
Akku-Kapazitätsmessung

Gunther Zielosko

1. Grundlagen

Eigentlich ein altes Thema – Wie kann man den Ladezustand eines NC- oder NiMH-Akkus überprüfen? Wir hatten im Bericht Nr. 042 schon ein recht komfortables System vorgestellt und auch kommerziell gibt es schon einige Akku-Lader, die die Kapazität solcher Akkus ermitteln können. Leider haben alle diese Lösungen ein paar Nachteile, die wir im Folgenden etwas näher beleuchten wollen.

Die bekannten Lade-Geräte mit Kapazitätsmessung sind nicht ganz billig und benötigen alle eine externe Stromversorgung. Außerdem sind sie oft relativ groß und unhandlich. Wegen der zum Laden der Akkus erforderlichen Leistung ist auch der Stromverbrauch während der lange dauernden Kapazitätsmessung nicht unerheblich. Immerhin muss der Akku oft viele Stunden entladen werden.

Wir dagegen wollen ein relativ kleines System entwickeln, das folgende Vorteile hat:

- Es soll eine Einzelzelle (Mono, Mignon, Micro) definiert bis zu einer Minimalspannung des Akkus entladen und deren aktuelle Kapazität ermitteln.
- Es soll ohne externe Stromversorgung (also ohne Netzanschluss) arbeiten, die zum Messen der Kapazität notwendige Energie soll aus dem zu messenden Akku selbst kommen.
- Die gemessene Kapazität soll während des Entladens und danach permanent solange angezeigt werden, bis erneut ein Akku gemessen wird.

2. Das Konzept

Das Herz unseres Systems ist ein preiswerter Economy-Tiger – mit unserem kleinen Programm KAPAZ01.TIG reicht sogar die kleinste Variante ENN-R/4. Da dieser wie immer grundsätzlich 5V zum Betrieb benötigt und wir keine externe Stromversorgung wollen, muss die Betriebsspannung aus der zu untersuchenden Akku-Einzelzelle selbst entnommen werden. Dies erledigt eine Schaltung mit MAX1797, die wir bereits aus dem Bericht Nr. 081 kennen. Weitere Details finden Sie im Bericht Nr. 088, speziell zu der auch hier verwendeten Relaisschaltung. Die Schaltung des Step-Up-Wandlers muss für den neuen Einsatzfall allerdings etwas anders dimensioniert werden. Der Economy-Tiger addiert nun im Sekundentakt den aus dem Akku entnommenen Strom solange, bis 1 mAh erreicht wird. Dann erzeugt der Tiger einen Impuls, der auf einen externen Zähler gegeben wird. Der externe Zähler ist deshalb notwendig, weil am Ende der Akku-Kapazität naturgemäß die Betriebsspannung für den Tiger ausfällt und das Ergebnis dann nicht mehr auswertbar wäre. Als externe Zähler kommen sowohl elektromechanische als auch elektronische Zähler in Betracht. Interessant wäre auch eine Version mit einem kleinen Drucker zum Ausgeben der Kapazität am Programm-Ende. Die erste Variante hat den Vorteil, dass zum Erhalt des

Zählerstandes keine Energie benötigt wird. Die zweite Variante ist dagegen leichter in unsere Schaltung zu integrieren, benötigt aber zum Betrieb eine eigene Batterie.

3. Der externe Zähler

Es gibt wie schon erwähnt mehrere Möglichkeiten, die Impulse für die 1mAs-Schritte zu zählen. Wir haben uns für eine preiswerte elektronische Variante entschieden. Das Gerät ist als elektronischer Handzähler HC-1 von Voltcraft bei Conrad erhältlich:

<http://www.conrad.de/goto.php?artikel=100574>



Bild 1 Elektronischer Handzähler HC-1 von Voltcraft

Das Gerät ist mit einer langlebigen Lithium-Batterie ausgestattet, hat vier Stellen und zählt per Knopfdruck (eine der schwarzen Tasten oben) jeweils um 1 weiter. Eine Reset-Taste (rot unten) setzt den angezeigten Wert wieder auf 0000. Einen Ausschalter gibt es nicht – offenbar wird auch im Betrieb so wenig Strom verbraucht, dass dieser für die Batterie-Lebensdauer keine wesentliche Rolle spielt.

