oder  $2C$ . Dabei muss man sich zusätzlich die Stunden hinter einem Bruchstrich vorstellen: /h oder – was das Gleiche ist – man macht aus den Amperestunden einfach Ampere.

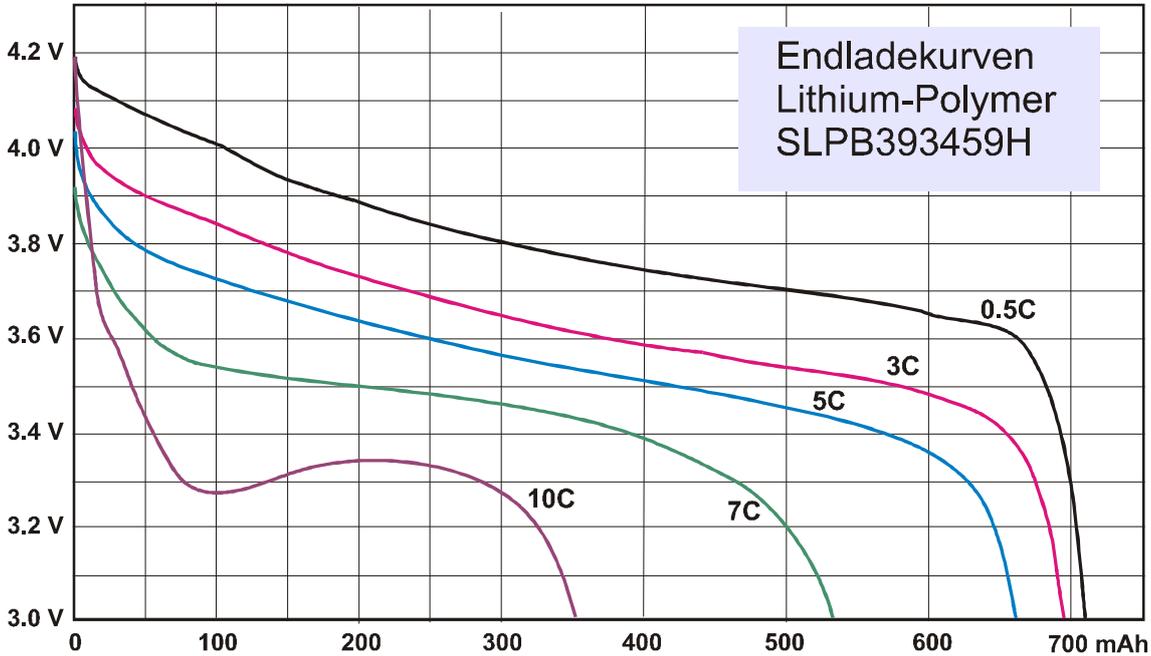
### **Die Kapazität hängt vom Strom ab**

Die Kapazitätsangaben in Datenblättern gelten für die Entladung während einer bestimmten Zeit. Bei Entladungen in kürzerer Zeit - d.h. mit einem höheren Strom - ist die entnehmbare Kapazität kleiner.

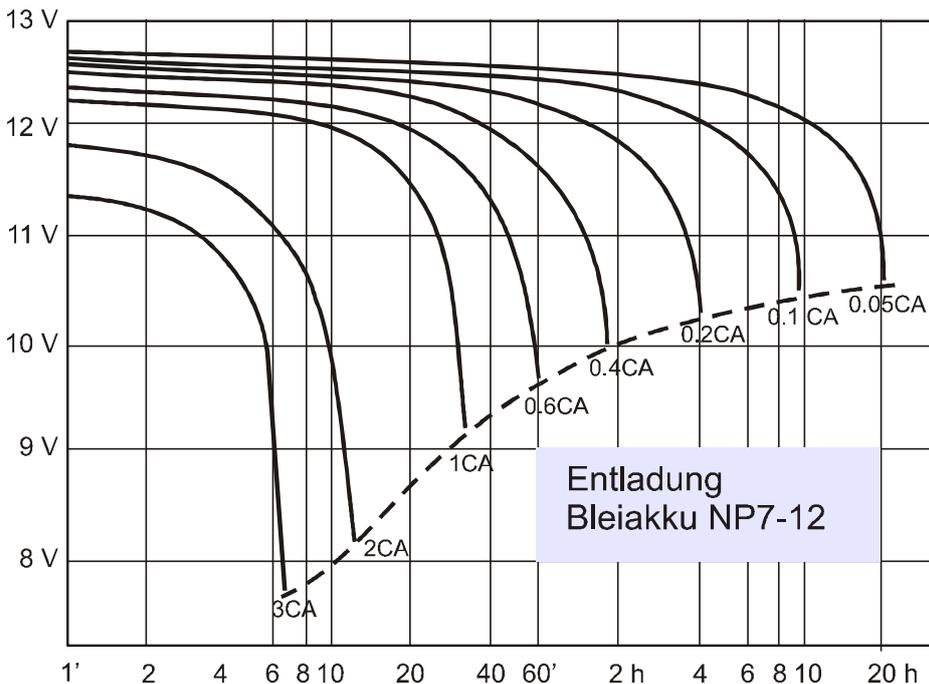
Für Bleiakkumulatoren gilt die Nennkapazität normalerweise bei einer 20-stündigen Entladung ( $0.05 C$ ); für NiCd- und NiMH-Akku bei 5 bis 10-stündiger Entladung ( $C/10$  bis  $C/5$ ); Für Lithium-Polymer-Akku bei 2 bis 5-stündiger Entladung ( $0.2 C$  bis  $0.5 C$ ).

Für den Einzelfall ist das Datenblatt massgebend.

**Beispiel 1:** Die Nennkapazität von 700 mAh dieses Lithium-Polymer-Akkumulators ist für eine zweistündige Entladung spezifiziert. (C/2 bzw. 0.5C) D.h. bei einer Entladung mit 350 mA beträgt die Kapazität = 700 mAh. Bei einer Entladung mit 10C, (d.h. 7 A!) ist die Kapazität nur noch halb so gross nämlich 350 mAh, und die Zelle ist in 3 Minuten entladen. (350 mAh / 7 A = 0.05 h = 3 Min.)



**Beispiel 2:** Die Nennkapazität von 7 Ah dieses Bleiakкумуляtors gilt für eine Entladung während 20 Stunden.  $7 \text{ Ah} / 20 \text{ h} = 350 \text{ mA}$ . Der Akku kann also 350 mA während 20 h abgeben. Entladet man mit 2.8 A (0.4 C), dann ist der Akku nach etwa 1½ h entleert; die entnehmbare Kapazität ist bei diesem Strom somit nur noch 4.2 Ah: (1.5 h \* 2.8 = 4.2 Ah). Entlädt man mit 21 A (3C), so ist der Akku nach 6 Min entladen. Die Kapazität bei diesem Strom ist somit  $21 \text{ A} * 0.1 \text{ h} = 2.1 \text{ Ah}$ .



## Übersicht über die wichtigsten Akkutypen [1]

Eigenschaften	NiCd	NiMH	Blei	Lithium-Ionen	Li-Ionen-Polymer
Energiedichte in Wh/kg	45...80	60...120	30...50	110...160	150... 200
Lebensdauer in Zyklen	1500	300...500	200...300	500...1000	300...500
Toleranz gegen Überladen	mässig	klein	hoch	sehr klein	klein
Selbstentladung/Monat	20 %	30 %	3 %	2...8 %	2...8 %
Nennspannung/Zelle	1.2 V	1.2 V	2 V	3.7 V	3.7 V
Wartungsintervall (Tage)	30..60	60..90	90..180	nicht nötig	nicht nötig
Wirkungsgrad	66 %	75 %	80... 98 %	100 %	100 %
Lagern		Kühl. Ladezustand ca. 40%	In geladenem Zustand. Zellenspannung > 2.1 V	Teilentladen bei 15 °C	
Besonderes	Regelmässiges Training nötig. (Entladen auf 1.0 V)		Tiefentladungen verkürzen die Lebensdauer	Benötigt eine Schutzelektronik. Altert unabhängig vom Gebrauch.	Biegbare Zellen: Jede Form ist möglich.

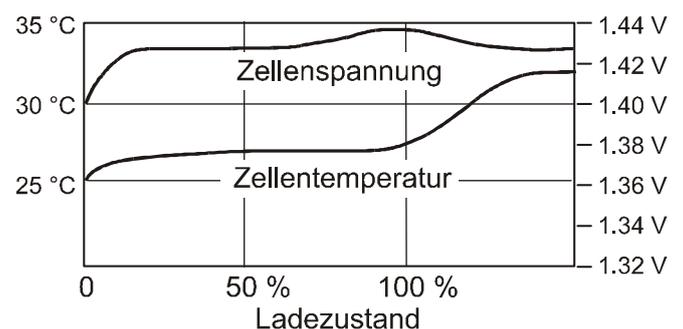
## Laden

Falls kein spezielles Ladegerät z.V. steht, kann ein gewöhnliches Bastlernetzgerät mit einstellbarer Spannung und Strombegrenzung verwendet werden. Mit einem solchen Gerät ist es möglich, praktisch alle gängigen Batterietypen zu laden. Das Netzgerät begrenzt den Ladestrom auf den eingestellten Wert, und es gewährleistet, dass die Ladespannung nicht über den eingestellten Wert steigt. Dass die eingestellten Grenzwerte für Spannung und Strom auch richtig sind, dafür ist jedoch allein der Anwender zuständig! Das gilt auch für die Einhaltung der Ladedauer und ggf. für das Überwachen der Batterietemperatur.

