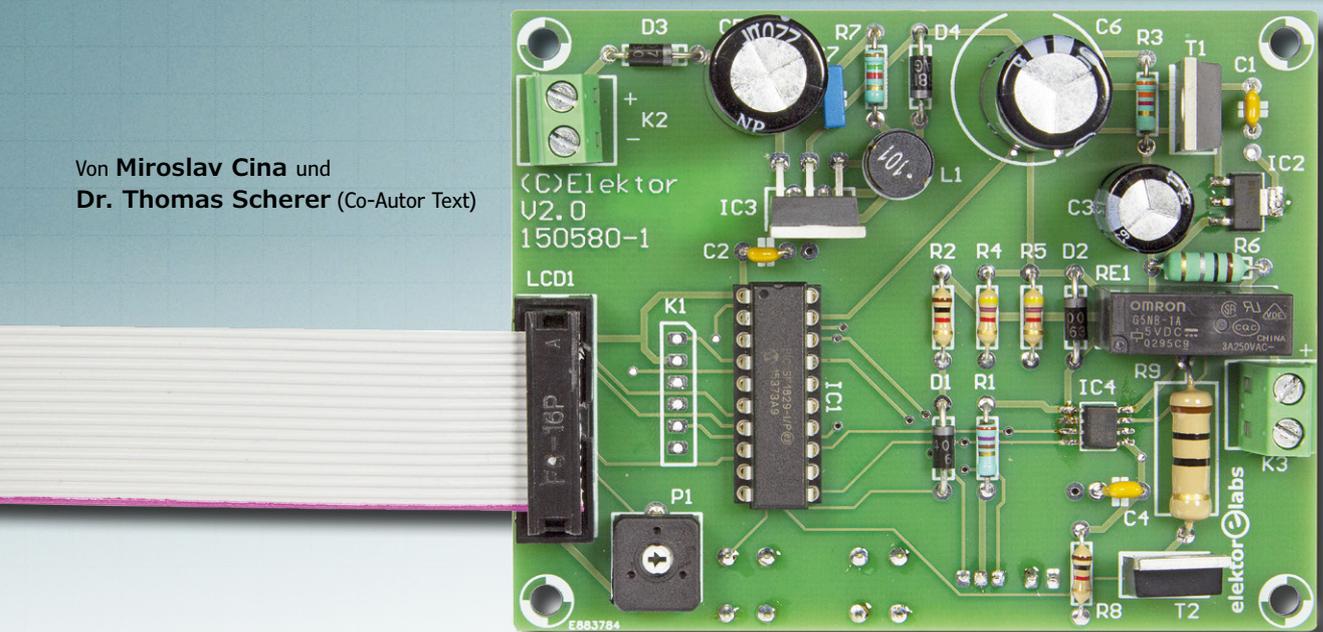




Von **Miroslav Cina** und
Dr. Thomas Scherer (Co-Autor Text)



Vor kurzem ist Miroslav Cina über einen Haufen alter Akkus von und für Notebooks gestolpert. Sie waren aussortiert, weil sie zur Versorgung der transportablen Rechner nicht mehr taugten. Neugierig hat er sie dann demontiert. Die Elektronik war unwichtig, und es stellte sich heraus, dass eine ganze Menge einzelner Zellen noch brauchbar waren. Um sie in eigenen Projekten einsetzen zu können, braucht es aber ein geeignetes Ladegerät. Und prompt hat er eines entwickelt.

Eigenschaften

- Lädt beliebige Li-Ion-Akkus mit einer Nennspannung von 3,6 V.
- Formatierungsmodus für Rettungsversuche tiefentladener Zellen.
- Entlademodus zur Ermittlung der realen Akkukapazität.
- Alle wichtigen Informationen verfügbar dank LC-Display.

Nicht nur Selbstbauprojekte, sondern auch käufliche Elektronik werden oft von Batterien oder durch NiMH-Akkus versorgt. Erstere muss man immer wieder neu kaufen, und letztere Energiequellen wiegen relativ viel. Außerdem sind beide gerade für Geräte mit höherem Strombedarf und längeren Lagerzeiten nicht optimal. Deswegen stecken heutzutage in vielen Geräten Akkus auf Lithium-Basis, doch diese Technik kostet mehr und braucht mehr Aufwand. Wo es für AA-/AAA-Zellen und RC-Akkus in NiCd- oder NiMH-Technologie quasi in jedem Technikmarkt geeig-

nete automatische Ladegeräte für wenig Geld gibt, sieht das für Lithium-Akkus eher mau aus. Der Grund dafür ist, dass Li-Ion-Akkus für gewöhnlich (wie bei Laptops oder Akkuschaubern) von Hause aus in Geräte eingebaut sind, und daher eine individuell geeignete Ladeelektronik eingebaut ist beziehungsweise das passende Ladegerät beiliegt.

Der Bedarf nach Universal-Ladegeräten ist auch daher gering, weil es keinen Markt für einzelne Lithium-Zellen gibt, die einfach in Geräte eingelegt und an der Kasse von Aldi, Lidl & Co. zum Mit-

Li-Ion-Akkulader

Ladegerät mit korrekten Kennlinien



nehmen bereitliegen. Lithium-Zellen werden in weniger stark reglementierten Formen und vor allem zum festen Einbau in Geräte, also mit Lötflächen oder Schraubanschlüssen hergestellt und gehören aufgrund ihrer Empfindlichkeit, des erforderlichen anspruchsvollen Umgangs damit und gegebenenfalls sogar wegen ihrer Gefährlichkeit nicht in die Hände von Laien. Insbesondere die verbreiteten LiPo-Typen mit besonders hohem Leistungsgewicht sind auch mechanisch leicht verletzbar und brennen dann gerne. Hinzu kommt natürlich die bekannte Tatsache, dass eine NiMH-Zelle eine Nennspannung von 1,2 V aufweist. Bei Lithium-Technik ist mit einer Nennspannung von 3,6 V zu rechnen. Die stabileren LiFePo4-Typen mit ihrer Nennspannung von 3,3 V kommen in Bohrmaschinen, Handstaubsaubern, Smartphones und Notebooks praktisch nicht vor.

