

Akku-Check für NC- und NiMH-Akkus

Gunther Zielosko

1. Grundlagen

Nickel-Cadmium-Akkus (NC) oder die moderneren Nickel-Metall-Hydrid-Akkus (NiMH) werden heute praktisch überall eingesetzt. Im Gegensatz zu fast allen anderen elektronischen Bauteilen unterliegen sie einem „Verschleiß“, haben eine begrenzte Lebensdauer und werden oft falsch behandelt, sogar in eigens dafür hergestellten Ladegeräten. Es macht also Sinn, den Zustand von solchen Akkus oder die Wirksamkeit eines Ladegerätes objektiv beurteilen zu können. Wir werden ein System aufbauen, mit dem wir NC- bzw. NiMH-Akkus definiert laden und entladen sowie alle wichtigen Daten dieser Vorgänge erfassen und registrieren können. Durch die Einbeziehung von Fremdgeräten und Kombination dieser Einzelaktionen können wir viele Fragen klären, die bisher mehr aus dem Gefühl heraus beantwortet wurden, z.B.:

- Hat mein Akku noch die Nennkapazität?
- Wie hoch ist seine Selbstentladung über die Zeit?
- Lädt mein bisher verwendetes Ladegerät den Akku wirklich voll?
- Sind mehrere Akkus, die ich z.B. zusammen in meiner Digitalkamera einsetzen will, annähernd gleich leistungsfähig?

Gleichzeitig bietet das System dem interessierten Elektroniker viele Möglichkeiten, einmal hinter die Kulissen der sehr komplizierten Vorgänge beim Laden und Entladen von Akkus zu schauen, da alle Daten im Minutenabstand erfaßt, errechnet und angezeigt werden. Wer möchte, kann diese Daten am PC sogar grafisch auswerten und abspeichern.

1.1. Alte und neue Prinzipien beim Laden von Akkus

Historisch wurden NC- und NiMH-Akkus nach folgendem Prinzip geladen:

Ihre Kapazität in Ampere-Stunden (Ah) bzw. milli-Ampere-Stunden (mAh) wurde durch 10 geteilt und dieser Wert als konstanter Ladestrom über 14 Stunden dem Akku zugeführt. Das heißt, es wird mit dem Faktor 1,4 mehr geladen, als entnommen werden kann.

Beispiel:

Ein Akku mit der Nennkapazität von 700mAh wird 14 Stunden mit 70 mA geladen und 10 Stunden mit 70 mA entladen.

NC-Akkus und später auch NiMH-Akkus entwickelten sich aber weiter. Für viele Zwecke brauchte man wesentlich höhere Entnahmeströme (z.B. im Modellsport) und andererseits viel schnellere Aufladung (Schnellladung). Heute kann man beide Akkutypen in wenigen Stunden oder noch schneller laden. Wie verhalten sie sich nun beim Laden?

Im Prinzip sind beide Akkutypen bezüglich des Ladevorganges ähnlich. Wenn sie vollständig entladen werden, haben sie eine Spannung von 0,8...1V (Herstellerangaben beachten!). Tiefer

sollte man sie nicht entladen, speziell NC-Akkus wegen des Memory-Effektes aber auch nicht "halbvoll" laden bzw. halb entleert lange liegen lassen. Von dieser sogenannten Entladeschlussspannung geht es beim Laden erstmal steil nach oben, bis ca. 1,4 V erreicht werden, wie das die Abbildung 1 zeigt. Hier werden die Kurven dann sehr flach und gehen bis etwa 1,47 V (NC) bzw. 1,43 V (NiMH) hinauf, um dann zum Ladeende deutlich steiler zu werden. Das Maximum liegt bei etwa 1,64 V (NC) bzw. 1,54 V (NiMH), danach fällt die Spannung wieder ein wenig ab. Dieses Maximum (Peak) und der danach folgende Spannungsabfall liegt bei der etwa 100%-igen Ladung des Akkus, das ist eine reelle Chance, das Ladeende exakt zu bestimmen.