Allerdings ist der Zähler im Originalzustand für uns kaum brauchbar, denn der Tiger hat keinen Daumen zum Drücken der Tasten. Wir müssen das Gerät also öffnen und modifizieren, um einen Betrieb mit dem Tiger zu ermöglichen.

4. Modifikation des Handzählers HC-1

Zunächst muss der Zähler geöffnet werden. Natürlich entfallen dadurch alle Garantieansprüche, was aber bei einem Preis unter 10 € zu verschmerzen ist.

Wenn man das Gerät auf die Rückseite dreht, fallen einem 8 Löcher auf (Bild 2). Leider findet man darin keine Schrauben, die zum Öffnen dienen könnten. In diesen Löchern

befinden sich lediglich angeschmolzene Plastik-Zapfen von der vorderen Schale. Zum Öffnen muss man diese Anschmelzungen mit einem Bohrer von ca. 2,5 mm vorsichtig anbohren und damit entfernen, am besten mit einem Handbohrer oder maximal mit einer sehr langsamen Bohrmaschine. Geht man dabei radikal vor, können die Plastik-Zapfen zu weit weggebohrt werden. Da diese auch später noch die Leiterplatte führen sollen, müssen sie möglichst weit stehen bleiben. Sind die Anschmelzungen entfernt, kann man beide Gehäuseteile auseinanderziehen (Bilder 3 und 4). Vorsicht – die beiden Tasten haben Federn, die gern weg springen, also beide Tasten vorsichtig festhalten.

Wenn dann der Handzähler offen ist, erkennt man zwei Leitgummi-Kontakte, wo sich die beiden schwarzen Tasten (für Bedienung mit linker oder rechter Hand) befanden. Genau dort sind auch die Kontaktstellen, von denen wir eine heraus führen wollen (Zählen). Die zweite Kontaktstelle (Reset) befindet sich zwar auf der anderen Leiterplattenseite, es gibt aber auch auf der zugänglichen Seite eine Leitbahn, an die wir einen Draht anlöten können. Schließlich brauchen wir für unser Projekt noch Masse (-Batt) und für eventuelle Ergänzungen die Betriebsspannung (+Batt). Bild 5 zeigt die Stellen, an die wir feine Drähte anlöten können. Wie die Anschlüsse nach außen geführt werden, kann man selbst entscheiden. Entweder werden die 4 Drähte einfach durch ein Loch nach außen gelegt oder man baut wie der Autor eine 4-polige Buchse ein, um externe Geräte per Pfosten-Steckverbinder anzuschließen.

