

# Universal-Lademodul für 1–16 NC/NiMH-Zellen

**Das Lademodul basiert auf einem hochintegrierten Lade-IC von Linear Technology und einer 550-kHz-PWM-Ladeendstufe mit sehr hohem Wirkungsgrad. Trotz des hohen Ladestromes von bis zu 1,67 A ist kein Kühlkörper erforderlich.**

## Allgemeines

Die Lebensdauer von Akkus ist wesentlich abhängig von der Akku-Pflege, wobei die richtige Ladung am wichtigsten ist. Nur Akkus, die zu 100 % geladen werden, ohne dass es dabei zur Überladung kommt, können die volle Leistung zur Verfügung stellen. Die bestmögliche Ausnutzung der Akku-Kapazität und die Optimierung der Lebensdauer muss daher das oberste Ziel eines modernen Akku-Management-Systems sein.

Dies trifft sowohl auf moderne Akku-Technologien wie Lithium-Ionen und Lithium-Polymer zu als auch auf die altbewährten NC- und NiMH-Zellen, die in vielen Bereichen nach wie vor eine dominierende Rolle spielen. Die Hauptgründe dafür sind die Robustheit, die Zuverlässigkeit und nicht zuletzt der günstige Preis. Im Hochstrombereich, wie im Modellbau oder bei Elektrowerkzeugen, gibt es zu NC- oder NiMH-Akkus häufig keine technische Alternative.

Bei Elektrowerkzeugen, wie z. B. Bohrschraubern, macht der Akku-Pack trotz

Technische Daten: Lademodul LM 16	
Akku-Technologien:	wahlweise NC oder NiMH
Zellenzahl:	1–16 (konfigurierbar)
Lade-Enderkennung:	-Delta-U
Lade- und Betriebsspannung:	8 V bis 30 V, je nach Zellenzahl und Ladestrom
Ladestrom:	400 mA, 667 mA, 1 A, 1,67 A
Anzeigen:	Betrieb, Laden, Fehler
Abmessungen (Leiterplatte):	62 x 45 mm
Höhe:	29 mm

des Einsatzes von preisgünstigen NC- oder NiMH-Zellen den größten Teil des Preises aus. Die bei vielen Geräten zum Lieferumfang gehörenden Ladegeräte be-

schränken sich oft auf das absolute Minimum und tragen keinesfalls zum langen Akku-Leben bei.

Vor diesem Hintergrund ist die Anschaf-

Tabelle 1: Zulässiger Ladestrom in Abhängigkeit von der Betriebsspannung			
Betriebs- und Ladespannung	R4 =	Ladestrom	Max. Zellenzahl
bis 16 V	60 mΩ	1,67 A	8
bis 24 V	100 mΩ	1 A	12
bis 30 V	150 mΩ	667 mA	16
bis 30 V	250 mΩ	400 mA	16

fung eines guten Ladesystems sinnvoll und amortisiert sich bereits in kürzester Zeit.

Ein weiterer wichtiger Aspekt beim Ladevorgang ist die schnelle Verfügbarkeit eines entladenen Akkus oder Akku-Packs, d. h., das Ladesystem sollte schnellladefähig sein.

Das hier vorgestellte Lademodul ist trotz der geringen Abmessungen sehr leistungsfähig und kann wahlweise zum Laden von Einzelzellen oder Akku-Packs mit 2 bis 16 in Reihe geschalteten Zellen genutzt werden. Der Einsatz eines Schaltreglers ermöglicht einen großen Versorgungsspannungsbereich und sorgt für eine geringe Verlustleistung. Wahlweise kann die Schaltung für NC- oder NiMH-Akkus konfiguriert werden.

Je nach Bestückung des Shunt-Widerstandes (R 4a, R 4b) sind Ladeströme von 0,4 A bis 1,67 A möglich. Bei bis zu 8 Zellen (16 V Eingangsspannung) beträgt der maximale Ladestrom 1,67 A. Bei höherer Betriebs- und Ladespannung beträgt der maximal zulässige Ladestrom 1 A bzw. 667 mA (Tabelle 1).