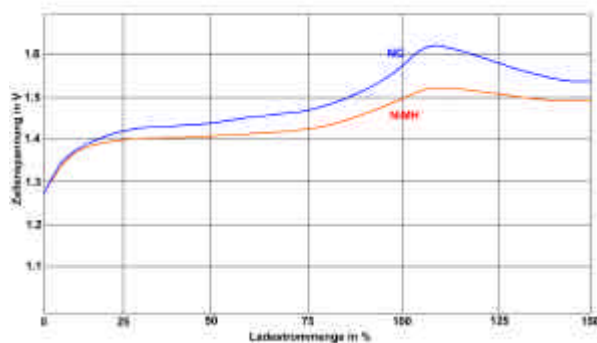


Bild 1 typische Lade-Charakteristik von NC- und NiMH-Akkuzellen

Es gibt nun mehrere Möglichkeiten, solche Akkus zu laden. Diese Prinzipien werden im folgenden gegenübergestellt:

Ladegeräte „ohne alles“

Billige Ladegeräte ohne "Intelligenz" laden den Akku einfach mit einem (relativ) konstanten kleinen Strom unter 1/10 der Nennkapazität. Das schadet ihm nicht sehr, obwohl die ständige Überladung seine Lebensdauer manchmal doch verkürzen kann. Ein weiterer Nachteil ist die lange Ladezeit.

Ladegeräte mit Timer

Etwas komfortablere Geräte mit eingebautem Timer begrenzen wenigstens die Ladezeit und vermeiden damit ungewollte Überladungen (vor allem, wenn die Akkus mal vergessen werden...). Ein Nachteil ist, daß die Ladezeit nur für einen bestimmten Akkutyp optimal ist, Akkus mit geringerer Kapazität werden überladen, solche mit höherer Kapazität dauernd unterladen (Memoryeffekt!).

Ladegeräte nach dem Delta-Peak-Verfahren

Gute Ladegeräte messen ständig die Akkuspannung, warten auf den Peak und schalten dann ab bzw. auf Erhaltungsladung. Geräte dieser Art arbeiten nach dem sogenannten Δ -Peak-Verfahren und sind Stand der Technik. Problematisch ist die genaue Peak-Erkennung, da es insbesondere bei NiMH-Akkus um wenige mV geht. Die Höhe des Peaks ist außerdem von

Typ zu Typ, von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich sowie temperatur- und ladestromabhängig. Da spielen z.B. Kontaktwiderstände bereits eine erhebliche Rolle...

Spezielle Schnell-Ladegeräte

Noch etwas besser sind Schnell-Ladegeräte nach dem Reflexladeprinzip, die sich aber vom Bastler nicht ohne erheblichen Aufwand realisieren lassen. Hier ist der Ladestrom kein Gleichstrom mehr, sondern eine intelligent gewählte Impulsfolge mit sehr hohem Strom bei manchmal integrierten kurzen Entladungsphasen, was bestimmte elektrochemische Probleme des Akkus entschärft.

Unser neues Ladeprinzip

Mit der „Intelligenz“ des BASIC-Tigers® können wir die mehr oder weniger genauen Indizien eines voll geladenen Akkus ignorieren. Wir geben unserem Akku genau die Ladungsmenge, die „draufsteht“, d.h. ein Akku mit 700 mAh wie im o.a. Beispiel bekommt bei der Ladung genau $700 \times 1,4$ mAh. Das Prinzip dieser exakten Ladung besteht darin, daß wir den Ladestrom messen, ihn z.B. 1 Minute lang fließen lassen und daraus nach der Formel:

$$\text{Ladung} = \text{Strom} \times \text{Zeit}$$

die Ladungsmenge dieser Minute berechnen. Diese Ladungs„scheibchen“ werden dann addiert und wenn sie insgesamt das 1,4-fache der Nennkapazität des Akkus erreicht haben, wird der Ladevorgang beendet.

1.2. Entladung

In der Regel werden alle Akkus nur in der Anwendung (Taschenlampe, Digitalkamera, Radio usw.) entladen. Dort entziehen sie sich jeder objektiven Bewertung ihrer Eigenschaften. Im Klartext heißt das, wir können nur „aus dem Gefühl“ heraus sagen, ob der eingesetzte Akku seine volle Kapazität hat oder nicht. Aus diesem Grunde braucht ein Akku-Testgerät neben der Möglichkeit einer definierten Ladung auch die einer definierten Entladung. Unser System bietet wie bei der Ladung eine voll kontrollierte Überwachung aller wichtigen Akkudaten. Das Kriterium für das Ladeende ist die Entladeschlußspannung – wir haben uns für 1 V entschieden.

2. Die Schaltung des Akkutesters

2.1. Prinzip

Wir wollen in unserer Schaltung NC- bzw. NiMH-Akkus (Einzelzellen) vom BASIC-Tiger® gesteuert laden und entladen. Bild 2 zeigt das Prinzip der Schaltung.

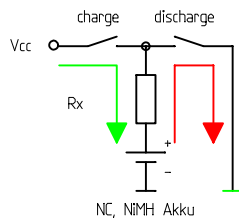


Bild 2 Prinzip von Laden und Entladen über einen Vorwiderstand

Laden:

Wir benutzen einfach die Vcc des BASIC-Tigers® (+ 5V) als Energiequelle zum Laden des Akkus, der Strom wird mit einem Vorwiderstand Rx begrenzt. Ein Schalter (S1 - charge) dient zur Unterbrechung des Ladevorganges.