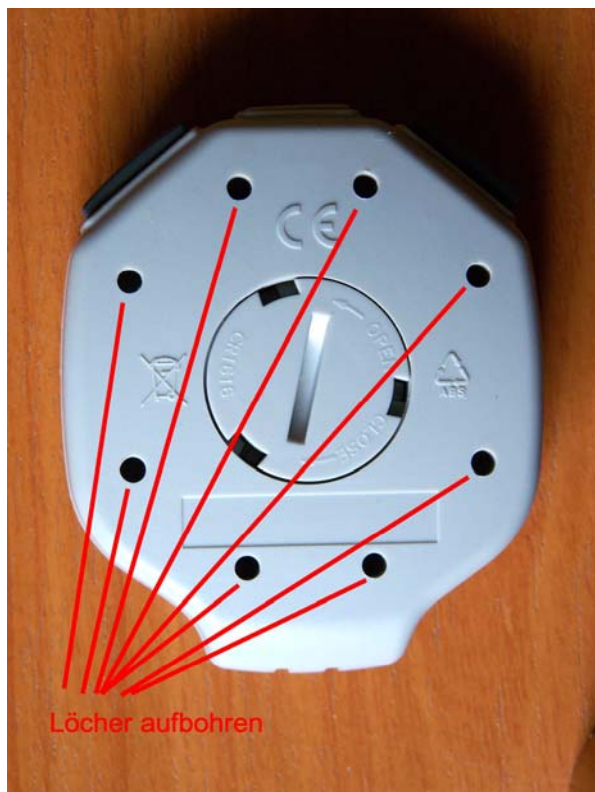


Bild 2 Rückseite mit 8 Löchern



Bild 3 Vorderseite mit Leiterplatte



Bild 4 Vorderseite ohne Leiterplatte

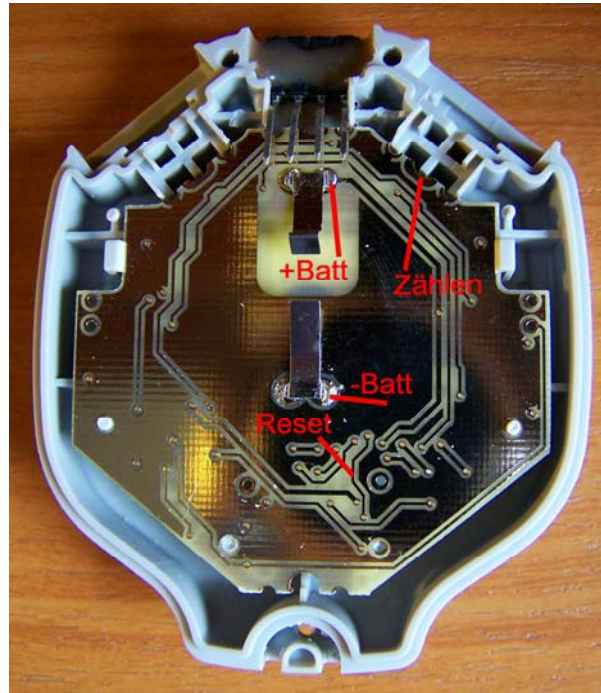


Bild 5 die heraus zu führende Anschlüsse

Am Ende der Prozedur muss das Gehäuse natürlich wieder verschlossen werden. Dies geht nun nicht mehr mit den ursprünglich dafür vorgesehenen Plastik-Zapfen – die haben wir ja „abgebohrt“. Der Autor hat deshalb vorsichtig im Bereich außerhalb der Leiterplatte 3 Löcher durch beide Gehäuseschalen gebohrt und dann die beiden Teile mit drei M2-Schrauben verbunden (Bild 6). Das ist zwar etwas aufwändig, hat aber den Vorteil, dass man später einmal etwas ändern oder reparieren kann.

Beachten Sie bei den Arbeiten am Gehäuse, dass Sie nicht den Kontaktkamm aus Leitgummi beschädigen oder verschmutzen, der die Platine elektrisch mit dem Display verbindet. Vermeiden Sie Späne, Fett, Lötmittel-Rückstände auf diesen Kontaktflächen, da sonst das ganze Display oder einzelne Segmente davon ausfallen könnten. Beachten Sie bei der Verlegung der 4 Drähte, dass Sie nicht in den Bereich der Batterie bzw. deren Schraubdeckel (rückseitige Plastikschale) kommen. Auch die Bereiche der „ehemaligen“ Plastikzapfen müssen frei bleiben, da hier der Gehäusedeckel aufliegt.

5. Das „Messprinzip“

Prinzipiell müsste der pro Sekunde fließende Strom gemessen und integriert werden. Dies ist allerdings mit einigen Problemen verbunden, die wir hier kurz abhandeln wollen.

Unser Tiger hat Analog-Eingänge, die grundsätzlich nur für Spannungsmessungen geeignet sind. Jede Strommessung erfordert deshalb einen Messwiderstand, über den eine zum Strom proportionale Spannung abfällt. Will man Ströme im Bereich einiger 100mA messen und damit Spannungen im Bereich von 0 bis 5V erzeugen (das ist der Messbereich der Analogeingänge), wären schon relativ große Vorwiderstände erforderlich. Rechnen wir einmal überschlagsmäßig mit 50mA Strombedarf für die Tigerschaltung, dann werden wegen der Umformung aus 1,2V des Akkus auf 5V etwa 250mA aus der Batterie entnommen. Aber schon die komplette Akkuspannung selbst ist mit 1,2V niedriger als der Messbereich der Analogeingänge und würde die Messgenauigkeit erheblich einschränken. Noch viel kritischer ist aber, dass wir uns kaum einen Spannungsabfall beim Betrieb mit dem MAX1797 erlauben können, der mit einer Zelle schon im Grenzbereich arbeitet. So kann man für die Strommessung letztlich nur einen Spannungsabfall im Bereich weniger mV zulassen.