### Nickel-Cadmium-Batterien laden

Ladeprozess: Man schickt während der Ladedauer einen bestimmten, konstanten Strom durch die Batterie. Die eingestellte Spannung ist unkritisch; sie muss jedoch mindestens so gross sein, dass der gewünschte Ladestrom während der ganzen Ladedauer fliesst. ( $\geq 1.7 \text{ V/Zelle}$ )

Bei Erreichen der Vollladung werden die Zellen warm und die Spannung sinkt leicht. Die



Erwärmung rührt daher, dass ein vollgeladener Akku keine Ladung mehr aufnehmen kann. Er gibt die zugeführte Energie in Form von Wärme ab.

Der Standardladestrom beträgt  $C/10$ .

Ladedauer: 14 bis 16 Stunden.

Beispiel:

Eine Batterie aus 15 NiCd- Zellen P-220C von Panasonic soll geladen werden. Kapazität: 2.2 Ah; Ladestrom:  $C/10 = 2.2 \text{ Ah} / 10 \text{ h} = 220 \text{ mA}$ ; ungefähre Ladespannung:  $15 * 1.7 \text{ V} = 25.5 \text{ V}$ . Das Netzgerät wird auf einen Strom von 220 mA und eine Spannung von ungefähr 26 V eingestellt.

Wirkungsgrad:

16 Stunden Laden mit 220 mA ergibt eine Ladung von 3.52 Ah. Die eingegebene Ladung ist somit anderthalbmal so gross wie die entnehmbare Ladung (2.2 Ah)! Das ist so, weil die NiCd- und die NiMH-Akkumulatoren schlechte "Futtermalverwerter" sind. Für die Brauchbarkeit spielt indessen dieser schlechte Wirkungsgrad in den meisten Anwendungen keine Rolle.

Faustregel:

NiCd- und NiMH-Akkumulatoren werden 14 bis 16 Stunden lang mit einem Strom von  $C/10$  geladen.

Ladeerhaltungsstrom: etwa 0.05 C.

### **Nickel-Metallhydrid-Batterien laden**

NiMH-Akku unterliegen im praktischen Gebrauch dem gleichen Ladeprinzip wie NiCd. Die Erwärmung bei Erreichen der Vollladung ist allerdings grösser.

NiMH-Akku sind empfindlicher gegen das Überladen. Sollte ein NiMH-Akku einmal unter Zeitdruck geladen werden, d.h. mit einem Ladestrom grösser als  $C/10$ , dann ist der Ladestrom gegen Schluss der Ladung wieder zurückzufahren. Temperatur und Spannungsverlauf müssen bei Schnellladungen dauernd überwacht werden. Das Sinken der Ladespannung nach Erreichen der Vollladung ist bei NiMH weniger ausgeprägt als bei NiCd.

Schnellladegeräte für NiCd, welche auf eine sinkende Ladespannung als Kriterium für den Ladeschluss eingestellt sind, könnten somit einen NiMH-Akku überladen.

Die erstmalige Ladung fabrikneuer NiMH-Akkumulatoren beträgt 20 Stunden mit einem Ladestrom von  $C/10$ .

Beispiel:

Ein NiMH-Akku Varta 10/VH3000 4/3 A (3 Ah, vulgo "grüne Batterie") soll geladen werden:

Ladespannung: 10 Zellen \* 1.7 V = mindestens 17 V

Ladestrom:  $C/10 = 3 \text{ Ah} / 10 \text{ h} = 300 \text{ mA}$

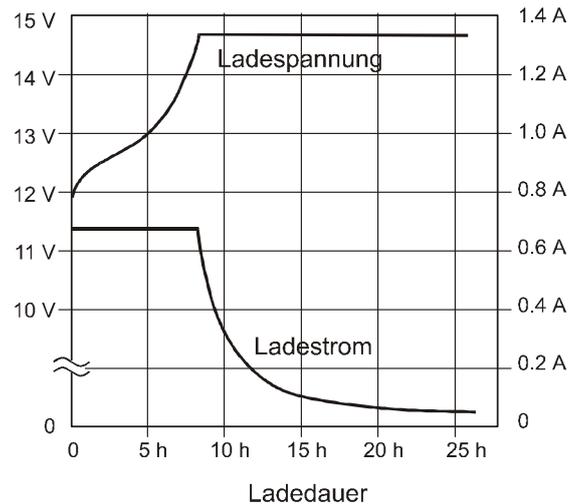
Das Netzgerät wird somit eingestellt auf einen Strom von 300 mA und eine Spannung von mehr als 17 V.

Erstmalige Ladezeit, falls fabrikneu ab Flohmarkt: 20 h, sonst 14 – 16 h.

Ladeerhaltung: etwa 0.05 C

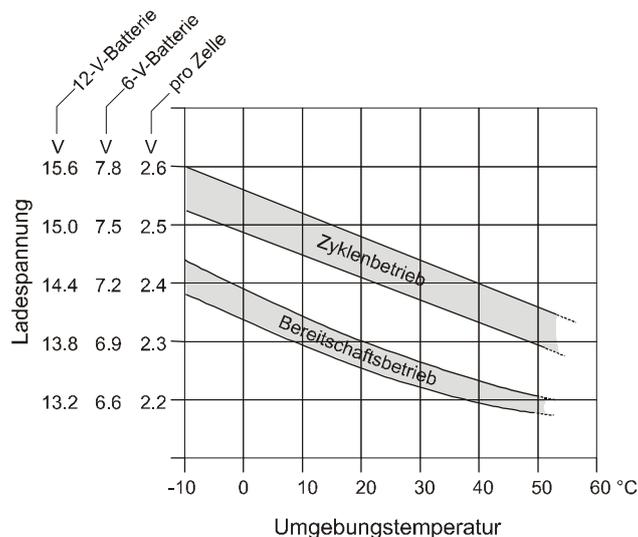
**Bleiakkumulatoren laden**

Beim Laden müssen sowohl für die Spannung, wie auch für den Strom Grenzwerte eingestellt werden. Am Anfang des Ladevorgangs würde der Bleiakku soviel Strom schlucken wie man ihm gibt, deshalb muss der Ladestrom begrenzt werden. Wird im Verlauf der Ladung die maximale Ladespannung erreicht, so muss das Ladegerät dafür sorgen, dass diese nicht mehr steigt. Der Ladestrom nimmt nachher laufend ab. Der Bleiakku ist geladen, wenn er bei der maximalen Ladespannung keinen nennenswerten Ladestrom mehr zieht. Das Bild veranschaulicht diese Zusammenhänge.



Die genaue Ladespannung kann dem Datenblatt entnommen werden; sie hängt von zwei Faktoren ab:

- Temperatur: Je höher die Temperatur, desto kleiner muss die Ladespannung sein
- Einsatzart: Bleiakkumulatoren im *Bereitschaftsbetrieb* (dauernd am Ladegerät angeschlossen) erhalten eine niedrigere Ladespannung als Akkumulatoren, die im *Zyklusbetrieb* gebraucht werden (Laden – Entladen – Laden...)



**Ladeverfahren:**

Maximale Ladespannung: 2.45 V/Zelle bei 25°C, d.h. 14.7 V für eine 12-V-Batterie, welche im Zyklusbetrieb eingesetzt wird.

Ladestrom: Datenblätter älterer Typen verlangen eine Begrenzung auf C/10 (Ladezeit: 11-12 Stunden). Neuere Typen können mit C/4 geladen werden, Ladezeit somit 4...5 h.