Entladen:

Der Akku wird mit einem weiteren Schalter (S2 - discharge) über denselben Vorwiderstand Rx nach GND entladen.

Messen:

Mit zwei Analogeingängen des BASIC-Tigers® werden lediglich zwei Spannungen gemessen, die positive Akkuspannung U1 gegen GND und die Spannung U2 am anderen Ende des mit dem Akku verbundenen Vorwiderstandes Rx. Damit ergeben sich die wichtigen Akku-Daten Spannung und Strom zu:

Akkuspannung = U1 (kann direkt gemessen werden)

Lade-/Entladestrom = $U2 - U1 / R_x$ (Spannungsabfall an Rx geteilt durch Rx)

Die Gesamtladungsmenge = Σ (Strom x Zeit)

2.2. Realisierte Schaltung

Unser Akkutester muß neben dem Akku mindestens die beiden erwähnten Schalter und den Vorwiderstand enthalten. Die Schalter können Relais oder, eleganter, MOS-Leistungsschalter sein. Der Autor hat letztere verwendet, damit vereinfacht sich die Schaltung erheblich. Zusätzlich wurde noch ein Encoder zur Dateneingabe und Programmsteuerung eingesetzt (siehe Applikationsbericht „Encoder – die smarten Schalter“). Zwei Leuchtdioden zur optischen Signalisierung des Systemzustandes wurden auch noch spendiert – das ist alles. Bild 3 zeigt die komplette Schaltung:

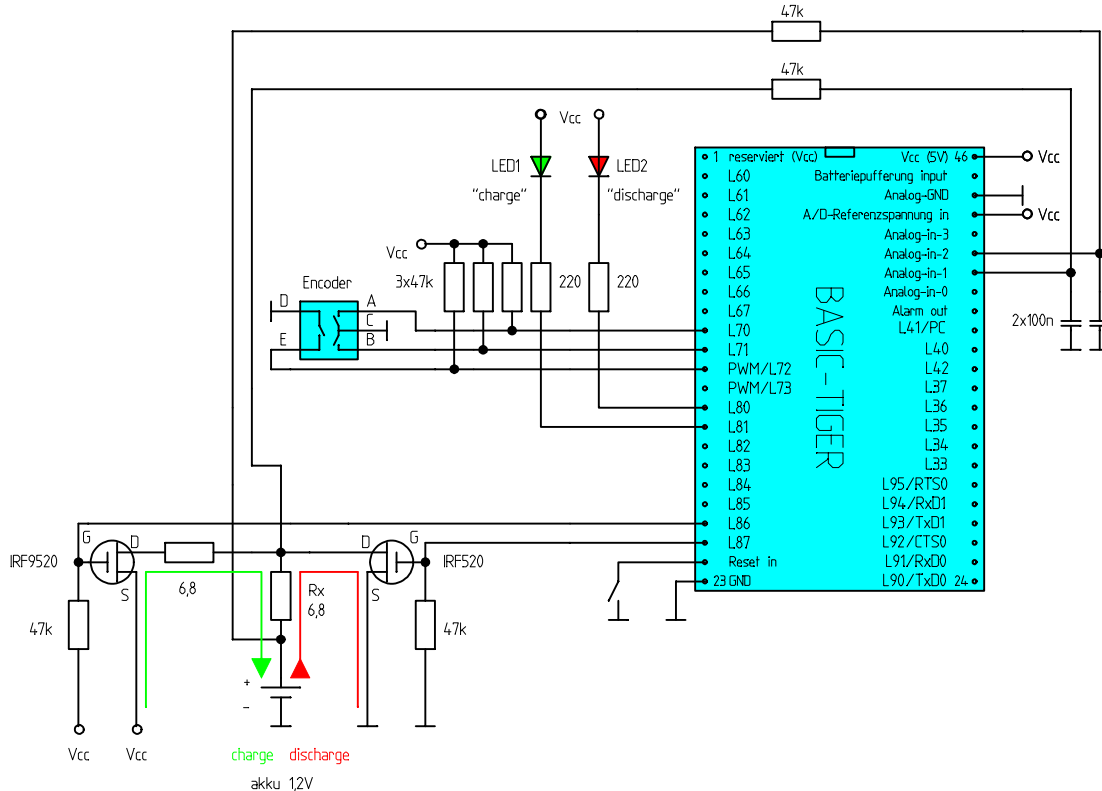


Bild 3 Schaltbild des Akkuladers

Zur Funktion:

Das Kernstück der Schaltung ist der Akku selbst, sein Vorwiderstand Rx sowie die beiden Power-MOSFET's IRF9520 und IRF520 von International Rectifier.