Jede Strommessung würde also einen sehr kleinen Vorwiderstand etwa im mΩ-Bereich voraussetzen und dann auch nur Spannungen im unteren mV-Bereich liefern. Um zu brauchbaren Spannungswerten zu kommen, müssten wir Operationsverstärker benutzen. Diese setzen wieder eine zusätzliche Spannungsversorgung voraus und verursachen ihrerseits zusätzliche Fehler.

Aus all diesen Gründen gehen wir hier einen ganz anderen Weg. Wir messen den aus dem Akku fließenden Strom nämlich nicht dauernd, sondern nur einmal, nämlich beim Aufbau des Gerätes. Unser Tiger entnimmt aus der geregelten Betriebsspannung von 5V über die ganze Betriebszeit einen nahezu konstanten Strom. Allerdings ändert sich der etwa 5-mal höhere Akkustrom durch die langsam abnehmende Akkuspannung – er wird größer. Das hängt mit der Energieerhaltung zusammen, der Wandler MAX1797 braucht bei kleiner werdender Akkuspannung einfach mehr Strom, um die 5V bei konstanter Last aufrecht zu erhalten. Wenn wir nun die Charakteristik der Spannungs- und Stromverläufe kennen, läßt sich der mittlere Akkustrom über die Zeit recht genau abschätzen. Und den kann man einmal mit „professionellen“ Mitteln, z.B. mit einem guten Multimeter direkt am Akku messen. Benutzen Sie dazu den meist vorhandenen 10A-Bereich, da nur hier der Shunt-Widerstand klein genug ist, um die Messung nicht zu verfälschen.

Der Autor hat die Strom-Spannungs-Charakteristik über mehrere Akkus einmal aufgenommen und die Abhängigkeiten in Diagramm 1 festgehalten. Wir sehen, dass sich über weite Bereiche eine lineare, aber umgekehrt proportionale Abhängigkeit des Akkustromes über die Akkuspannung einstellt. Lediglich im unteren Spannungsbereich knickt die Kennlinie ab, d.h. hier wird der Strom bei kleiner werdender Akku-Spannung ebenfalls kleiner. Der Grund hierfür ist, das bei sehr kleinen Akku-Spannungen der Wandler MAX1797 nicht mehr die volle Ausgangsspannung erzeugen kann und dadurch auch nicht mehr so viel Akkustrom entnimmt. Dieses Verhalten ist allerdings nur für relativ kurze Zeit relevant, da in diesem Bereich die Akkuspannung recht schnell absinkt und der Entlade-Vorgang bald beendet ist.

Der normale Betriebsfall bei der Akku-Entladung ist, dass ein voller, frisch geladener Akku eine Akkuspannung bis etwa 1,5V haben kann. Diese sinkt bei Entladung zunächst sehr schnell auf die so genannte Nennspannung von etwa 1,2V ab. In diesem Bereich bleibt die

Akkuspannung dann lange Zeit nahezu konstant, um dann am Ende der Akkukapazität wieder rasch abzusinken.

Das führt zu der Überlegung, einen Stromwert im Bereich der Akkuspannung von 1,2V als Mittelwert anzusetzen und für die Kapazitätsmessung zu verwenden. Der durch diese „Schätzung“ entstehende Fehler liegt in derselben Größenordnung wie die Summe aller Fehler, die bei einer echten Strommessung auftreten können. Wir hatten schon erwähnt, dass der Wunsch, alle Aktivitäten aus der zu prüfenden Akkuzelle selbst versorgen zu lassen, eine ganze Reihe von Fehlern mitbringt und zusätzlich die mehrfache Messwert-Wandlung einige schwerwiegende Ungenauigkeiten verursachen würde. Ohnehin ist die Kapazitätsmessung von Akkus selbst nicht ganz problemslos und von vielen Faktoren abhängig:

- der entnommene Strom muss in messbare Spannung umgewandelt werden,
 - Innenwiderstände von Leitungen, Übergangswiderstände von Batterie-Kontakten usw. liegen in der gleichen Größenordnung wie der Messwiderstand
 - eine Spannungsverstärkung über OPV's ist notwendig,
 - die Akkukapazität selbst ist von der Temperatur abhängig,
 - die gemessene Kapazität ist stark vom Entladestrom abhängig,
 - das vorher benutzte Ladeverfahren spielt eine große Rolle,
 - Typ, Bauform und Innenwiderstand des Akkus beeinflussen die Kapazität,
 - die angesetzte Ladeschlussspannung hat einen Einfluss,
 - deren genaue Messung ist nur mit externen AD-Wandlern gewährleistet,
- usw.

Im Übrigen zeigen sogar professionelle Lade-Geräte mit Funktionen zur Kapazitätsmessung stark schwankende Ergebnisse beim gleichen Akku und mehreren Messungen hintereinander.

All diese Faktoren berechtigen uns, mit einem Strom-Mittelwert zu arbeiten, den wir natürlich einmal für unsere Schaltung, für unterschiedliche Tiger-Exemplare und andere Einflussgrößen ermitteln müssen. Da diese Größen dann in Zukunft immer dieselben sind, haben wir eine gute Vergleichsmöglichkeit für alle zu messenden Akkus.

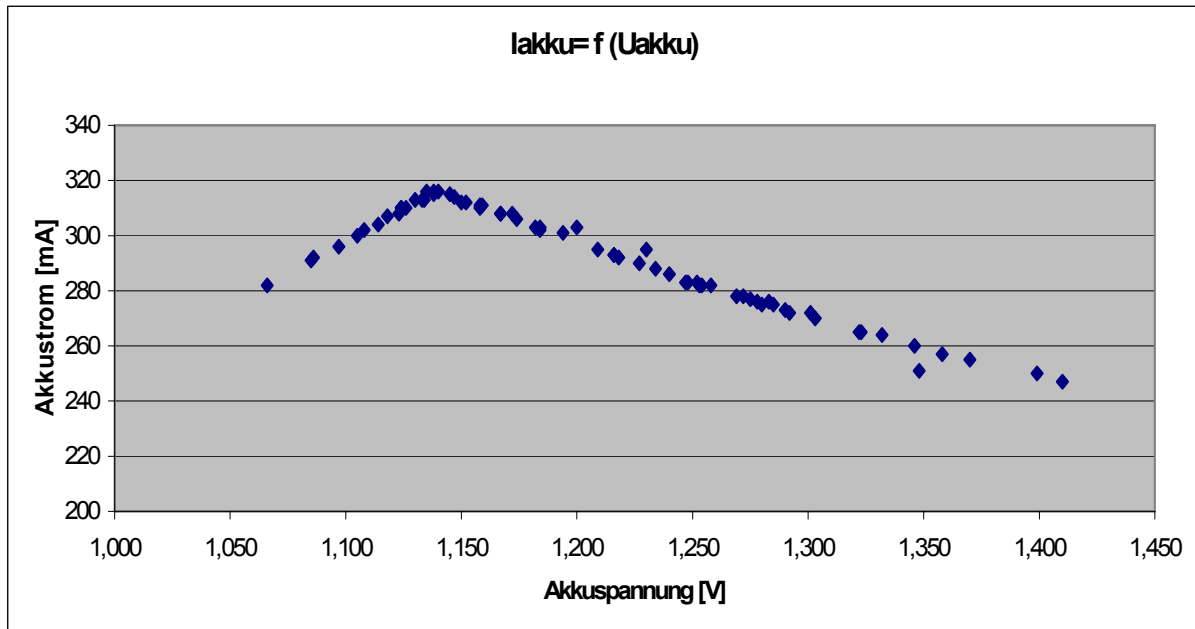


Diagramm 1 Akkustrom als Funktion der Akkuspannung (Gerät des Autors!)