Die Betriebsbereitschaft und der Ladevorgang werden mit Hilfe von Leuchtdioden angezeigt. Des Weiteren ist eine Fehleranzeige vorhanden.

Sobald der zu ladende Akku angeschlossen ist, startet der Ladevorgang automatisch, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

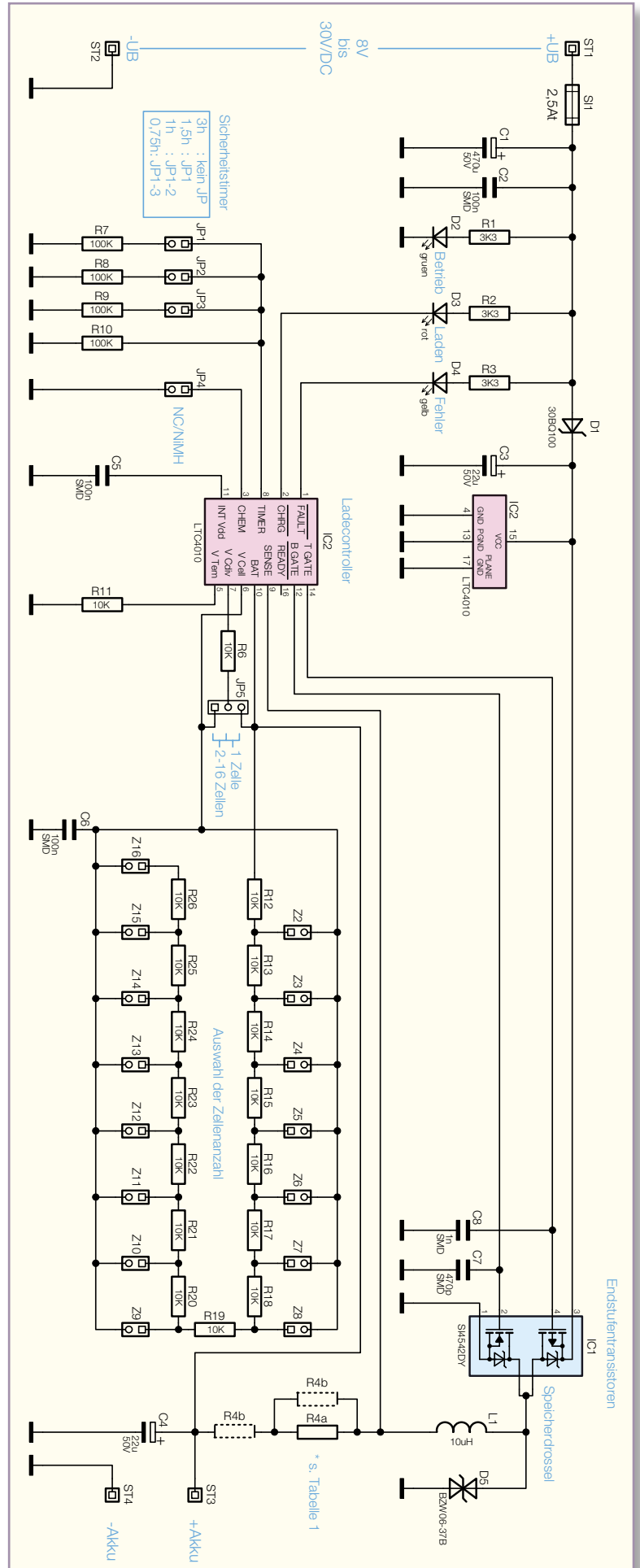
- Die Betriebsspannung für IC 2 muss mindestens 500 mV über der Akkuspaltung liegen.
- Die Zellenspannung muss zwischen 350 mV und 1,95 V betragen.