Datenblatt IRF9520: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf9520.pdf>

Datenblatt IRF520: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf520.pdf>

Die beiden Leistungs-MOSFETs sind unterschiedlich in ihrem Leitungstyp (n-Kanal bzw. p-Kanal-Typ), dadurch können sie Source-seitig einmal auf Vcc und zum anderen auf Masse gelegt werden. Prinzipiell sind beide Drains verbunden und schalten den Pluspol des Akkus über Rx direkt nach Vcc bzw. nach Masse. Der zusätzliche Widerstand im Drain vom IRF9520 soll lediglich den Ladestrom auf einen Wert absenken, der etwa so groß ist wie der Entladestrom. Eine Eigenschaft dieser Transistoren ist, daß sie bereits bei den logischen Pegeln 0V bzw. 5V des BASIC-Tiger[®]-Systems ausreichend niederohmig sind und ihre Verlustleistung bei dem verwendeten Vorwiderstand von 6,8 Ω nicht von Bedeutung ist. Die wesentliche Verlustleistung entsteht am Vorwiderstand Rx bzw. am Widerstand in der Drainleitung des IRF9520, deshalb sollten diese mindestens 4 Watt Dauerleistung vertragen. Bei den angegebenen Widerständen von 6,8 Ω liegen die Lade- bzw. Entladeströme im

Bereich von 200 mA. Für andere Ströme müssen beide Widerstände entsprechend variiert werden.

Der Encoderteil ist genau so aufgebaut und angeschlossen wie im Applikationsbericht „Encoder – die smarten Schalter“, deshalb wird hier nicht weiter auf Schaltung und Funktion eingegangen.

Die beiden Leuchtdioden signalisieren den Lade- oder Entladebetrieb (grün bzw. rot) und werden über Vorwiderstände direkt vom BASIC-Tiger[®] angesteuert.

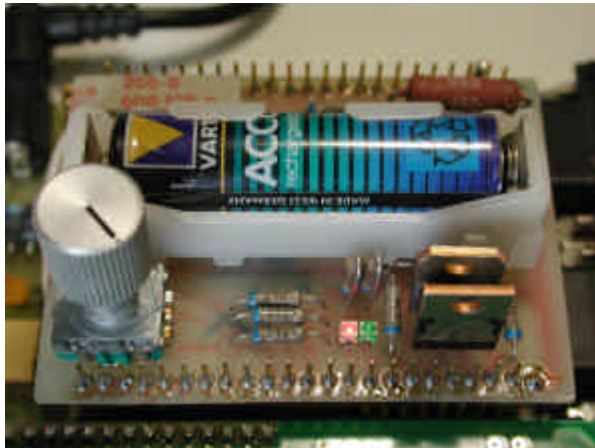
Die Analogeingänge Analog-In-1 und Analog-In-2 messen die Spannung am Pluspol des Akkus, dem ersten Ende von Rx, und am anderen Ende von Rx, damit kann auf einfache Weise der Strom errechnet werden.

Am BASIC-Tiger[®] gibt es hardwareseitig nur wenig zu tun. Legen Sie den Analog-GND für die A/D-Wandlereingänge auf GND und den A/D-Referenz-Eingang an VCC.

Sie können wählen, ob Sie die Zusatzschaltung an das Plug-and-Play-Lab[®] bzw. an das Mini-Lab anschließen oder ein eigenständiges Gerät bauen. Im letzteren Falle müssen Sie natürlich noch das Display, die serielle Schnittstelle sowie die Stromversorgung des BASIC-Tigers[®] realisieren, die hier wegen des zusätzlichen Ladestroms von ca. 200 mA großzügig ausfallen sollte.

Da wir den akustischen Alarm des LCD1.TDD Device-Treibers des BASIC-Tigers[®] benutzen, muß Pin L42 im Plug-and-Play-Lab verdrahtet (siehe Handbuch) oder eine adäquate Schaltung bei eigenständigen Geräten aufgebaut werden. Damit ist der Akku-Tester fertig.

Die Bilder 4 und 5 zeigen ein Mustergerät des Autors in Verbindung mit dem Mini-Lab (siehe Applikationsbericht Nr. 033 „Minilab“).