6. Die Schaltung

Bild 6 zeigt die komplette Schaltung des Kapazitäts-Messgerätes. Zur Funktion folgendes:

Die Wandlerschaltung mit dem MAX1797 kennen wir vom Prinzip her schon (Berichte 081 und 088). Allerdings liegt dessen Betrieb bei 5V Ausgangsspannung mit nur einer Zelle schon nahe am Limit. Deshalb sind auch einige Vorkehrungen nötig, um einen sicheren Betrieb des BASIC-Tigers[®] zu gewährleisten. Untersuchungen zeigen, dass Akkuspannungen unter etwa 1,1V zu einer Absenkung der Ausgangsspannung führen. Deshalb ist der an Batterie-Plus liegende Widerstand des Spannungsteilers an LBI (22- 47k Ω) so einzustellen, dass der Wandler bei Akku-Spannungen unter 1,1V sicher abschaltet. Damit bleibt die Ausgangsspannung im vorgeschriebenen Bereich 4,75V...5V. Die Spannung von 1,1V ist auch ein vernünftiger Wert für die Festlegung der Entladeschlussspannung des Akkus.

Mit der „start“-Taste wird SHDN des MAX1797 an Masse gelegt und der Wandler dadurch aktiviert. Er erzeugt nun am Ausgang 5V und der BASIC-Tiger[®] beginnt zu arbeiten. Gleichzeitig wird der Low/High-Sprung an Vcc zur Erzeugung eines Reset-Impulses für den Zähler genutzt. Im Programm wird als einer der ersten Schritte L84 auf High gebracht und damit das Relais betätigt. Dieses überbrückt nach etwa 1 Sekunde die Taste und hält den Wandler aktiv. Wenn die Akkuspannung beim Entladen also 1,1V unterschreitet, erkennt dies der an LBI angeschlossene interne Komparator und schaltet LBO hochohmig. Wegen des Widerstandes an LBO gegen Vcc wird ein High-Pegel erzeugt, den der BASIC-Tiger[®] an L83 erkennt und das Programmende einleitet. Hier wird als einer der letzten Programmschritte das Relais und damit die Betriebsspannung abgeschaltet.

Die Zählimpulse (jeder Impuls entspricht 1 mAh) werden auf L82 mit High ausgegeben und schalten den Transistor durch. Das erzeugt einen „Tastendruck“ am Zähler.

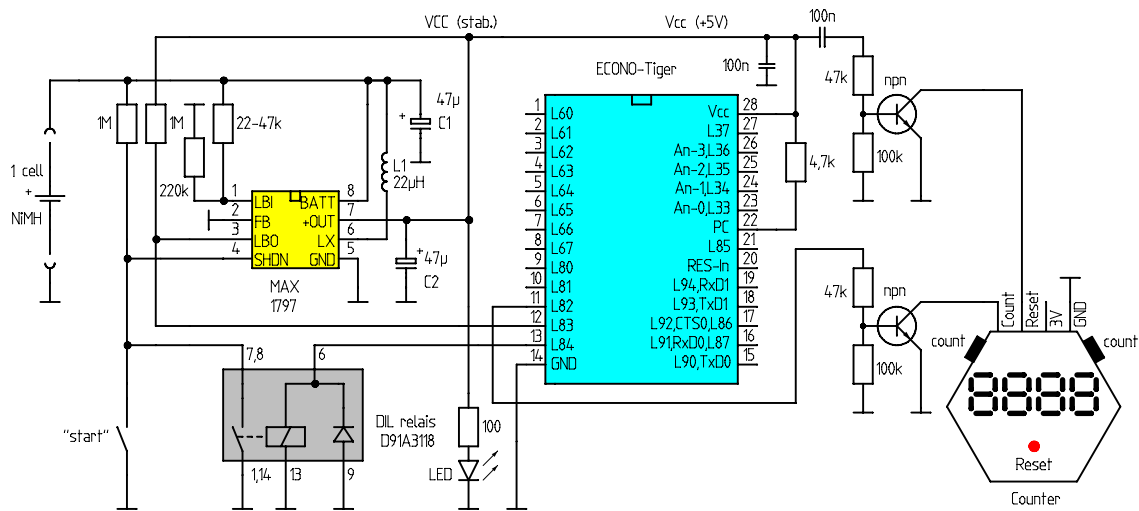


Bild 6 Schaltung des Akku-Kapazitäts-Messgerätes

Bild 7 zeigt den Musteraufbau des Autors.