Li-Ion-Akkus

Unabhängig davon ob man Akkuzellen aus alten Akkublöcken wie in **Bild 1** ausbauen und weiter nutzen oder Li-Ion-Zellen neu kaufen möchte: Man braucht das passende Ladegerät. Dabei gibt es eine ganze Reihe Aspekte zu beachten, denn ganz so einfach wie bei NiMH-Akkus ist das Laden nicht. Es gibt Unterschiede in vielen Aspekten.

Zunächst eine Warnung: Lithium-Zellen darf man anders als Blei-, NiCd- oder NiMH-Zellen nicht ohne zusätzliche Maßnahmen in Serie schalten. Warum das so ist, steht im **Kasten Balancing**. Das hier beschriebene Ladegerät vermeidet diese Komplikationen, denn es ist für das Laden einer einzigen Lithium-Zelle mit einer Nennspannung von 3,6 V optimiert. Diese Nennspannung ist für praktisch jede Lithium-Chemie passend – mit Ausnahme der LiFePo4-Technologie. Neben der Nennspannung von 3,6 V

INFOS ZUM PROJEKT

-  Lithium Akkus
Ladegerät
Akku-Recycling
-  Einsteiger
→ Fortgeschrittener
Experte
-  Etwa 3 Stunden
-  FTDI-USB/Seriell-Kabel
PICkit-Programmier-Schnittstelle (beide optional)
-  Rund 40 Euro



Bild 1. Konvolut ausgemusterter Laptop-Akkus mit ausgebauten Zellen. Viele davon lassen sich noch lange für andere Zwecke einsetzen.



Bild 3. Zusammen mit einem Steckernetzteil hat sich Miroslav Cina (mit Hilfe der Schaltung von Bild 2) ein erstes funktionierendes Li-Ion-Ladegerät gebaut. Nachteil: Man sieht nicht, was gerade los ist.

gibt es noch einige andere „typische“ Werte, die man beim Bau eines Ladegeräts berücksichtigen muss. Für die Zellen gilt je nach Typ eine minimale Spannung von 2,75 bis 3 V und eine Maximalspannung von 4,2 V. Liegt die Zellenspannung beim Lagern, Entladen und Laden nicht in diesem Bereich, dann muss man mit Schädigungen rechnen. Nun ist man beim „Recyclen“ einzelner Zellen ja nicht unbedingt auf die volle Kapazität angewiesen. Für viele Zwecke tun es auch leicht angeschlagene Zellen mit reduzierter Kapazität. Man kann also auch versuchen, zu tief entladene Zellen wieder einsatzfähig zu machen. Dazu dürfen solche Exemplare aber nicht sofort mit dem vollen Ladestrom traktiert werden. Bei Spannungen unter 2,7 V müssen die Zellen mit einem Minimal-Ladestrom von einigen wenigen mA zunächst einmal „formatiert“ werden. Ab 2,7 V kann es dann richtig losgehen. Dieser Pro-

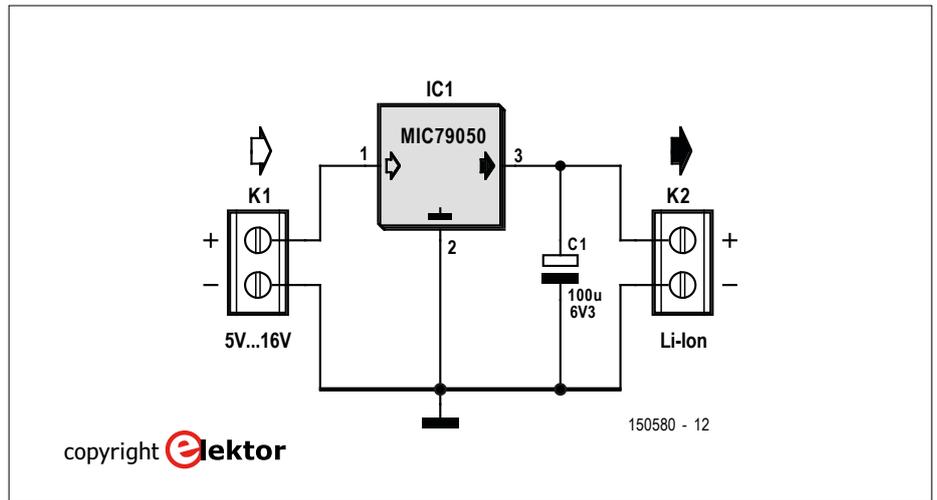


Bild 2. Die Minimalschaltung eines Ladegeräts für Lithium-Akkus kommt mit lediglich einem einzigen dreibeinigen IC (plus Elko) aus.

zess kann aber unter Umständen einige Stunden dauern. Sollte eine Zelle nach vielen Stunden immer noch nicht diese Schwelle überschreiten, dann empfiehlt sich ein endgültiges Recyclen im Sinne der Entsorgung. Gleiches gilt für Zellen, die stabil 0,0 V aufweisen oder gar leicht negativ gepolt sind (kommt bei Serienschaltungen vor). Hier braucht man das Formatieren gar nicht erst zu versuchen.