Beispiel:

Ein Yuasa-Bleiakku NP7-12 (12 V, 7 Ah) soll geladen werden:

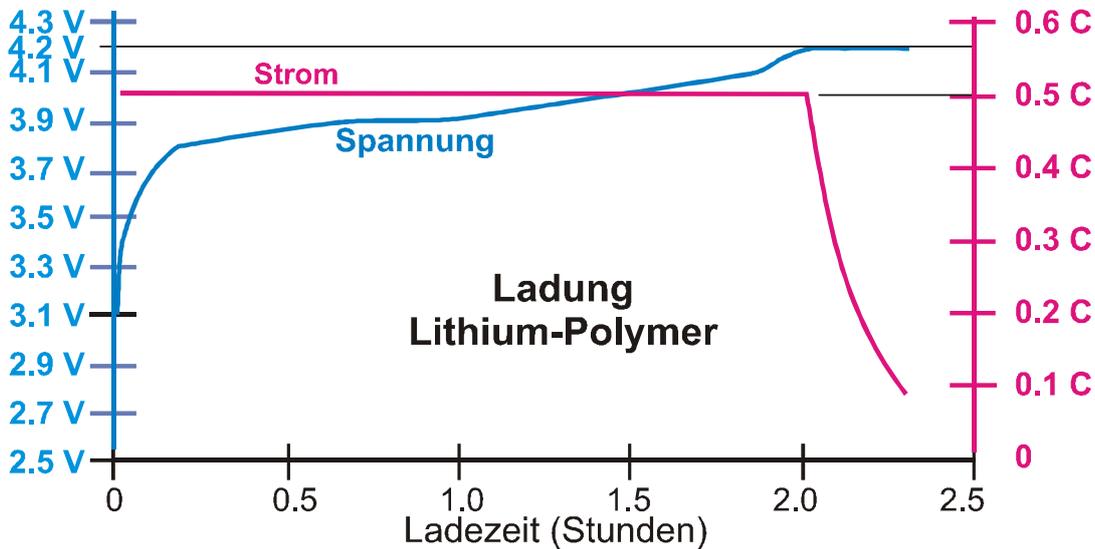
Maximale Ladespannung = 2.45 V \* 6 Zellen = 14.7 V. (Im Gegensatz zu NiCd und NiMH muss diese Spannung genau eingestellt werden)

Ladestrom laut Datenblatt 0.25 C: 7 Ah\*0.25 / h = 1.75 A

Das Netzgerät wird eingestellt auf einen Strom von 1.75 A und eine Spannung von 14.7 V.

### Lithium-Polymer-Akkumulatoren laden

Das Laden geschieht nach dem gleichen Prinzip wie für Bleibatterien, wenn auch mit anderen Strom- und Spannungswerten. Im Gegensatz zu den Bleiakkumulatoren ertragen Lithium-Polymer-Akku keine Überladung! Verschiedene Hersteller verlangen übereinstimmend, dass die Ladespannung mit einer Toleranz von +/- 30..50 mV pro Zelle eingehalten werde. Die am Netzgerät eingestellte Spannung muss daher mit einem verlässlichen Voltmeter kontrolliert werden.



Maximale Ladespannung: 4.20 V

Ladestrom: Hersteller geben maximale Ladeströme von 0.7C bis 1 C an. (Diese Batterien werden oft in Geräten eingesetzt, in denen eine kurze Aufladezeit wichtig ist.) Wenn mehr Ladezeit zur Verfügung steht, ist ein Ladestrom von 0.2 C bis 0.5 C ausreichend; was zugleich die Anforderungen an das Netzgerät senkt.

Ladezeit in diesem Fall etwa 2 bis 5 Stunden

Ladeschluss: Eine Lithium-Ionen-Batterie ist geladen, wenn bei der maximalen Ladespannung der Ladestrom auf 0.05C gesunken ist.

Ein Ladeerhaltungsstrom ist nicht nötig.

Beispiel:

Eine Lithium-Polymer-Batterie aus vier Zellen des Typs Kokam SLPB533459H4 (740 mAh) soll geladen werden:

Maximale Ladespannung = 4.20 V \* 4 Zellen = 16.80 V

Ladestrom: 0.5C = 0.5 \* 740 Ah = 370 mA, Ladezeit somit etwa 2 Stunden.

Das Netzgerät wird eingestellt auf einen Strom von 370 mA und eine Spannung von genau 16.80 V.

### Ladungsarten

In den Datenblättern werden für NiCd- und NiMH-Akkumulatoren häufig verschiedene Laderaten aufgeführt:

Übernachtladung, Normalladung, Standard charge	10 bis 16 Stunden
Beschleunigte Ladung, Quick charge	3 bis 4 Stunden
Schnellladung, Fast charge	1 bis 2 Stunden
Ladeerhaltung, Trickle charge	Mehrere Tage

Die bisher vorgestellten Ladungsarten beziehen sich auf die Normalladung. Für diese gelten die oben angegebenen Faustregeln für die Ladeströme und -zeiten.

Lithium-Akkumulatoren können mit Laderaten gefüllt werden, die hier mit Schnell- bzw. Beschleunigte Ladung bezeichnet sind. Massgebend ist in jedem Fall das Datenblatt.

Für Schnellladungen müssen zusätzliche Messwerte berücksichtigt werden: Nebst der Zeit sind dies Temperatur, Temperaturänderung, Spannungsänderung. Häufig laden Schnelllader mit grossem Strom bis zu einer Füllung von etwa 70 %, nachher folgt eine schwächere Ladung, die länger dauert.

### **Womit laden?**

Normalerweise werden Akkumulatoren mit dem Ladegerät geladen, das mit dem Gerät, das jene speisen sollen, geliefert wurde. Solche Spezialladegeräte sind jedoch zum Laden von Einzelzellen, von Selbstbau- und anderen Batterien nicht anwendbar. Hier bietet ein normales Bastler- oder Labornetzgerät die grösste Flexibilität. Strom und Spannung können für praktisch alle im Haushalt und in der Amateurradiostation verwendeten Akkumulatoren eingestellt werden. Im Gegensatz zu einem apparatespezifischen Ladegerät hat man mit einem Netzgerät vollständige Kontrolle über den Ladevorgang. Für die Einhaltung der Strom- und Spannungswerte und der Ladezeiten ist allerdings der Benutzer selbst verantwortlich.



Für Selbstbauer sei auf das Buch *Netz- und Ladegeräte selbst gebaut* von DJ3RW verwiesen, das im USKA-Warenverkauf erhältlich ist.

## Entladen

Der Entlade-Spannungsverlauf **einer Zelle** geht von der Leerlaufspannung im geladenen Zustand bis zur Entladeschlussspannung:

Akkumulatortyp	Leerlaufspannung, im geladenen Zustand	Entladeschlussspannung
Bleiakku	ca. 2.4 V	1.7 V
Nickel-Cadmium, Nickel-Metallhydrid	ca. 1.35 V	1.0 V
Lithium-Polymer	4.20 V	3.0 V

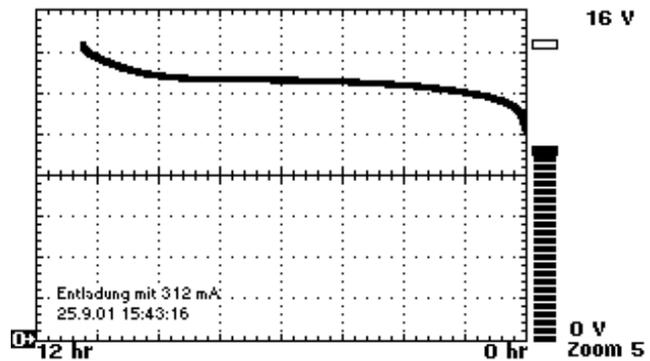
Die Spannung einer 12-V-Batterie, bestehend aus 10 NiMH-Zellen hat somit während der Entladung einen Spannungsverlauf von ca. 13.5 V bis 10 V.

Beispiel:

Eine "grüne" 3-Ah-NiMH-Batterie wird mit einem konstanten Strom von 312 mA entladen. Nach 10 Stunden und 15 Minuten hat die Spannung 10 V unterschritten, und die Entladung wird hier angehalten.

Die Batterie hat eine Ladung von

$10.25 \text{ h} \cdot 0.312 \text{ A} = 3.2 \text{ Ah}$  abgegeben; ihr Zustand ist somit einwandfrei.



Entladekurve einer NiMH-Batterie

## Womit entladen

Am einfachsten ist es, die Batterie mit jenem Gerät zu entladen, für welches die Batterie vorgesehen ist. Das gibt allerdings kaum Anhaltspunkte für den Zustand der Batterie. Für Mess- und Wartungsentladungen eignet sich daher eher eine Konstantstromsenke oder ein Akkupflegger, die der Batterie einen konstanten Strom entnehmen. In Ermangelung einer solchen Stromsenke kann man die Batterie auch über einen Widerstand entladen. Dieser Widerstand kann aus einem beliebigen Verbraucher bestehen, der einen Strom der gewünschten Stärke zieht und die entsprechende Leistung aufnehmen kann. Um Aussagen über die Batteriekapazität zu erhalten, müssen Strom und Zeit protokolliert werden. Die Spannung muss während des Entladens dauernd - elektronisch oder manuell - überwacht werden, damit die Entladung angehalten werden kann, wenn die Entladeschlussspannung erreicht ist.

Ein Gerät, das die hier beschriebenen Aufgaben wahrnimmt, ist z.B. der Akkupflegger ALC 8500 Expert von ELV.