Bild 7 der Musteraufbau des Autors

7. Ergebnisse

Der Autor benutzte zur Kapazitätsmessung seiner Akkus das Computer-Ladegerät ALC 1000 EXPERT von ELV. In der Funktion „Test“ dieses Gerätes werden bis zu vier Akkus zunächst definiert geladen, dann wird die Kapazität jedes Akkus ermittelt und angezeigt. Abschließend erfolgt wiederum eine Ladung und danach eine Erhaltungsladung. Die Ergebnisse von einigen Akkus werden in der folgenden Tabelle dargestellt und mit den Ergebnissen des Eigenbaus verglichen.

Wie immer bei Akku-Kapazitätsmessungen gibt es je nach Messablauf (Ladevorgang vorher, eingestellte Ladeschlussspannung, Entladestrom usw.) und Akkueigenschaften unterschiedliche Werte. Die mit unserem Gerät ermittelten Werte weichen z.T. bis 15% von den mit dem ALC 1000 EXPERT gemessenen ab. Praktisch ist diese Genauigkeit aber meist ausreichend, wenn die Werte reproduzierbar bleiben und immer mit einem Gerät gemessen wird.

Insgesamt ist ein Akku aber immer Chemie, vielleicht sogar „Alchemie“. Fast immer steht, was die Kapazität betrifft, auf den Akkus etwas anderes drauf, als drin ist. Unsere Musterakkus 1-5 sollten 2600mAh haben – selbst unser „optimistisches“ Gerät misst in allen Fällen deutlich weniger. Noch krasser ist die Differenz bei den Akkus A und B, die nur knapp die Hälfte der aufgedruckten Kapazität hatten. Allerdings ist hier zu beachten, dass diese für die Mignon-Bauform sehr „schwachen“ Akkus mit nur 700mAh für kleinere Entnahmeströme im Normalbetrieb konzipiert sind. Beide Kapazitätsmessgeräte sind für höhere Entladeströme ausgelegt, was den Akku schneller an seine Entladeschlussspannung bringt.

Wer trotz dieser Hinweise das Messergebnis weiter verbessern will, könnte z.B. in einem eigenen Programm die Akkuspannung über einen Analogeingang messen und damit den Akkustrom rechnerisch entsprechend der gemessenen Spannungs-Strom-Charakteristik korrigieren.

Akku-Nr. (Nenn-Kapazität)	Messung mit ALC1000 EXPERT [mAh]	Messung mit BT-System [mAh]	Abweichung (Faktor)
1 (2600mAh)	2227	2203	0,99
2 (2600mAh)	2005	2305	1,15
3 (2600mAh)	2063	2273	1,10
4 (2600mAh)	2013	2360	1,17
	1940	2339	
	2025	2336	1,15
5 (2600mAh)	1940	2180	1,12
A (700mAh)	242	232	0,96
B (700mAh)	266	224	0,84

Tabelle 1 Messergebnisse

Abschließend noch ein paar Worte zum Nutzen eines solchen Gerätes.

Wir können nun Akku-Kapazitäten messen, zwar nicht sehr genau, aber relativ reproduzierbar. Insbesondere die Unabhängigkeit vom Stromnetz oder vom KFZ-Bordnetz ist ein Vorteil, ebenso, dass man sich außer dem Betätigen des „Start“-Knopfes um nichts weiter kümmern muss. Es entstehen keinerlei Kosten und Gefahren durch ein am Stromnetz vergessenes Ladegerät. Interessant ist im Gegensatz zu vielen kommerziellen Geräten, dass man hier die Akku-Kapazität so messen kann, „wie sie ist“. Viele Geräte laden die Akkus grundsätzlich erst einmal auf. So kann man z.B. nie den Kapazitäts-Verlust durch Lagerung (Selbstentladung) ermitteln. Mit unserem Gerät geht das schon – Sie werden staunen, wieviel Kapazität ein in Ihrer Kamera „gelagerter“ Akku nach einem Monat noch hat...

Viel Spaß beim Akku-Testen!