Laderegeln

Ein wichtiger Wert für Lithium-Akkus ist der Wert „C“. Hier handelt es sich nicht etwa um die Abkürzung des englischen Begriffs „capacity“, es ist ein schlichter terminus technicus, der als Faktor den Strom relativ zur Kapazität angibt. Die Formel lautet: $C = \text{Kapazität in Ah} / 1 \text{ h}$.

Ein maximaler Ladestrom von 1 C bedeutet bei einer Zelle mit einer Kapazität von 2.300 mAh dann einen maximalen Strom von 2,3 A. Eine Ladung mit einem konstanten Strom von 1 C ist übrigens bei vielen Zellen machbar. Spezielle oder ältere Zellen verkraften gelegentlich auch nur 0,5 C oder etwas weniger. Schnellladefähige Typen kommen sogar auf bis zu 5 C – sind also schon in 20 Minuten voll geladen. Weniger Ladestrom als der Maximalwert ist natürlich immer möglich.

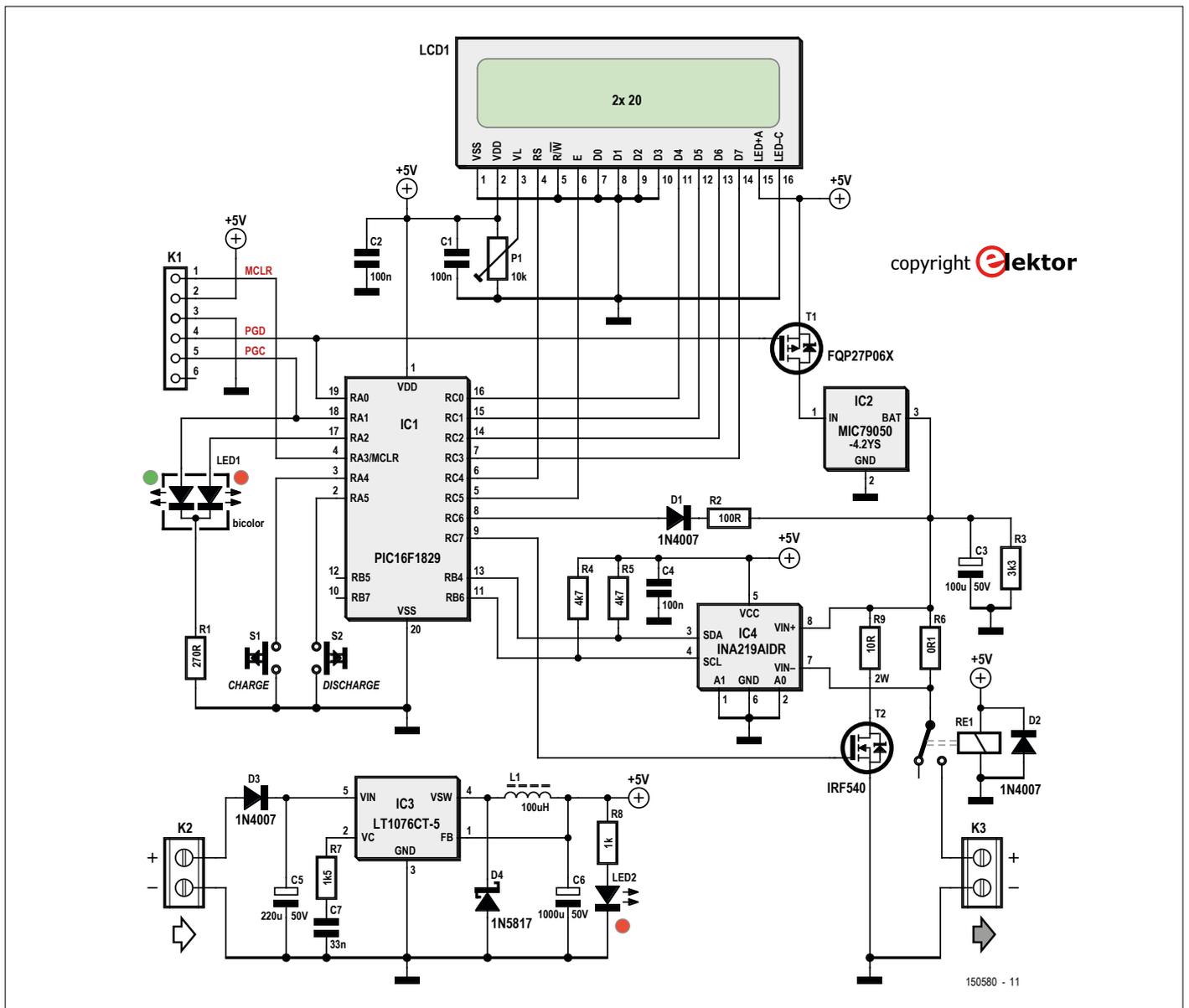
Auch beim Entladen spielt dieser Faktor eine Rolle, aber man hat es hier auch mit höheren Werten zu tun. 2 C sind quasi normal und die in den Autos von Tesla eingesetzte Panasonic-Zelle vom Typ 18650B kommt auf diesen Wert, falls Sie mal einen Tesla ausschleppen wollen ;-)

Es geht aber auch mehr: LiPos kommen häufig auf 5 C oder 10 C und Spezialzellen können kurzfristig auch über 20 C liefern. Für das Laden spielt das aber eine untergeordnete Rolle.