Eine Zellenspannung von mehr als 1,95 V entsteht, wenn der angeschlossene Akku den eingestellten Ladestrom nicht verkraften kann. In diesem Fall wird der Ladevorgang abgebrochen und die Fehler-LED wird aktiviert. Es erfolgt ebenfalls eine Fehleranzeige, wenn sich bei der Schnellladung nicht innerhalb von  $T_{max}/12$  eine Zellenspannung einstellt, die oberhalb von 1,22 V liegt.

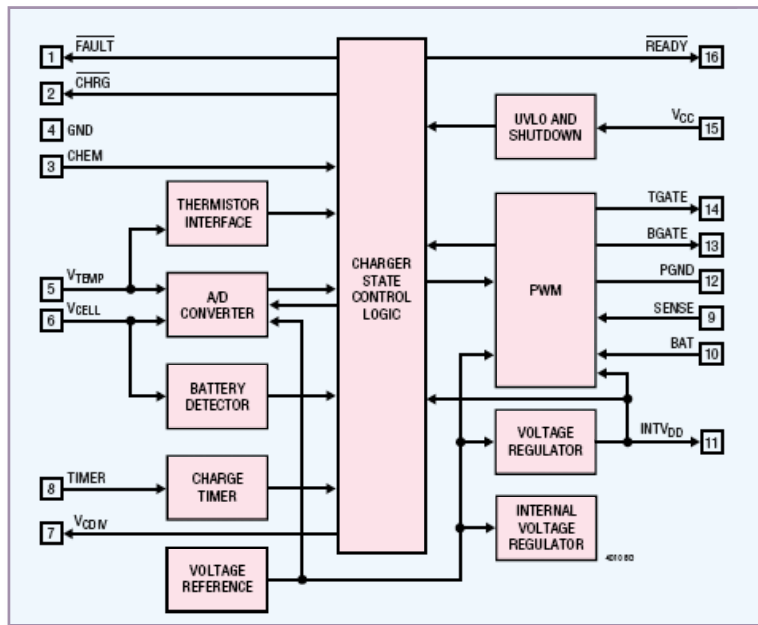
Tiefentladene Akkus, deren Zellenspannung zwischen 350 mV und 900 mV liegt, werden zunächst mit einer Vorladung beaufschlagt, wobei über das PWM-Signal ein Ladestrom eingestellt wird, der 20 % des eingestellten Stromwertes entspricht. Sobald die Akkuspannung über 900 mV je Zelle steigt, wird automatisch der Schnellladevorgang aktiviert.

Wird das Ladeende nicht innerhalb der maximalen Laufzeit des Sicherheitstimers beendet, erfolgt auch eine Fehleranzeige. Die PWM-Regelschleife wird IC-intern überwacht. Sobald hier Werte außerhalb des akzeptablen Bereichs festgestellt werden, kommt es ebenfalls zur Fehleranzeige.

Um durch Selbstentladung entstande-



**Bild 1:**  
**Schaltung**  
**des Lade-**  
**moduls**  
**LM 16**



**Bild 2:**  
Interne  
Stufen des  
LTC 4010

ne Verluste auszugleichen, erfolgt eine automatische Nachladung, wenn die Zellenspannung unterhalb 1,325 V sinkt. Die Lade-LED wird während der Nachladung nicht aktiviert.

## Schaltung

Durch den Einsatz des hoch integrierten LTC 4010 konnte eine Schaltung mit recht wenig Aufwand realisiert werden, wie im Schaltbild (Abbildung 1) zu sehen ist. Das Blockschaltbild in Abbildung 2 zeigt die internen Stufen des LTC 4010.

Die Betriebsspannung, die je nach Zellenzahl zwischen 8 V und 30 V betragen darf, wird dem Modul an ST 1, ST 2 zugeführt.

Über die Miniatur-Sicherung SI 1 gelangt die Spannung auf den Pufferelko C 1 und die über R 1 mit Spannung versorgte LED D 2 zeigt die Betriebsbereitschaft an.

Der Lade-Baustein und der in IC 1 integrierte P-Kanal-FET werden direkt über die Verpolungsschutzdiode D 1 versorgt.