***Tiefentladung***

Jegliche Entladung muss aufhören, wenn die Zellen die Entladeschlussspannung erreicht haben. Lithiumbatterien nehmen bleibenden Schaden, wenn sie zu tief entladen wurden! NiCd-Zellen sind hier weniger heikel. Man sollte die Ladeschlussspannung indessen auch bei NiCd einhalten und zwar aus folgendem Grund: Angenommen, eine NiCd-Batterie aus zehn Zellen werde bis auf 8.5 V entladen. Das kann u.a. bedeuten, dass jede der Zellen 0.85 V hat. Kein Problem für NiCd, wenn hier die Entladung aufhört. Es könnte jedoch auch sein, dass 9 Zellen je 1.0 V haben, und dass eine Zelle  $-0.5$  V hat. Die schwächste Zelle wäre in diesem Falle umgepolt worden; das ertragen selbst NiCd-Zellen nur kurze Zeit.

## Wartung

Ziel der Wartung ist, bei Einsatzbeginn eine voll geladene Batterie zu haben, mit der Gewissheit, dass diese in der Lage ist, ihre Kapazität vollumfänglich abzugeben.

NiCd- und NiMH-Akkumulatoren dürfen nicht über Wochen an einem Ladegerät angeschlossen sein. Man muss sie einem periodischen "Training" unterwerfen, um ihre Einsatzbereitschaft sicherzustellen.

Bei Bleiakkumulatoren genügt es, sie ein- oder zweimal pro Jahr nachzuladen.

Lithium-Akkumulatoren benötigen keine Wartung.

## Akkutraining

NiCd- und NiMH-Akkumulatoren sollten etwa alle 1 bis 2 Monate auf 1 V/Zelle entladen und wieder aufgeladen werden. (Ja, auch NiMH-Akku haben einen gewissen "Memory"-Effekt!)

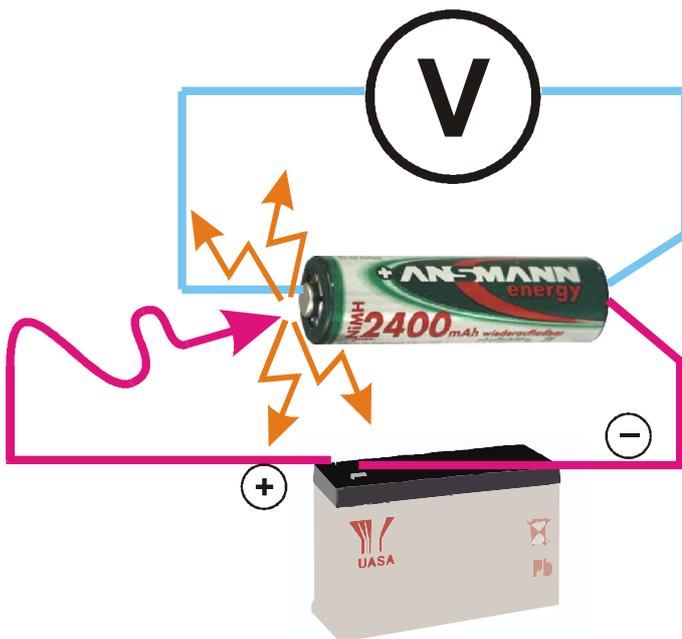
Batterien, die längere Zeit nicht gewartet wurden, benötigen überdies eine *Rekonditionierung*: Entladen bis 1 V/Zelle; nachher mit schwächerem Entladestrom bis 0.4 V/Zelle entladen, nachher wieder laden. (Bei Batterien: Vorsicht vor Umpolung einzelner Zellen!) Es empfiehlt sich sehr, die Messresultate der Wartungsentladungen aufzeichnen!

## Retten von Zellen mit internem Kurzschluss

Kochrezept zum Retten von NiCd-Zellen mit Kurzschluss gemäss General Electric:

- Kurzschluss lösen (Starker, kurzer Stromstoss - 5 bis 15 A - in Laderichtung; etwa mit Hilfe eines anderen Akkumulators)
- Zelle 24 h kurzschliessen
- Laden mit 0.1 C während 2 Min.
- Ruhepause von 90 Min.
- Wenn die Zelle dann eine Spannung von mehr als 0.5 V hat, 20 h laden mit 0.1 C  
andernfalls Zelle entsorgen

Schaltung zum Lösen des Kurzschlusses:

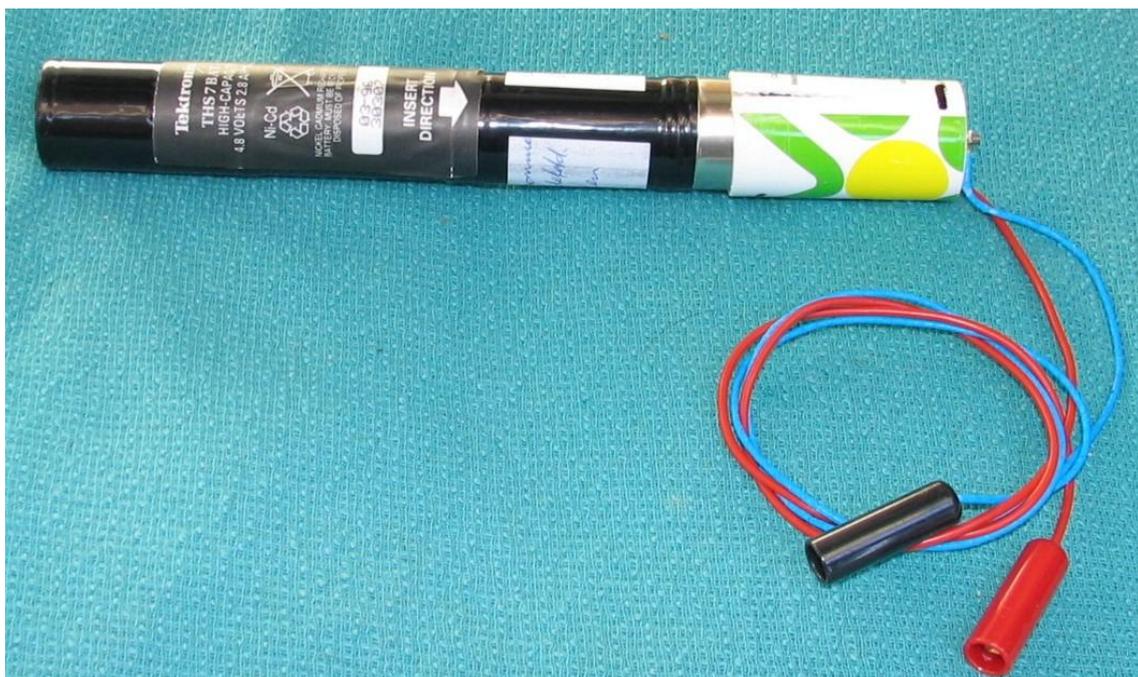


### **Akkupacks und ihr Inhalt**

Akkupacks haben eine spezielle Form, die genau auf das zu speisende Gerät abgestimmt ist. Ihr Inhalt besteht demgegenüber aus handelsüblichen Standardzellen. Ersatzzellen kosten nur einen Bruchteil dessen, was ein Ersatz-Akkupack kostet. Es lohnt sich daher, ein Akkupack zu öffnen und die verbrauchten Zellen zu ersetzen. Das Wiederverschließen ist indessen nicht immer einfach, weil die Aussenmasse nachher wieder genau stimmen müssen. Im Weiteren ist darauf zu achten, dass eine allfällige Schutzelektronik in ihrer Funktion nicht beeinträchtigt wird.

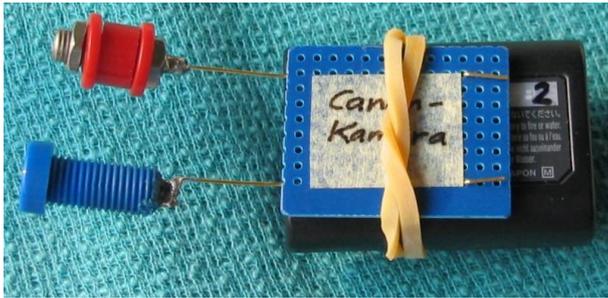
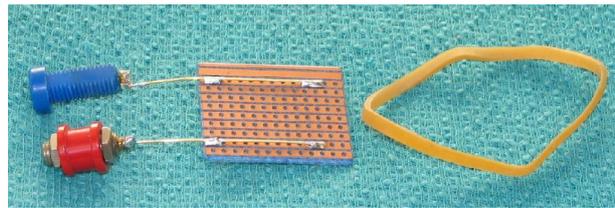
### **Anschlüsse und Kontakte**

Geräteabhängig gefertigte Batteriepacks haben meist keine abgreifbaren Kontakte sondern Steckbuchsen oder Kontaktflächen. Um sich Zugriff auf diese Akkumulatoren zu verschaffen, muss man spezielle Adapter anfertigen, die z.B. mit Gummibändern an die Kontaktflächen des Batteriepacks gedrückt werden