*Bild 4 Akku-Tester als Zubehör zum Bild 5 das System in Funktion
Minilab*

3. BASIC-Tiger®-Programm AKKU_01.TIG

Das BASIC-Tiger®-Programm AKKU_01.TIG ist schon recht anspruchsvoll – schließlich handelt es sich hier nicht nur um ein Beispielprogramm, sondern um ein komplettes System mit vielen Funktionen. Viel Aufwand wurde zum Beispiel für eine komfortable Aufbereitung der anfallenden Daten getrieben. Stellen Sie sich vor, einen Akku mit 1600 mAh erst zu entladen und dann wieder voll zu laden. Bei einem Ladestrom von ca. 220 mA kommen da locker 10 Ladestunden und dann noch einmal etwa ebenso viele Entladestunden zusammen. Wenn Sie die Messungen „live“ beobachten wollten, wäre das schon einigermaßen ermüdend. Eine direkte Übertragung der Meßwerte an einen PC könnte zwar schon eine Erleichterung sein, da Sie sich am Ende nur das Ergebnis anzuschauen brauchen – aber der PC müßte über Nacht laufen. Warum also nicht die Daten erst einmal im BASIC-Tiger® speichern und erst bei Programmende „auf Befehl“ an den PC senden? Das wieder erfordert einen Kompromiß bezüglich der Datenmenge. Unser Kompromiß heißt, daß wir einmal pro Minute messen und die Meßwerte Zeit, Spannung, Strom und Ladung in zwei Arrays (je eines für Ladung und Entladung) speichern. Mit diesen relativ wenigen Daten kommt man auch mit dem Speicherplatz eines „kleinen“ BASIC-Tigers® aus, steht ein größerer zur Verfügung, können die Meßintervalle verkürzt werden.

Die Bedienung des Programmes erfolgt allein über den Encoder (drehen bzw. tasten) und erklärt sich praktisch von selbst. Probieren Sie alles aus, wenn das Programmende erreicht wurde, ertönt ein Alarm und das Gerät wartet, bis Sie die serielle Übertragung einleiten.

Mit diesem Programmsystem können Sie aus einer Reihe verschiedener Programmabläufe jeweils eines aussuchen und Ihre Akkus untersuchen. Natürlich lassen sich alle Abläufe auch modifizieren, so daß sie besser zum jeweiligen Problem passen. Wenn Sie wollen, können Sie z.B.:

- Mehrere Lade- und Entladezyklen hintereinander ausführen lassen
- Lade- und Entladeströme durch Verändern des Widerstandes Rx verändern
- Kürzere Meßintervalle zur Erhöhung der Genauigkeit einführen
- Zwei oder mehr Akkus behandeln
- Ganze Akkupacks laden und entladen usw.

Beachten Sie aber bei allen Manipulationen, daß die Hardware an die neuen Anforderungen angepaßt sein muß (auftretende Spannungen, Meßbereiche der Analogeingänge, Verlustleistungen, Netzteil usw.).

4. Auswertung der seriell übertragenen Daten am PC

Wird am Ende des Programmes die Datenübertragung per Knopfdruck am Encoder gestartet, kommt „auf einen Ruck“ eine erhebliche Menge von Daten am PC an. Mit der Datenübertragung können Sie sich Zeit lassen, das Programm bleibt am Ende beliebig lange stehen und wartet auf Ihren „Befehl“ zur Datenübertragung, das können Sie bei Bedarf übrigens beliebig oft tun – einfach nochmal drücken! Die Daten im BASIC-Tiger® gehen erst bei einem RESET oder bei Stromabschaltung verloren.

Zunächst wollen wir uns einmal das Format dieser Daten anschauen. Im folgenden Beispiel wird ein kompletter Datensatz, allerdings für einen „reduzierten“ Lade- und Entladevorgang gezeigt. Reduziert heißt, wir haben in einen leeren Akku nur 50 mAh (x 1,4 !) geladen und diesen Akku dann wieder bis zur Entladeschlussspannung entladen (Programm L -> E):

```
Programm: L->E
Ladung
Kap. (Ah): 00.050
R (Ohm): 06.800
t(1)    U(1)    I(1)    Laden
Min      V      A      Ah
0.000   1.313   0.247   0.008
0.002   1.391   0.242   0.016
0.004   1.401   0.241   0.024
0.006   1.406   0.240   0.032
0.008   1.411   0.240   0.040
0.010   1.416   0.239   0.048
0.012   1.420   0.239   0.056
0.014   1.420   0.239   0.064
0.016   1.425   0.239   0.072
Entladung
Kap. (Ah): 00.050
```