Aus diesen Kennwerten ergeben sich direkt die Anforderungen an ein Lithium-Ladegerät: Es muss bei Spannungen unter 2,7 V mit nur wenigen mA laden, ab dieser Schwelle dann mit einem bestimmten höheren Konstantstrom weiterladen, bis die Schlussspannung von 4,2 V erreicht ist. Ab da wird einfach die Spannung von 4,2 V konstant gehalten und der Ladestrom reduziert sich automatisch mit steigendem „Füllstand“ der Zelle. Unterschreitet der sich nun ergebende Ladestrom irgendwann einen Minimalwert von z.B. 0,05 C, wird die Ladung beendet und der Akku als voll betrachtet. Wichtiges Extra: Gerade geschädigte Akkus sind möglicherweise so ausgelaugt, dass der zum Abschalten führende Strom nie erreicht wird. Hier muss dann eine Zeitabschaltung ein ewiges Laden verhindern.

Integrierte Lösung

Da Lithium-Akkus ja vorwiegend in Geräte eingebaut sind, ist es kein Wunder, dass die Halbleiter-Industrie bereits allerhand integrierte Laderegler im Programm hat, um den Geräte-Produzenten das Leben zu erleichtern. Eine der einfachsten integrierten Ladelösungen überhaupt ist das dreibeinige IC MIC79050S von Microchip. Ein damit aufgebautes Ladegerät ist tatsächlich so einfach wie in **Bild 2** dargestellt. Dieser Laderegler



copyright **e**lektor

Bild 4. Mit Hilfe eines Mikrocontrollers und etwas mehr Elektronik wird aus dem Sempel-Laderegler von Bild 2 ein richtig luxuriöser Lithium-Lader.

stellt an seinem Ausgang eine stabilisierte Spannung von 4,2 V mit einer (notwendigen) Toleranz von 0,75 % zur Verfügung. Sein Ladestrom beträgt maximal 0,5 A – nicht viel, aber daher auch für die allermeisten Zellen geeignet. Eine übliche Zelle mit 2...3 Ah ist also in akzeptablen 4...6 Stunden aufgeladen.

Außer einer eingebauten Übertemperatursicherung kann das IC nicht viel. Dafür ist es im lötfreundlichen Gehäuse SOT223-3 verfügbar und braucht am Eingang nicht mehr als eine Spannung im Bereich 5...16 V, die mit 0,5 A belastbar ist. Empfehlenswert ist dabei, im unteren Spannungsbereich zu bleiben, denn der Linearregler verheizt sonst viel Energie und wird entsprechend heiß. Miroslav Cina baute sich daher zum Test auf

Tauglichkeit einen simplen Lithium-Lader auf, bestehend aus einem alten Steckernetzteil eines Nokia-Handys (5,7 V / 0,8 A) und dem IC auf einer Experimentierplatte (siehe **Bild 3**). Der Test ergab grünes Licht.

Das Einfachst-Ladegerät funktioniert zwar, hat aber gerade für Elektroniker einen entscheidenden Nachteil: Irgendwann ist der Akku wohl voll, aber man weiß nicht wann und sieht nicht, was dabei passiert. Hierzu ist dann schon etwas mehr Elektronik nötig, weshalb sich Miroslav an die Entwicklung eines „richtigen“ Ladegeräts machte.

Luxusversion

Mehr Luxus heißt heute, dass eine Grundfunktion via Mikrocontroller auf-

gepeppt wird. So auch hier: **Bild 4** zeigt die komplette Schaltung eines komfortablen Ladegeräts für handelsübliche Li-Ion-Zellen. Der Mikrocontroller vom Typ PIC16F1829 steuert nicht nur das Laden an sich, sondern misst die Spannung und den fließenden Strom, steuert eine zweifarbige Status-LED, fragt zwei Taster ab und zeigt alle wichtigen Daten auf einem LCD an.

Das ist aber noch nicht alles: Damit nicht allzu viel Energie verheizt wird, ist mit IC3 auch noch ein Schaltregler eingeschleift. Doch keine Angst, die zugehörige Spule muss man nicht selbst wickeln, denn L1 gibt es als günstige Festinduktivität. D3 dient als Verpolschutz. Da IC3 für 5 V Ausgangsspannung eine Eingangsspannung zwischen 8 V und 60 V

benötigt, genügt zur Versorgung der Schaltung ein simples, unstabiliertes Steckernetzteil mit etwa 5 W Belastbarkeit. Seine Ausgangsspannung sollte zwischen 9 V und 36 V liegen. Ideal wären 12 V und 0,5 A. Bei D4 sollte es unbedingt eine schnelle Schottky-Diode mit 1 A Belastbarkeit sein. Ein simpler Ersatz durch eine Silizium-Diode aus der Grabbelkiste ist keine gute Idee. LED2 leuchtet, wenn die 5 V von IC3 anliegen.

IC1 erfasst mit den I/O-Pins RA4 und RA5 den Status der beiden Taster S1 und S2. Das klappt so spartanisch, weil der Controller an seinen Eingängen interne Pull-ups aktiviert hat. RA1 und RA2 steuern die zweifarbige LED (siehe **Kasten Bi-Color-LED und Status**). LCD1 wird im klassischen Halb-Byte-Verfahren angesteuert und bietet je nach Typ zwei Zeilen mit je 20 oder 24 Zeichen. P1 ist für die Kontrasteinstellung gedacht. Die Hintergrundbeleuchtung ist direkt an +5 V angeschlossen (Pins 15 und 16). Man muss also darauf achten, ein Display mit integriertem Vorwiderstand zu nehmen, falls man ein anderes als das in der Stückliste vorgeschlagene Modell wählt. T1 ist ein P-Kanal-Power-MOSFET und schaltet die Versorgung des eigentlichen Ladereglers IC2 ein und aus.