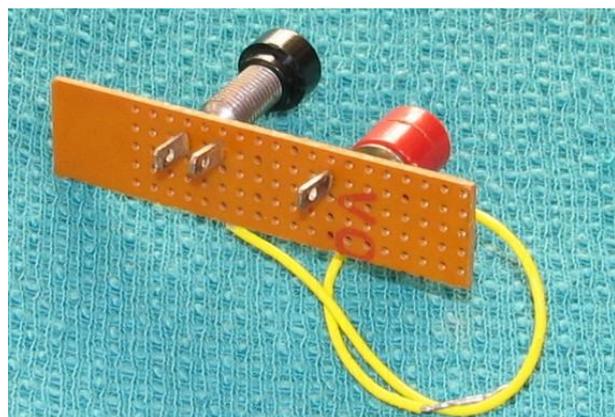
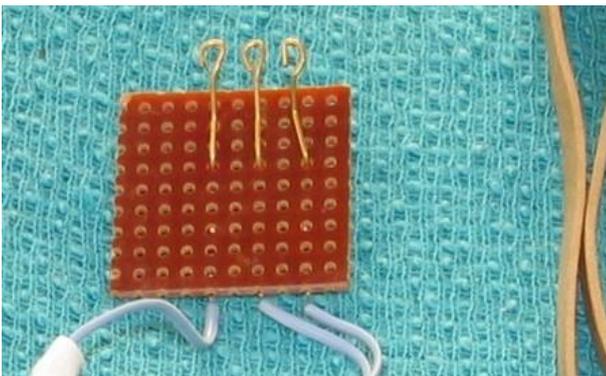


Beispiel für die Kontaktierung eines Akkupacks in Säulenform.

Beispiel eines Anschlussadapters für ein Kamera-Akkupack:



Beispiele für die Kontaktierung von Akkupacks für Handfunkgerät, Satellitentelefon und PC



In diesem Beispiel für die Kontaktierung eines Multimeter-Akkumulators wurde das Ladegerät mit vergoldeten Federkontakten bestückt, welche über zwei Schrauben im Messgerät Verbindung mit dessen Batterie herstellen.



## Batterieelektronik

Beim Messen und Prüfen von unbekanntem Batteriepacks muss man sich bewusst sein, dass der direkte Zugriff zu den Zellen möglicherweise durch die Zwischenschaltung einer Schutzelektronik verhindert wird.

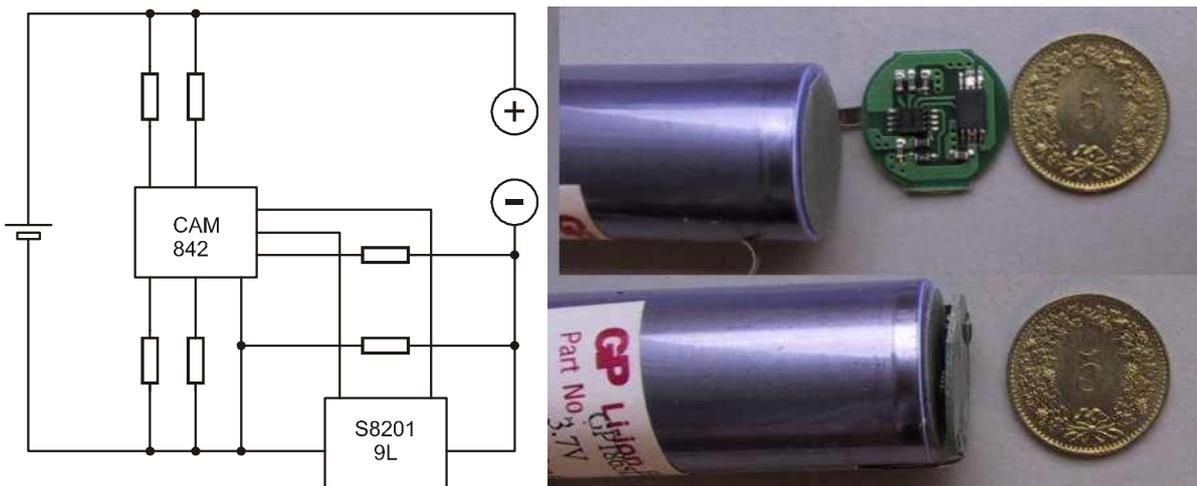
NiCd- und NiMH-Pakete haben häufig einen Thermoschalter im Ladepfad, der an einen dritten Kontakt herausgeführt wird, welcher nur zum Laden benutzt wird.

Versiegelte Batteriepacks enthalten oft eine umfangreiche Elektronik, bestehend aus diversen Prozessoren, Reglern und Schaltern. Diese nehmen u.a. die folgenden Aufgaben wahr:

Messen von Strom, Spannung, Temperatur jeder einzelnen Zelle, Lade-/Entladezyklen und Verbrauchsmuster archivieren, Lade- und Entladeströme steuern, die verbleibende Betriebszeit berechnen, unterschiedliche Spannungen der Zellen ausgleichen, Kommunikation mit dem zu speisenden Gerät z.B. über einen standardisierten Bus.

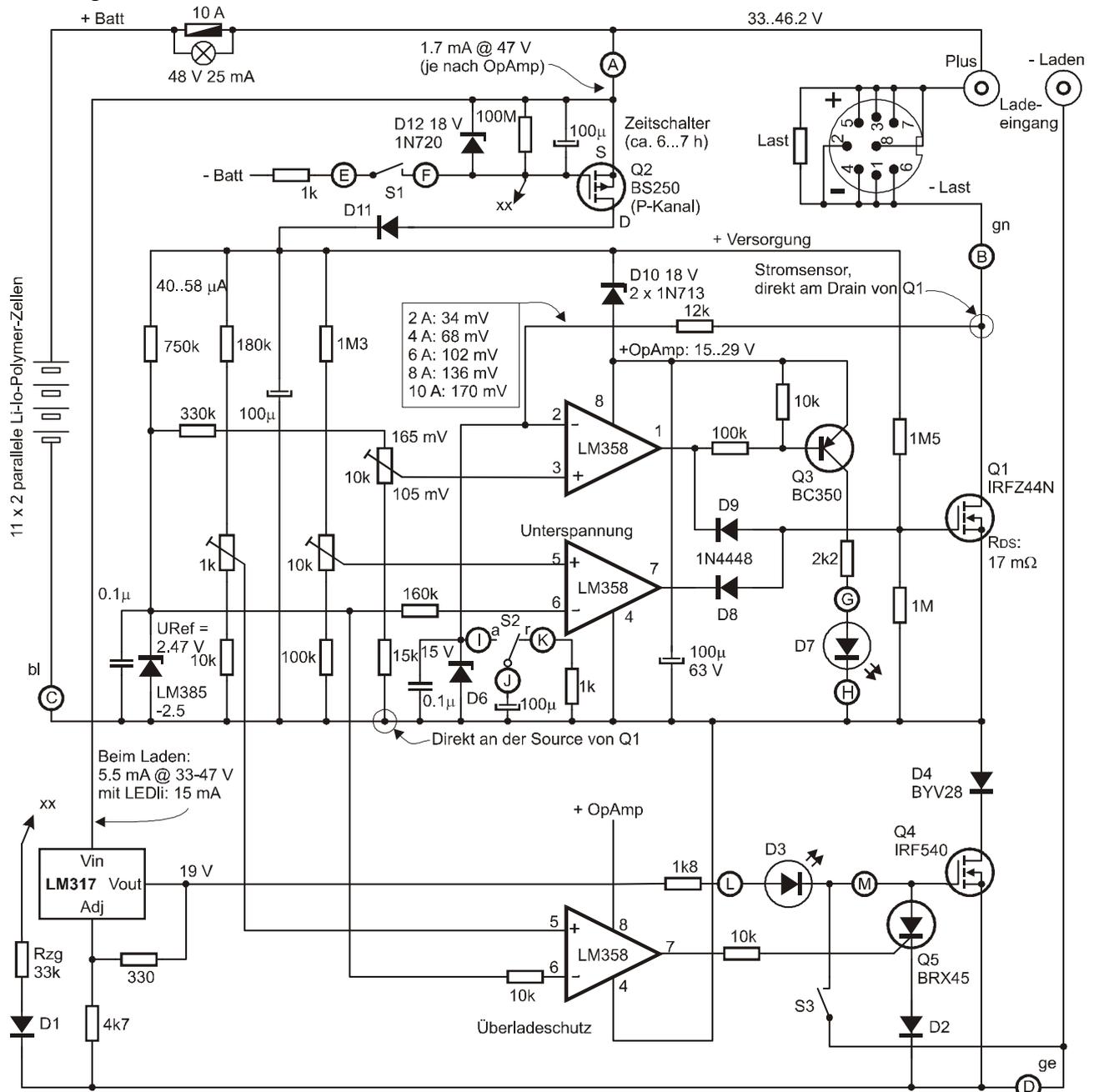
Beispiel für eine Schutzschaltung für **eine einzelne** Lithium-Ionen-Zelle:

Diese Schutzschaltung von der Größe eines Fünfrappenstücks ist fest mit der Zelle verbunden. Sie unterbricht den Stromkreis in folgenden Fällen: Entladestrom  $> 2.5\text{ A}$ , Ladespannung  $> 4.35\text{ V}$ , Entladespannung  $< 2.30\text{ V}$ .