Die wesentlichen Komponenten des

sekundär getakteten Schaltreglers (Step-down-Wandler) sind die in IC 1 integrierten Leistungs-FETs, die Speicherdrossel L 1 und natürlich der im Ladecontroller integrierte Pulsweitenmodulator (PWM). Da der Pulsweitenmodulator mit einer hohen Taktfrequenz von 550 kHz arbeitet, ist bei der Speicherdrossel L 1 nur eine kleine Induktivität erforderlich.

Die in IC 1 integrierten Leistungs-FETs werden von den Ausgängen T-Gate und B-Gate periodisch geschaltet, wobei natürlich sichergestellt ist, dass niemals beide Transistoren gleichzeitig durchgesteuert sind.

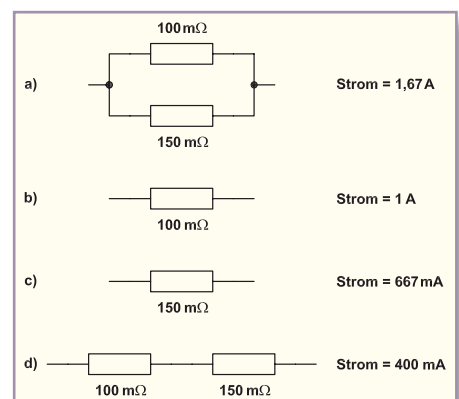
In der Phase, in der der obere (P-Kanal-) FET durchgeschaltet ist, fließt der Strom über die Speicherdrossel L 1 und den Shunt-Widerstand R 4 zum Ausgang ST 3 (+Akku). In der nächsten Phase wird der P-Kanal-Transistor gesperrt, und der untere N-Kanal-FET steuert durch. Dadurch kann die Speicherdrossel L 1 den Stromfluss aufrecht erhalten. Das Tastverhältnis des Pulsweitenmodulators, mit dem die Leistungstransistoren gesteuert werden, ist

abhängig vom Ladestrom, von der Akkuvoltage und von der Eingangsspannung des Lademoduls.

Während des Ladevorgangs steuert IC 2 die PWM-Endstufe so, dass grundsätzlich am Shunt-Widerstand R 4 ein Spannungsabfall von 100 mV entsteht. Abbildung 3 zeigt die Funktionsweise der PWM-Regelschleife.

Je nach gewünschtem Ladestrom sind beim Shunt-Widerstand ein oder zwei Widerstände einzusetzen. Abbildung 4 zeigt die Möglichkeiten der Verschaltung beim Shunt-Widerstand R 4.

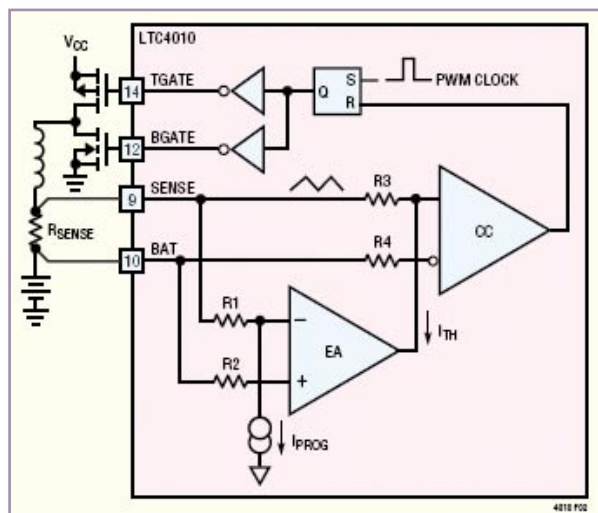
Bis zu 8 in Reihe geschaltete Zellen (9,6 V Akku-Nennspannung) dürfen mit 1,67 A geladen werden, sofern die Eingangsspannung auf ca. 16 V begrenzt wird. Bei größeren Akku-Packs mit bis zu 16 in Reihe geschalteten Zellen beträgt der maximal zulässige Ladestrom 1 A bzw. 667 mA.