Die Strommessung wird mit Hilfe des darauf spezialisierten ICs INA219 über einen niederohmigen Shunt (R6) vorgenommen. IC4 ist per I²C mit IC1 verbunden. Für IC4 genügt hier übrigens die



Bild 5. So sah der erste Lochraster-Aufbau des Luxus-Laders von Miroslav aus.

preiswertere und nicht ganz so genaue Ausführung INA219B.

Über T2 kann der Lastwiderstand R9 an den Akku gelegt werden, um ihn zu entladen. Dank einer mit S2 startbaren Entladefunktion kann vollautomatisch die reale Kapazität eines (voll geladenen) Prüflings ermittelt werden.

Die „Formatierung“ eines zu tief entladenen Akkus erfolgt über einen High-Pegel an Pin RC6 von IC1. Der Strom wird über R2 und den Innenwiderstand des MCU-Pins begrenzt und D1 verhindert einen Rückstrom. Die Höhe des Formatierungsstroms hängt von der Zellenspannung ab. Ein Beispiel: Bei 2,3 V liegen 5 V abzüglich der Durchlassspannung von D1 und der Zellenspannung = 2 V an R2. Es fließt folglich ein maximaler Strom von 20mA. Mehr als 25 mA kann die MCU nicht liefern.

Bleibt noch zu klären, wozu RE1 eigentlich da ist, denn es wird ja nicht vom Mikrocontroller angesteuert. Des Rätsels Lösung ist ganz einfach: Das Relais ist nur dann angezogen, wenn das Ladegerät versorgt wird. Zieht man den Stecker, wird ein eventuell angeschlossener Akku abgetrennt und so nicht versehentlich „rückwärts“ über IC3 und IC4 entladen, was unabsichtliche Tiefentladungen zuverlässig verhindert.

Software

Kein Mikrocontroller ohne Firmware. Hier hat sie folgende Aufgaben zu erledigen: Aktuellen Zustand ermitteln, Strom und