R (Ohm): 06.800

t(e)	U(e)	I(e)	Entl.
Min	V	A	Ah
0.000	1.333	-0.181	-0.006
0.002	1.293	-0.176	-0.011
0.004	1.279	-0.174	-0.017
0.006	1.264	-0.172	-0.023
0.008	1.254	-0.170	-0.029
0.010	1.235	-0.168	-0.034
0.012	1.220	-0.165	-0.040
0.014	1.210	-0.165	-0.045
0.016	1.196	-0.163	-0.051
0.018	1.181	-0.160	-0.056
0.020	1.152	-0.156	-0.061
0.022	1.064	-0.144	-0.066
0.024	0.795	-0.106	-0.069

Dieser Datensatz wurde mit dem Terminalprogramm TERMINAL.EXE von Windows 3.1 aufgezeichnet, einem sehr einfachen und unkomplizierten Programm, das auch unter Windows 95, 98 oder NT läuft. Natürlich gibt es auch andere Terminalprogramme, die das können – suchen Sie sich etwas passendes aus.

Mit einer solchen ASCII-Textdatei kann man schon durch Ansehen der Werte und ihres Verlaufes etwas anfangen. Man kann sie wegen der bewußt eingefügten Leerzeichen auch recht einfach z.B. in Excel importieren und dadurch noch viel besser auswerten. Das geht bis hin zur graphischen Auswertung, zum Vergleich verschiedener Akkus, zur Bewertung eines Akkus im Verlauf seines „Lebens“, zum Bewerten der Eigenentladung usw. Die Bilder 6 und 7 zeigen Diagramme für den Spannungsverlauf bei Ladung und Enladung, die aus obigem Beispiel mit Excel erstellt wurden. Genauso können die anderen Daten ausgewertet werden, wenn dies interessant sein sollte.

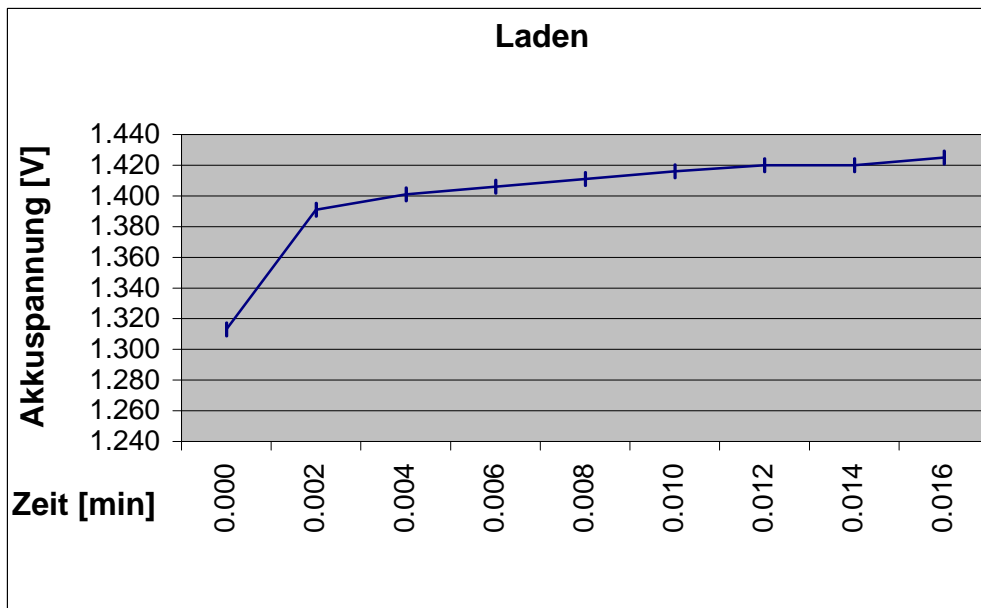


Bild 6 Spannungverlauf beim Laden (nur Teilladung 50mAh)