Schutzschaltung für eine Zelle von 1700 mAh

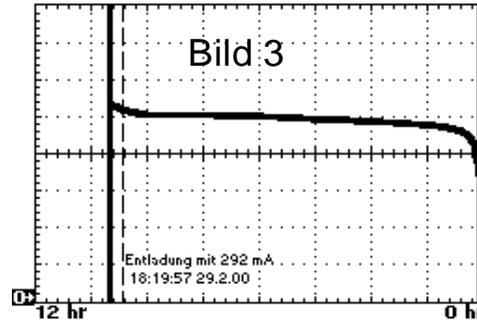
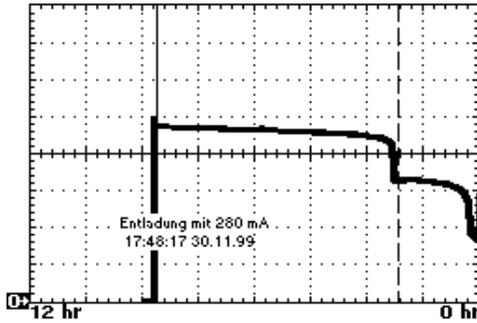
Beispiel für eine Selbstbau-Schutzelektronik: Diese hat die Aufgabe, einen Akku bestehend aus elf Paaren von parallel geschalteten Lithium-Polymer-Zellen von je 3.2 Ah zu schützen. Nennspannung: 41 V, Kapazität: 6.4 Ah. Die Elektronik unterbricht den Ausgangsstrom, wenn dieser 8 A übersteigt, oder wenn die Batteriespannung auf 33.0 V gesunken ist. Beim Laden stellt die Schaltung sicher, dass die Ladespannung 46.2 V nicht übersteigt.



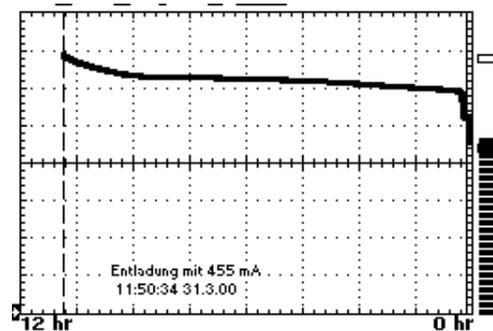
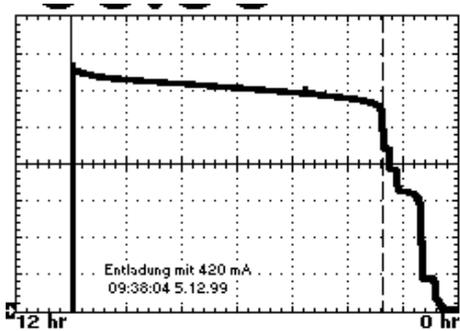
## Aus der Praxis:

### *Vorzeitiger Ausfall einer Zelle*

Diese Mess-Entladung (Bild links) deckt den vorzeitigen Ausfall einer Zelle einer Batterie von vier NiMH-Zellen auf. Rechtes Bild: normale Entladekurve.

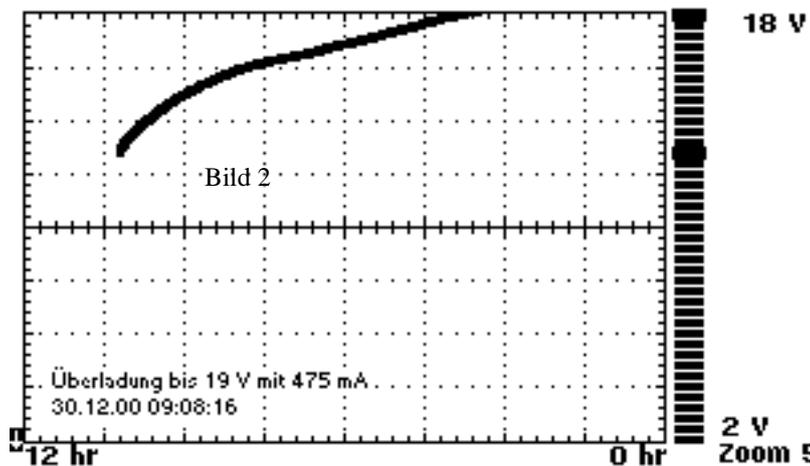


Zwei Beispiele von vorzeitigem Ausfall von Zellen einer 12-V-Batterie



In diesen Fällen empfiehlt es sich, die vorzeitig ausgefallenen Zellen - ggf. mehrmals - separat einem Zyklus Laden-Entladen zu unterziehen.

### *Überladen eines Lithium-Ionen-Akkus*



Infolge einer Fehlmanipulation wurde eine Batterie aus vier Lithium-Ionen-Zellen auf 19 V statt auf 16.8 V geladen. In einer anschliessenden Mess-Entladung gab die Batterie die *dreifache Kapazität* ab! Weitere Normladungen und –entladungen ergaben, dass die Batterie in der Folge nur noch einen kleinen Bruchteil der Nennkapazität hatte.

## Eine Batterie zusammenstellen

Grundregel: Nicht verschiedene Zellen mischen: Alle Zellen einer Batterie müssen nicht nur vom genau gleichen Typ sein, sondern sie sollten auch aus dem selben Produktionslos stammen. (Stempelaufdruck oder andere Kennzeichnung)

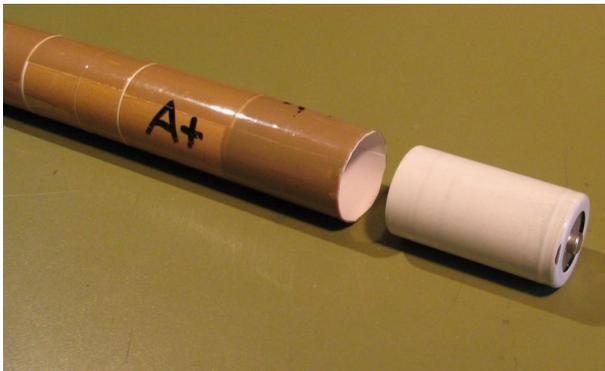
Für Wartungszwecke sollte jede Zelle von aussen zugreifbar sein. Dies ermöglicht später das Angleichen von Zellen aneinander.

Hersteller weisen darauf hin, dass Zellen beim Löten beschädigt werden könnten, deshalb sollte man für die Verbindung untereinander wenn möglich Zellen mit Lötflächen verwenden. Für batterie-interne Verbindungen eignet sich ein Flachband-Cu-Geflecht, das man z.B. aus dem Mantel eines dünnen Koaxkabels (RG-174) herstellen kann.

### Zylindrische Zellen

Zellen können mit Leim, mit Schrumpfschlauch oder mit Klebband zu einer Batterie vereinigt werden. Für den Amateur ist wohl die Klebbandmethode die nächstliegende.

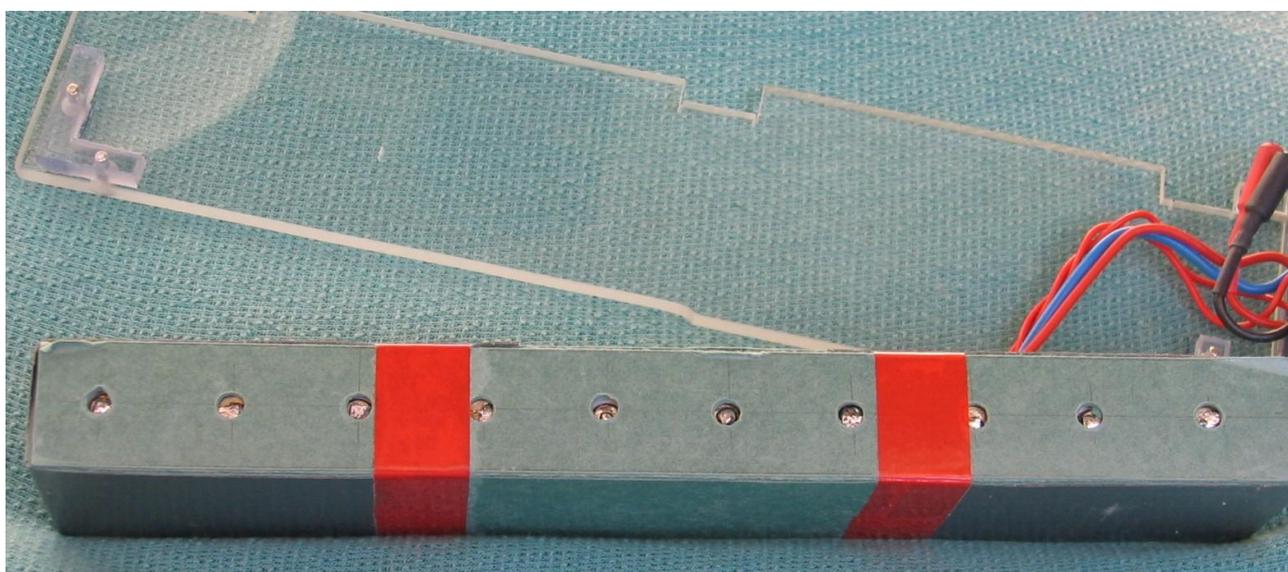
Eine weitere - eher amaturgemässe - Möglichkeit ist die, dass man die Zellen in eine Anzahl gleich grosser Säulen aufteilt. Mit Papier von etwa 0.2 – 0.25 mm Dicke erstellt man ein Rohr, dessen Innendurchmesser dem Zellendurchmesser entspricht. Das Papierrohr