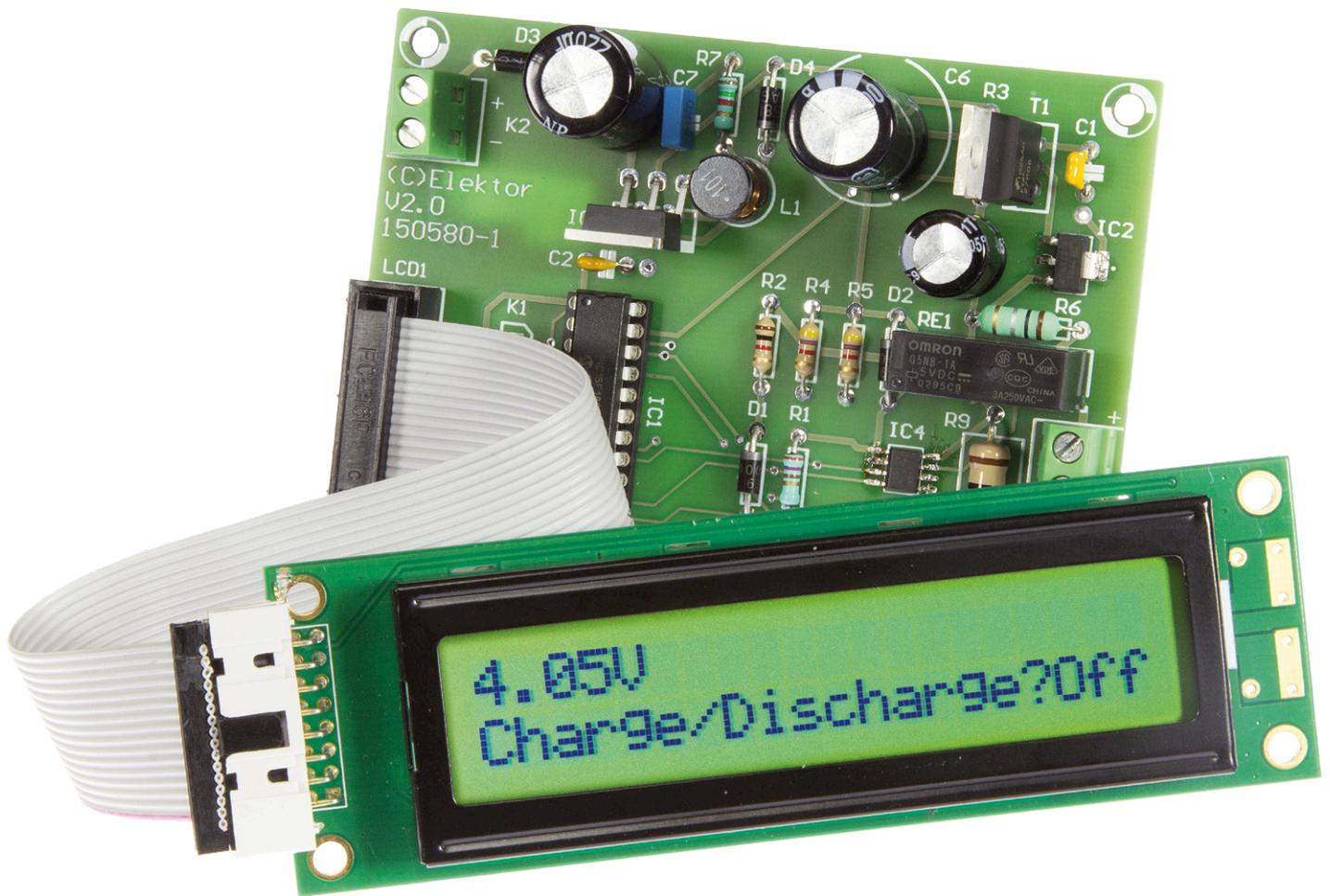


Balancing

Anders als bei der Chemie üblicher Akku-Technologien reagiert der Inhalt von Lithium-Zellen empfindlich auf Überladung und Tiefentladung, was den Akku irreversibel schädigt. In einer Serienschaltung wird ohne explizite elektronische Überwachung (eben dem Balancing) die Zelle mit der kleinsten Kapazität beim Laden irgendwann „übertoll“ sein (die Zellenspannung steigt über den zulässigen Wert), während die anderen Zellen noch weiter geladen werden wollen. Neben der Temperaturerhöhung und der Feuergefährlichkeit mancher Typen hat die daraus folgende Schädigung der betreffenden Akkuzelle dann eine weitere Reduktion ihrer Kapazität zur Folge. Genauso beim Entladen: Die Zelle mit der kleinsten Kapazität rutscht dabei ohne Überwachung leicht in kritische Unterspannungsbereiche, was ebenfalls einen

Kapazitätsverlust bedeutet. Nach mehreren Lade/Entladezyklen schaukelt sich das Problem also schnell auf.

Deshalb gilt die eiserne Regel: Lithium-Zellen niemals ohne sogenannten Balancer oder explizite Akku-Management-Elektronik in Serie schalten. Das gilt für den normalen Betrieb (= Entladen) genauso wie für das Laden. Geeignete Balancer gibt es für unterschiedliche Zellenzahlen, Kapazitäten und unterschiedliche Lithium-Chemie fertig zu kaufen. Das Thema Balancing ist komplex und würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. Auch in Elektor gab es schon Artikel dazu, die man per Suchfunktion auf www.elektormagazine.de findet. Für viele Zwecke genügt aber schon die Verwendung einer einzigen Zelle, und dann kann man Balancer-Fragen getrost ignorieren.



▶ Lithium-Akkus recyceln - dank universellem Li-Ion-Ladegerät

Spannung messen, Taster abfragen, LED1, T1 und T2 ansteuern, die Zeit erfassen und relevante Informationen auf dem LC-Display ausgeben. Die Firmware wurde in Assembler geschrieben und ist wie immer sowohl als Source-Code als auch als Hex-Datei im Download [1] kos-

tenlos erhältlich. Nachfolgend eine kurze Erläuterung relevanter Teile:

Die Software initialisiert zunächst den Zeit-Zähler (mit Interrupts und TIMER2); dann wird die Hauptschleife gestartet. Für den Ladeprozess ist die Routine

charge_main zuständig. In der Hauptschleife werden die aktuellen Werte von Strom und Spannung via INA219 per I²C ausgelesen und ausgewertet. Falls am Anfang eine Zellenspannung unter 2,7 V ansteht, wird zunächst die Formatierung vorgenommen. T1 bleibt derweil

Bi-Color-LED und Status

Mit Hilfe der zweifarbigen LED1 werden die Betriebszustände des Li-Ion-Akkuladers signalisiert. Dabei ergeben sich folgende Zuordnungen:

- LED1 = **aus**. Das Ladegerät ist nicht aktiv. Der Akku wird weder geladen noch entladen.
- LED1 = **orange** (R- und G- leuchten beide). Formatierungsprozess läuft.
- LED1 = **rot**. Ladephase. Der Ladestrom ist >200 mA.
- LED1 = **grün**. Ladephase. Der Ladestrom ist 80...200 mA.
- LED1 = **rot blinkend**. Entladephase.

Daraus folgt, dass sich bei eingeschaltetem Ladegerät und angeschlossenem Akku erst einmal gar nichts tut und lediglich die LED2 leuchtet. Nach Betätigung von S1 leuchtet die LED1 (solange die Zellenspannung unter 2,7 V liegt) zunächst orange. Oberhalb dieser Spannung leuchtet sie rot, wenn der Strom >0,2 A beträgt, und sie wird grün, wenn er darunter fällt. Unterhalb eines Stroms von 80 mA erlischt die LED und die Ladung ist beendet.

Bei Betätigung von S2 blinkt die LED solange, bis die Entladeschlussspannung von 3 V erreicht ist. Alle Prozesse kann man jederzeit durch gleichzeitige Betätigung beider Taster abbrechen.

gesperrt. Steigt die Spannung während der Formatierung über 2,69 V, wird die Formatierung beendet und via T1 und MIC79050 der normale Ladevorgang gestartet.

Beim normalen Laden werden Spannung und Strom periodisch gemessen. Die Hauptschleife wird beendet, wenn der Ladestrom unter 80 mA sinkt oder wenn die Gesamtladezeit von 30 Stunden überschritten wird. Beide Werte können in der Firmware geändert werden.