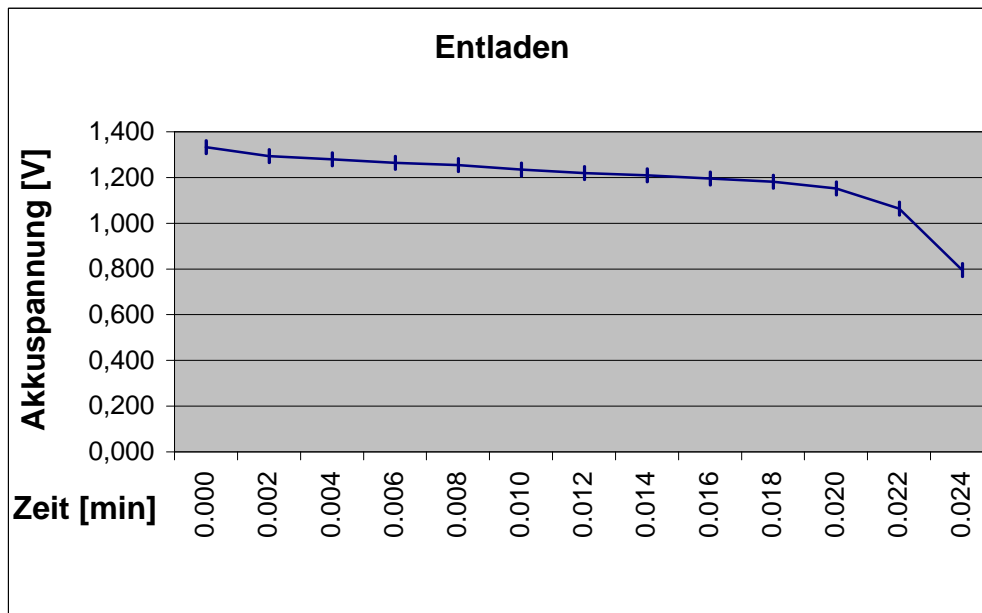


Bild 7 Spannungsverlauf beim Entladen

Es geht aber noch eleganter, nämlich mit dem Programm AKKU_01.TST, das diesem Applikationsbericht ebenfalls beiliegt. Es handelt sich um ein speziell für diesen Zweck erstelltes Programm, das die Daten vom Laden und Entladen eines Akkus in graphischer Form darstellt. Das Programm AKKU_01.TST ist eine unter TestPoint® erstellte Runtime-Version, das Sie wie im Applikationsbericht „Applikationen mit TestPoint®“ beschrieben, auf Ihrem PC installieren können. Einfach SETUP.EXE starten und warten, was passiert. Bild 8 zeigt das „Outfit“ des Programmes, als erfahrener Anwender von BASIC-Tiger®-Applikationen dieser Reihe wissen Sie schon, worum es geht.

Auf dem Bildschirm befinden sich eine Reihe von Einstellmöglichkeiten für die serielle Schnittstelle, wie:

COM: 1, 2, 3, 4
Baudrate: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 76800, 153600
Parity: None, even, odd, mark
Bits: 8, 7, 6, 5
Stop Bits: 1, 1.5, 2
XON/XOFF: 0, 1
Handshake: 0, 1

Die Voreinstellungen sind gelb markiert. Sie sollten, wenn erforderlich, die Einstellungen vor dem Programmstart erledigen. Im wesentlichen passen diese Werte aber mit dem BASIC-Tiger®-Programm AKKU_01.TIG zusammen, lediglich die an Ihrem PC verwendete Schnittstelle könnte eine andere sein, alle anderen Änderungen müssen Sie analog an **beiden** Programmen ausführen!