**Bild 4:** Möglichkeiten der Verschaltung beim Shunt-Widerstand R 4a und R 4b

Der Akku bzw. Akku-Pack wird direkt an die Platinen-Anschlusspunkte ST 3 und ST 4 angeschlossen.

Die Erfassung des Spannungsverlaufs am Akku erfolgt mit Hilfe eines in IC 2 integrierten A/D-Wandlers, dessen Eingang (Pin 6) grundsätzlich die auf eine Zelle bezogene Spannung zugeführt wird. Je nach Zellenzahl des angeschlossenen Akku-Packs ist ein entsprechender Spannungsteiler zwischen BAT und VCDIV erforderlich, dessen Abgriff die auf eine Zelle bezogene Spannung zum A/D-Wandler ( $V_{CELL}$ ) liefert. Die Auswahl der Zellenzahl erfolgt dabei mit den Lötbrücken Z 2 bis Z 16 sowie der Lötbrücke JP 5. Bei den Lötbrücken Z 2 bis Z 16 ist die Verbindung direkt proportional zur Zellenzahl herzustellen, d. h., dass bei einem 8-zelligen Akku-Pack die Brücke Z 8 geschlossen wird und bei einem 10-zelligen Akku-Pack die Brücke Z 10. Ausschließlich bei Einzelzellen ist R 6 über JP 5 mit BAT zu verbinden. Bei allen Akku-Packs (2–16 Zellen) sind die unteren Pins der Codierbrücke JP 5 zu verbinden, d. h.  $V_{CELL}$  und  $V_{CDIV}$  sind über R 6 verbunden. Der



**Bild 3:** PWM-Regelschleife des LTC 4010

Kondensator C 6 dient am A/D-Wandler-Eingang zur Störunterdrückung.

Bei  $V_{CDIV}$  handelt es sich um einen Open-Drain-Ausgang, der dafür sorgt, dass bei abgeschalteter Ladeschaltung der angeschlossene Akku nicht über den Spannungsteiler entladen wird.

Der optionale Temperatureingang an Pin 5 wird in unserer Schaltung nicht genutzt und ist mit einem 10-k $\Omega$ -Widerstand (R 11) nach Masse beschaltet. Dieser Widerstand simuliert eine Temperatur von ca. 25 °C.

Eine intern generierte Spannung von 5 V wird an Pin 11 mit C 5 gepuffert.

Die Akku-Technologie ist mit Hilfe der Codierbrücke JP 4 auszuwählen. Bei offener Codierbrücke gelten die Abschaltkriterien für NC-Akkus und bei geschlossener Codierbrücke für NiMH-Akkus.

Ein integrierter Sicherheitstimer sorgt

unabhängig vom Erreichen der Abschaltkriterien für die Beendigung des Ladevorgangs. Je nach gewünschter Ladezeitbegrenzung sind die Codierbrücken JP 1 bis JP 3 entsprechend Tabelle 2 zu setzen.

Die maximale Ladezeit ist einfach mit einem Widerstand, der von Pin 8 nach Masse geschaltet wird, zu bestimmen. Neben den erforderlichen Einstellungen für die Ladezeitbegrenzung sind in Tabelle 2 auch die zugehörigen typischen Laderaten und die Zeitbegrenzungen für die Vorladungen aufgeführt.

Die Statusanzeigen D 3, D 4 sind direkt mit dem Lade-Baustein verbunden und werden über R 2 und R 3 mit Spannung versorgt.

## Nachbau

Der praktische Aufbau des Lademoduls ist sehr einfach, da die Leiterplatte mit allen SMD-Komponenten vorbestückt geliefert wird. Aufgrund des geringen Pin-Abstandes ist das Lade-IC auch kaum noch von Hand zu verarbeiten. Die noch erforderliche Bestückung ist in kurzer Zeit zu erledigen.