Der Wert für die maximale Ladedauer findet sich in der Subroutine *mm02* an der Stelle:

```
movlWd'030' ;maximal charging
time (hours)
```

Der Wert für den Minimalstrom steckt im Unterprogramm *curr_an* an der Stelle:

```
xorlWd'080' ;keep charging above
080 mA
```

Man kann auch die Schwelle für die Umschaltung von hohem zu niedrigem Ladestrom in der gleichen Subroutine ändern.

```
xorlWd'200' ;green LED off above
200 mA
```

Die Subroutine *discharge_main* ist für die Entladung zuständig. Die Entladung stoppt, wenn die Zellenspannung unter 3 V sinkt. Bei der Entladung wird nicht etwa die Zeit bewertet, sondern als rele-



STÜCKLISTE

Widerstände:

(alle 5 %, 1/4 W, 250 V)

- R1 = 270 Ω
- R2 = 100 Ω
- R3 = 3k3
- R4,R5 = 4k7
- R6 = 100 m, 1 W
- R7 = 1k5
- R8 = 1k
- R9 = 10 Ω, 2 W

Kondensatoren:

- C1,C2,C4 = 100 n / 50 V, keramisch, RM 2/10"
- C3 = 100 μ / 50 V, Elko, stehend, RM 3,5 mm, ø 8 mm
- C5 = 220 μ / 50 V, Elko, stehend, RM 5 mm, ø 10 mm
- C6 = 1000 μ / 50 V, Elko, stehend, RM 7,5 mm, ø 16 mm
- C7 = 33 n / 50 V, keramisch, RM 2/10"

Spule:

- L1 = 100 μ, 190 mΩ, 900 mA, stehend, MCSCH895-101KU

Halbleiter:

- D1..D3 = 1N4007
- D4 = 1N5817 *
- LED1 = bi-color, 5 mm, gemeinsame Kathode
- LED2 = rot, 3 mm
- T1 = FQP27P06X, P-Kanal, 70 mΩ
- T2 = IRF540NPBF, N-Kanal, 44 mΩ
- IC1 = PIC16F1829-I/P, programmiert*
- IC2 = MIC79050-4.2YS, TO223-3
- IC3 = LT1076CT-5
- IC4 = INA219AIDR*

Außerdem:

- LCD1 = LCD, mit Hintergrundbeleuchtung, z.B. MC22005A6W-GPTLY von Midas *
- Stiftleiste, 1 x 6, stehend, RM 1/10"
- 2 zweipolige Schraubklemmen für Platinenmontage, RM 2/10"
- 2 Taster für Platinenmontage, Schließer, 6 x 6 mm

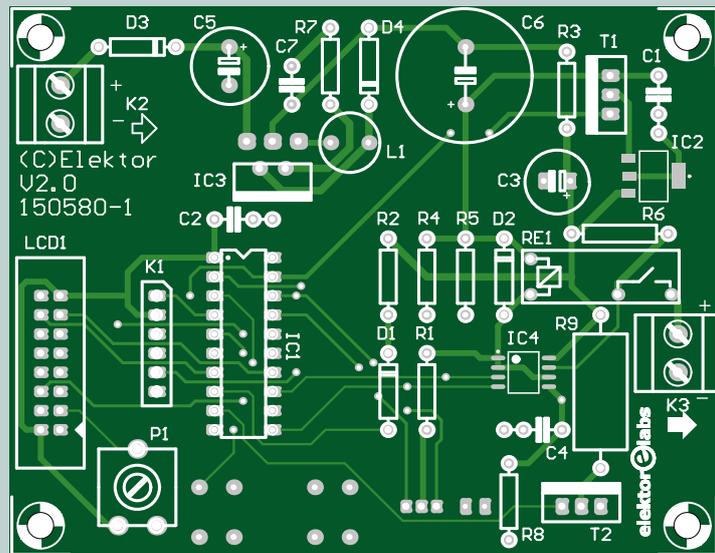
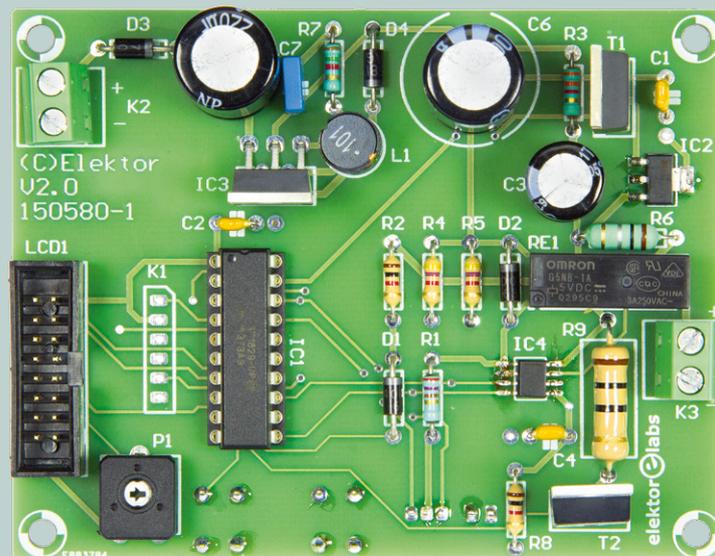


Bild 6. Dank Platine ist der Aufbau des luxuriösen Lithium-Laders ein Kinderspiel.



Relais, 5 V, 1-pol. Schließer, 5 A, z.B. Omron G5NB1A5DC
 20-pol. IC-Fassung, DIP, für IC1
 Platine 150580-1 V2.0 *

* siehe Text

vante Größe die vom Akku gelieferte Strommenge = Kapazität in mAh.

Es gibt kein Timeout. Die eigentliche Messung erfolgt in der Subroutine *inc_q* in mAs.

Bedienung

Nach dem **Einschalten** wird zuerst kurz die Firmware-Version angezeigt; danach kommen Informationen über den angeschlossenen Akku. Die Darstellung ist hier für das Display mit 2 x 20 Zeichen wiedergegeben:

```
U = 3.10V
CHARGE? / DISCHARGE?
```

Jetzt könnte man mit S1 die Ladung oder mit S2 die Entladung starten.