wird mit dünnem Klebband umwickelt, und die (nicht verdrahteten) Zellen werden im Rohr aneinander gestossen. Jede Säule wird beidseitig mit einem Batteriehalter (sog. Batterieclip) abgeschlossen. Die Batteriehalter müssen auf einer festen Unterlage befestigt sein, die den mechanischen Druck aufbringen kann, der für einwandfreien Kontakt zwischen den Zellen in der Säule nötig ist.



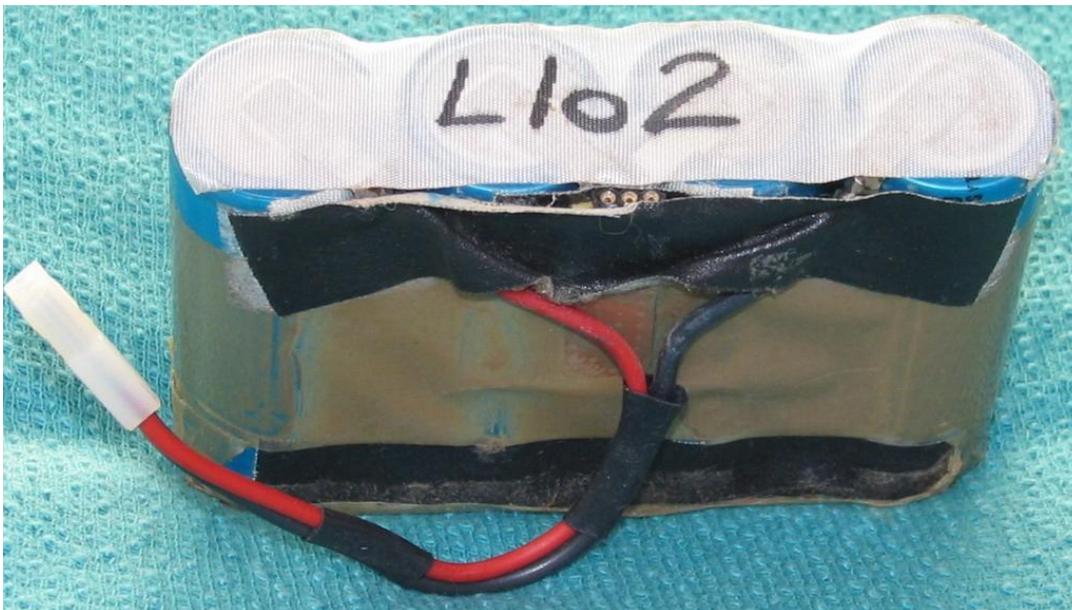
Beispiel für eine Batterie, konfektioniert aus zylindrischen Zellen, die in einem Kartonbehälter angeordnet sind. Die Verbindung zwischen den Zellen erfolgt durch versilbertes Geflecht aus dem Mantel eines Koaxialkabels. (direkt an die Zellen gelötet;). Die verdrehten roten Drähte führen zu einem Thermoschutzschalter. Der Kartonbehälter hat am Boden Löcher, damit jede einzelne Zelle gemessen werden kann.



Für diese einfache 9-V-Allzweckbatterie dienen zwei Versandverpackungen als Halterung für die Zellen. Die Verbindungen sind gelötet; eine Pertinaxplatte gibt Stabilität und trägt die Anschlussbuchsen.



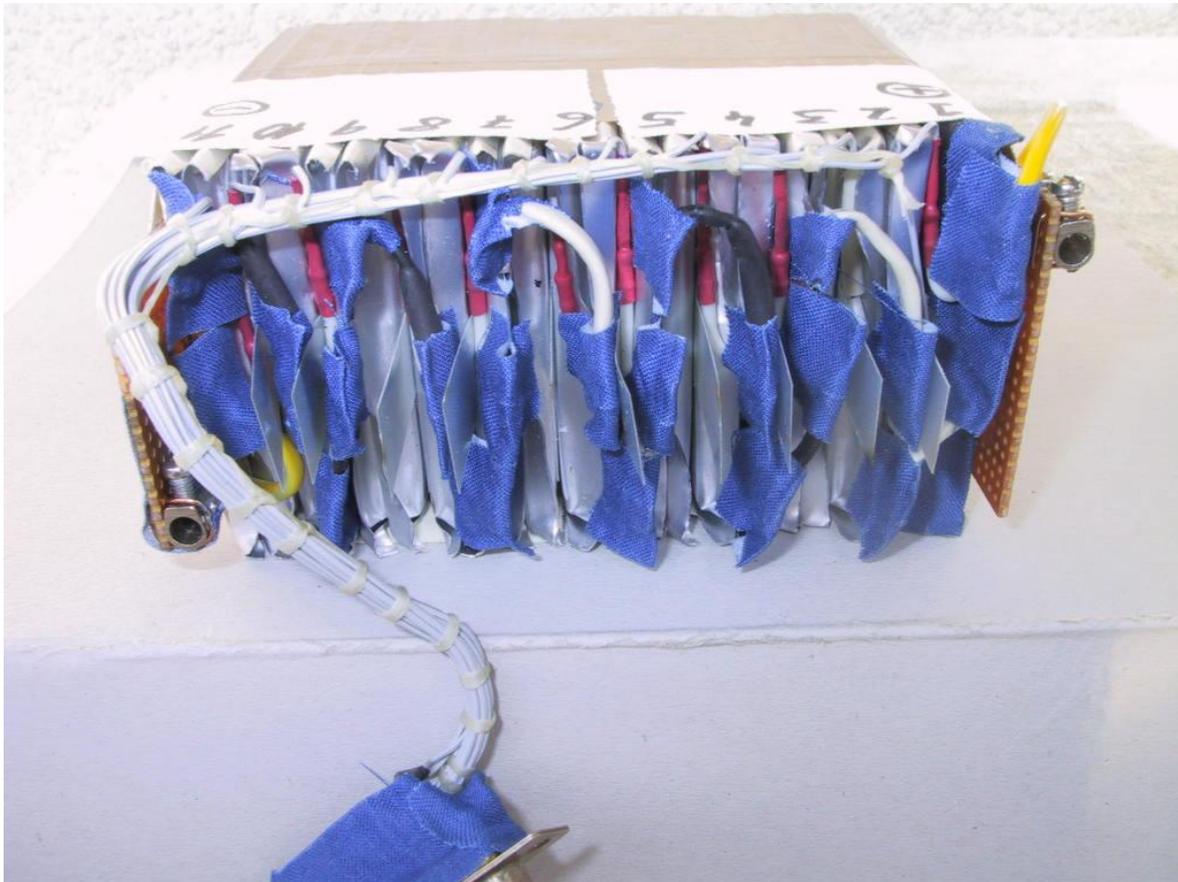
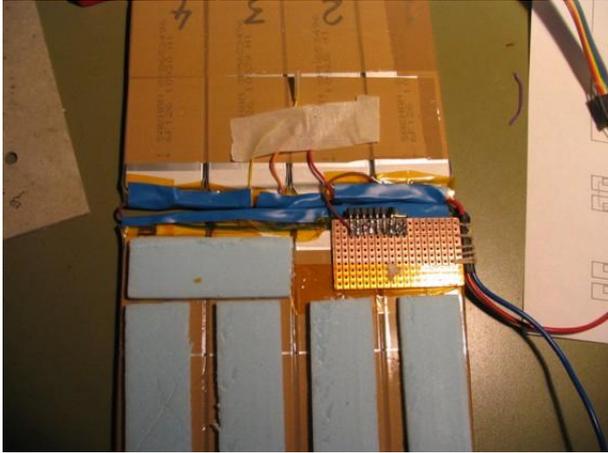
Bei dieser Lithium-Ionen-Batterie sind die drei inneren Verbindungen zwischen den Zellen auf IC-Sockel herausgeführt, so dass sie von aussen gemessen werden können.