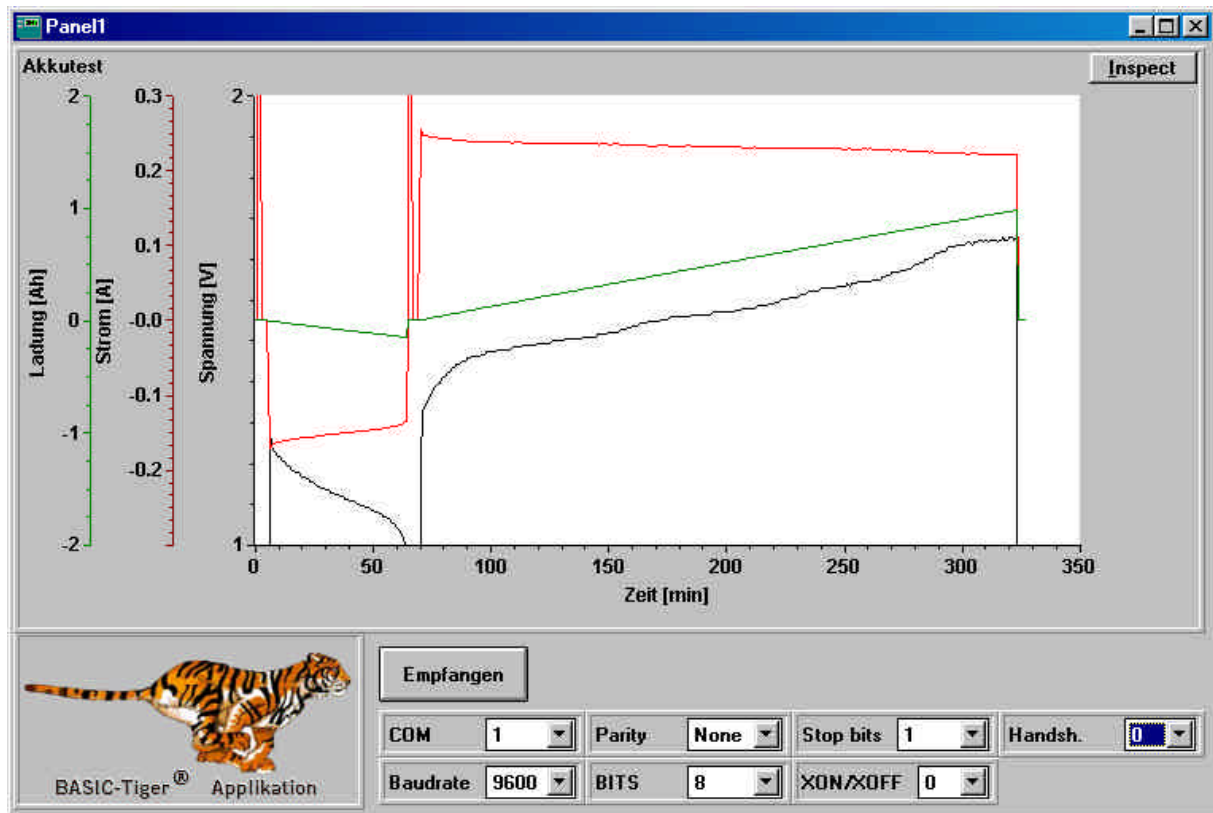


Bild 8 Das Programm „AKKU_01.TST“ mit den Daten einer Akkuentladung/-ladung

Was hat uns das Programm AKKU_01.TST nun alles zu bieten? Wenn Sie auf den Button „Empfangen“ drücken, wird die serielle Schnittstelle geöffnet und wartet auf Daten. Das tut sie etwa 20 Sekunden lang, soviel Zeit haben Sie, um auch den Encoder-Taster des Akku-Testsystems nach einem vorherigen vollständigen Programmablauf von AKKU_01.TIG zu drücken. Alle Daten werden nun über die SER1-Schnittstelle des BASIC-Tiger®-Systems an den PC und das Programm AKKU_01.TST gesendet. Dieses Programm macht diese Daten nun sichtbar – und zwar alle! Auch die, die eigentlich nichts mit den Spannungs-, Strom- und Ladungsverläufen zu tun haben. Dazu hätte man die Daten vorher fein säuberlich separieren müssen – eine zeitaufwendige Sache für das Programm. So sehen wir am Anfang und in der Mitte auch die Daten, die wir oben im Kopf-Ausdruck vor den eigentlichen Meßwerten sehen. Das ist weiter nicht problematisch, dadurch ist wenigstens der Anfang der hintereinander ablaufenden Zyklen (hier zuerst Entladen, dann Laden) markiert.

Im Bild 8 finden wir drei Kurven:

Schwarz	Spannungsverlauf am Akku	
Rot	Stromverlauf am Akku	(positiv für Laden, negativ für Entladen)
Grün	Ladungsverlauf	(positiv für Laden, negativ für Entladen)

Dazu links die entsprechenden Skalen. Im Beispiel erkennen wir nach den „undefinierten“ Daten zunächst eine Entladung. Die Spannung fällt sehr bald auf weniger als 1 V ab (Akku

war fast leer). Der Strom scheint in dieser Phase anzusteigen, dies liegt aber daran, daß er negativ dargestellt wird, betragsmäßig sinkt er. Die entnommene Ladung (auch negativ) steigt nahezu linear an. Jetzt kommt wieder eine „Zappelstrecke“ und danach ein kompletter Ladevorgang mit dem typischen Spannungsverlauf, erst steil nach oben, dann weniger steil und am Ende ein „Hauch“ von Delta Peak. Hier sieht man deutlich, daß dieser Peak nicht immer sehr sauber zu detektieren ist, woraus sich häufig Fehlbehandlungen ableiten.

Richtig interessant wird es nun, wenn Sie den Akku nach dieser definierten Ladung wieder in unserem Testsystem entladen. Sie können das sofort tun oder aber erst nach einem Tag, einer Woche oder einem Monat, damit bekommen Sie ein Gefühl für seine individuellen Selbstentlade-Eigenschaften. Oder Sie lassen ihn in Ihrem bisherigen Ladegerät „volladen“ und prüfen dann seine Ladung.

Alles in allem interessante Optionen. Wer die bisher mehr im Verborgenen ihren Dienst verrichtenden Akkus mit unserem Akkutester einmal unter Beobachtung hatte, wird sicher noch viele eigene Ideen für weitere Untersuchungen haben. Viel Spaß beim Akkutest!