Beim **normalen Laden** (Zellenspannung >2,7 V) zeigt das LCD zunächst zum Beispiel solche Infos:

```
4.16V/+203MA/1736MAH
05:02:29                25
```

In der ersten Zeile stehen aktuelle Spannung und aktueller Strom sowie die gesamte bisher eingeladene Strommenge in mAh. In der zweiten Zeile finden sich links die bisher verstrichene Zeit in hh:mm:ss und rechts die noch bleibenden Stunden bis zum Timeout (hier 25 h).

Wenn nun der Strom unter die **Schwelle von 200 mA** sinkt, dann zeigt das Display:

```
4.16V/+199MA/1758MAH
05:05:29-00:05:24  25
```

In der zweiten Zeile kommt in der Mitte die verstrichene Zeit des Ladens mit reduziertem Strom hinzu.

Ist die Zelle **komplett geladen**, erlischt LED1 und es ist zum Beispiel die folgende Anzeige zu sehen:

```
4.16V    1807MAH
05:05:29-00:10:32OFF
```

In der zweiten Zeile sieht man jetzt am Ende statt des Timeouts die Information „Off“.

Sollte die Zellenspannung zu gering sein, startet der **Formatierungsprozess** mit folgender Anzeige:

```
1.28V/+016MA/0000MAH
FORMAT 00:01:43 30
```

Neben Zellenspannung und fließendem Strom in der oberen Zeile werden sich bei den geringen Strömen allenfalls minimale Strommengen ergeben. In der unteren Zeile wird angezeigt, wie lange der Prozess schon dauert und wie lange die Ladung maximal noch insgesamt dauern könnte.

Beim **Entladen** via S2 wird der Akku über R9 entladen. Ein gut geladener Akku wird also zunächst einen Strom von rund 360 mA fließen lassen. Die Anzeige wird also etwa so aussehen:

```
3.72V/-364MA/0759MAH
00:46:10
```

In der oberen Zeile ist also hinter den aktuellen Werten von Spannung und Strom (negatives Vorzeichen = Entladung) die bisher entnommene Strommenge in mAh zu sehen. Die untere Zeile zeigt die verstrichene Zeit.

Aufbau und Schlussbemerkungen

Der Prototyp von Miroslav Cina auf einer Lochrasterplatine ist in **Bild 5** zu sehen. Mit Hilfe der Platine (**Bild 6**) aus dem Elektor Shop [1] ist der Aufbau aber bedeutend einfacher. Schließlich sind alle Bauteile bis auf das trotz SMD-Gehäuse leicht zu lötfende IC2 vom bedrahteten Typ. IC1 ist fertig programmiert (mit der Firmware für ein 2x20-Zeichen-Display) erhältlich. Wer ein Display mit 2x24 Zeichen nutzen will, kann die alternative Firmware im Download verwenden. Wer ein alternatives Display einsetzen will, sollte darauf achten, dass es über einen HD44780-kompatiblen Controller verfügt. Wenn man alles richtig gemacht hat, dann müsste das Ergebnis etwa so aussehen wie der Prototyp aus dem Elektor-Labor (**Bild 7**).

Bei Anschluss eines Akkus muss man sorgfältig sein. Ein verpolter, geladener Akku kann nämlich durchaus IC4 beschädigen, da der Chip an seinen Messeingängen nur eine niedrige negative Spannung verkraftet. Wer das sicher verhindern will, der kann die Schutzschaltung von **Bild 8** zwischen Ladegerät und Akkuzelle schalten. Wird hier der Akku verkehrt angeschlossen, dann leitet die Diode und die Sicherung löst aus. Damit das schnell geht, sollte die Sicherung ein

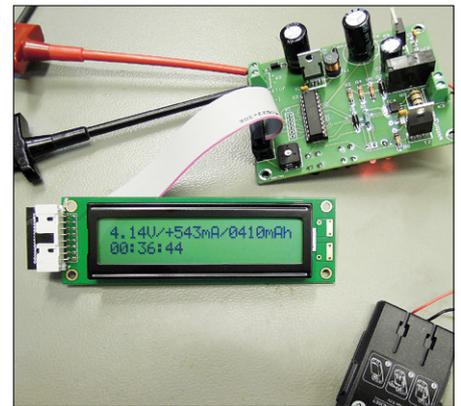


Bild 7. Der mit der Platine in Bild 6 realisierte Prototyp aus dem Elektor-Labor.

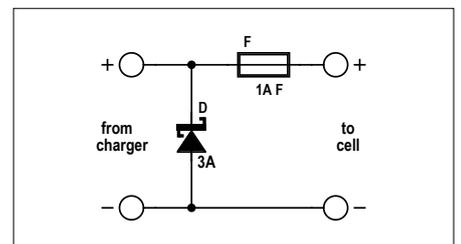


Bild 8. Diese simple Schutzschaltung verhindert Schäden durch versehentlich verpolte Akkus.

flinkes Exemplar sein. Und damit die Spannung auch im Fehlerfall möglichst niedrig bleibt, empfiehlt sich für D eine Schottky-Diode mit einer Belastbarkeit von mindestens 3 A.

Miroslav Cina hat seit dem Bau seines Li-Ion-Laders schon bei etlichen Geräten die NiMH-Akkus durch Lithium-Zellen ersetzt und deren Eigenschaften dadurch deutlich verbessert. Sein Ladegerät kommt also relativ oft zum Einsatz, und er kann daher sagen, dass es sich wirklich in der Praxis bewährt hat. Für Fragen, Anregungen und Verbesserungsvorschläge ist er jederzeit über die E-Mail-Adresse miroslav.cina@t-online.de erreichbar. ◀

(150580)

Weblink

[1] www.elektor.de/150580

EINKAUFSZETTEL

→ 150580-1
Platine

→ 150580-41
Programmierter Controller,
Version für 2x 20 Zeichen