### Flache Zellen: Lithium-Ionen-Polymer-Batterien konfektionieren:

Von jeder Zelle sollte ein Leiter nach aussen geführt werden – gegebenenfalls über einen geeigneten Widerstand. Dies ermöglicht später das Angleichen von Zellen mit unterschiedlicher Ladung. Beim Verdrahten von Lithium-Polymer-Zellen muss überlegt und gut vorbereitet vorgegangen werden. Vorübergehend freie Drahtenden oder Lötflächen von Zellen müssen konsequent mit Abdeckband isoliert werden, bis sie endgültig verdrahtet und geschützt sind. Kurzschlüsse könnten Lötflächen abschweissen oder anderes Unheil auf dem Bastlertisch anrichten.

In diesem Beispiel werden 8 Lithium-Polymerzellen konfektioniert. Eine Lochrasterplatine dient als Befestigung für 7 IC-Kontakte, die zu den einzelnen Zellen führen. Die Platine dient gleichzeitig als Befestigung und Zugentlastung für die Batteriezuleitung. (Die vorübergehend freien Kabelenden sind provisorisch mit Isolierschlauch geschützt und mit Abdeckband fixiert)



In dieser Batterie werden die 10 Verbindungsstellen zwischen den 11 Zellenpaaren über je einen Widerstand auf eine 25-polige D-Sub-Kupplung geführt. Die Lochrasterplatten dienen als Support für die Schraubklemmen der Batteriepole. Die Batterie ist mit einer Schutzelektronik ausgerüstet, die auf Seite 17 beschrieben ist.

## Ausblick

Die Entwicklung steht nicht still. Einerseits verbessern die Hersteller die existierenden Akkumulatorarten (siehe Seite 5 unter *Übersicht über die wichtigsten Akkutypen*). Andererseits kommen Neuentwicklungen heraus.

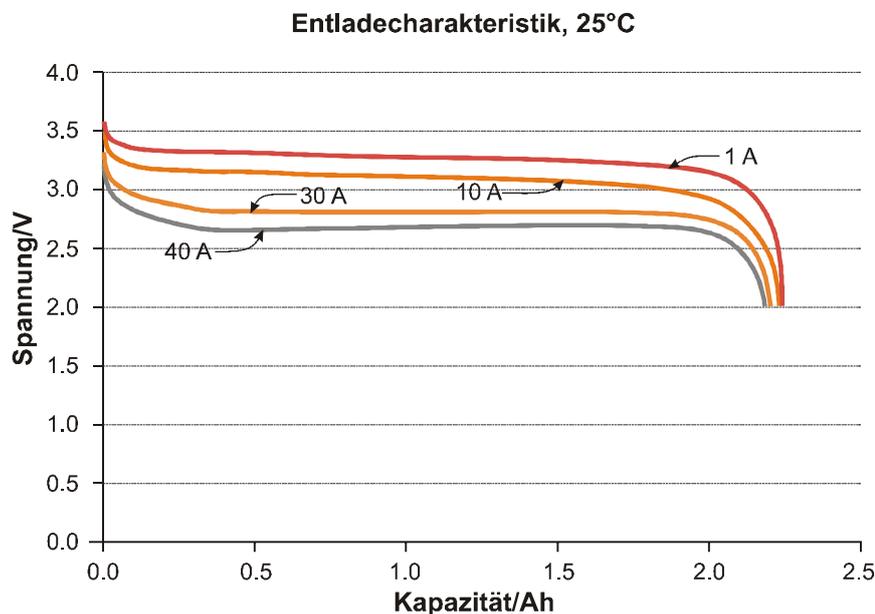
### Lithium-Nanophosphat

Als Beispiel einer solchen Neuentwicklung, die bereits auf dem Markt erhältlich ist, sei hier die Lithium-Nanophosphatzelle ANR26650 von A123Systems erwähnt.

### Technische Daten

Nennkapazität, Nennspannung	2.3 Ah, 3.3 V
Innenwiderstand	10 mΩ
Standardladung	3 A bis 3.6 V 45 Min. (Strom- und Spannungsbegrenzung)
Schnellladung	10 A bis 3.6 V 15 Min. (Strom- und Spannungsbegrenzung)
Max. Dauerentladestrom	70 A
Pulsentladung 10 s	120 A
Lebensdauer	über 1000 Zyklen mit jeweils 100 % Entladetiefe
Gewicht	70 g

### Entladecharakteristik



### Bezugsquelle

Erhältlich bei [www.eflight.ch](http://www.eflight.ch)  
Preis: Fr. 22.-- (Jan. 2009)

## **Batterien richtig entsorgen [2])**

Batterien müssen am Ende der Lebensdauer einer Verkaufs- oder Entsorgungsstelle zurückgegeben werden. Niemals in den Kehricht werfen. Besonders das Cadmium der NiCd-Akku ist ein sehr gefährliches Umweltgift. Nickel und Nickel-Verbindungen stehen im Verdacht krebserregend zu sein, alle Schwermetalle sind umweltschädlich. Bei der Entsorgung werden wiederverwendbare Rohstoffe gewonnen.

### **Referenzen** (Stand 8.1.09)

[1] Isidor Buchmann, "What is the perfect Battery", isidor.buchmann@cadex.com

[2] Dr. R.Zinniker: zinniker@ife.ee.ethz.ch

### **Informationsquellen**

[www.batteryuniversity.com](http://www.batteryuniversity.com)

[www.buchmann.ca](http://www.buchmann.ca)

[www.panasonic.com/industrial/battery/oem/images/pdf/Panasonic\\_NiMH\\_Overview.pdf](http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/images/pdf/Panasonic_NiMH_Overview.pdf)

[www.yuasa-battery.co.uk/](http://www.yuasa-battery.co.uk/)

[www.gpbatteries.com/html/front/index.html](http://www.gpbatteries.com/html/front/index.html)

[www.kokam.com/english/index.html](http://www.kokam.com/english/index.html)

[www.eflight.ch](http://www.eflight.ch)

[www.ife.ee.ethz.ch/~zinniker/batak](http://www.ife.ee.ethz.ch/~zinniker/batak)

[www.a123systems.com](http://www.a123systems.com)

SBS = Kommunikationsstandard für Geräte mit ihrer Batterieelektronik:

[www.sbs-forum.org](http://www.sbs-forum.org)

Buch *Netz- und Ladegeräte selbst gebaut* von DJ3RW (USKA-Warenverkauf Fr. 36.--)

### **Bezugsquellen**

#### **Batterien, Akkumulatoren:**

[www.distrelec.com/ishopWebFront/home.do?language=de&shop=CH](http://www.distrelec.com/ishopWebFront/home.do?language=de&shop=CH)

[www.griederbauteile.ch/](http://www.griederbauteile.ch/)

[www.eflight.ch](http://www.eflight.ch)

#### **Ladegeräte, Akkupfleger:**

[www.elv.ch](http://www.elv.ch)

## Quizfragen



## Akkumulatorenpraxis HB9ABO

Rufzeichen oder Name: .....

## Quizfragen

(Zutreffendes ankreuzen )

- 1.**  
Ein Akku mit einer Kapazität von 1750 mAh soll laut Datenblatt mit einem Strom von C/5 geladen werden. Wie gross ist dieser Strom?
- 175 mA   
350 mA   
1.75 A   
3.5 A
- 2.**  
Ein NiMH-Akku wird geladen und anschliessend gelagert. Nach welcher Zeit hat er durch Selbstentladung 50 % seiner Kapazität verloren?
- Nach 2 Monaten   
Nach 4 Monaten   
Nach 8 Monaten   
Nach 12 Monaten
- 3.**  
Der Bleiakku NP 12-12 hat laut Datenblatt eine Kapazität von 12 Ah bei Entladung mit 600 mA. Wie lange kann der Akku einen Strom von 2 A liefern?
- 6 h   
Mehr als 6 h   
Weniger als 6 h
- 4.**  
Eine komplett entladene NiMH-Batterie (12 V, 3 Ah) soll mit einem Labornetzgerät geladen werden. Am Netzgerät wird eine Spannung von 17.2 V und eine Strombegrenzung von 0.6 A eingestellt. Welche Werte haben Strom und Spannung unmittelbar nach Anschliessen des Akkus?
- 12.0 V, 3.0 A   
17.2 V, 0.6 A   
10.3 V, 0.6 A   
10.3 V, 0.3 A
- 5.**  
Das Datenblatt für einen Lithium-Polymer-Akku mit einer Kapazität von 2.4 Ah gibt als maximal erlaubten Ladestrom 2400 mA an. Welches ist die kürzestmögliche Ladezeit?
- 1 h   
2.4 h   
5 h   
10 h
- 6.**  
Wie lange kann ein vollgeladener Akku von 3 Ah Kapazität einen Strom von 30 mA liefern?
- 3 h   
10 h   
30 h   
100 h