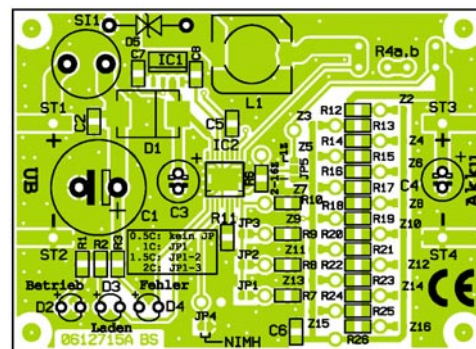
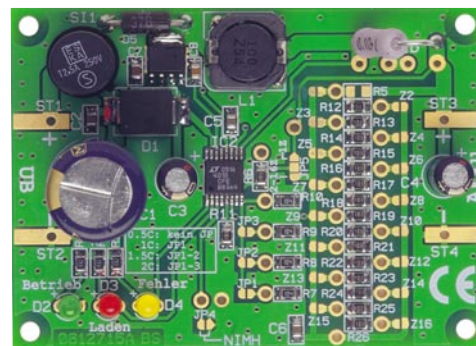
Wir beginnen mit vier Lötstiften mit Ösen, die stramm in die zugehörigen Bohrungen der Leiterplatte zu pressen sind. Danach werden die Lötstifte von der Platinenunterseite sorgfältig verlötet.

Im nächsten Arbeitsschritt wird der Halter für die Miniaturversicherung eingelötet und gleich im Anschluss hieran ist die Sicherung einzusetzen.

Danach sind die drei Elektrolyt-Kondensatoren an der Reihe. Bei den Elkos ist unbedingt die korrekte Polarität zu beachten, da diese sonst auslaufen oder sogar explodieren können. Die überstehenden Drahtenden werden direkt oberhalb der Lötstellen mit einem Seitenschneider abgeschnitten.

Beim Strom-Shunt R 4 sind je nach gewünschtem Ladestrom ein oder zwei Widerstände zu bestücken (s. Abbildung 4).

Zuletzt bleiben nur noch die drei Leuchtdioden zu bestücken, wobei sich die Einbauhöhe nach den individuellen Wünschen richtet. Die Polarität ist am Bauteil durch einen längeren Anodenanschluss und im Bestückungsdruck mit einem +-Symbol an der Anodenseite gekennzeichnet.



Ansicht der fertig bestückten Platine des LM 16 mit zugehörigem Bestückungsplan

Bevor die erste Inbetriebnahme erfolgen kann, sind die Lötzinnbrücken entsprechend der gewünschten Konfiguration zu setzen. Die Platine wurde so flexibel ausgelegt, dass die Lötzinnbrücken auch durch Schalter ersetzt werden können. Dazu sind einfach in die Lötäugen, die parallel zu den Brücken angeordnet sind, entsprechende Leitungen einzulöten. Diese Leitungen werden dann wiederum mit den entsprechenden Schaltern verbunden.

Vor der ersten Inbetriebnahme und dem Funktionstest empfiehlt sich eine gründliche Überprüfung hinsichtlich Löt- und Bestückungsfehlern. Ist diese Überprüfung zur Zufriedenheit ausgefallen, kann die Betriebs- und Ladespannung angelegt werden und ein erster Funktionstest erfolgen. Nach erfolgreichem Funktionstest steht dem Einsatz des Lademoduls nichts mehr im Wege.

Beim Einbau in ein geschlossenes Gehäuse ist unbedingt für eine ausreichende Luftkonvektion zu sorgen. **ELV**

### Stückliste: LM 16

#### Widerstände:

0,1  $\Omega$ /2 W/5 %/Metalloxid..... R4a  
 0,15  $\Omega$ /2 W/5 %/Metalloxid..... R4b  
 3,3 k $\Omega$ /SMD/0805..... R1–R3  
 10 k $\Omega$ /SMD/0805..... R6, R11–R26  
 100 k $\Omega$ /SMD/0805..... R7–R10

#### Kondensatoren:

470 pF/SMD/0805 ..... C7  
 1 nF/SMD/0805 ..... C8  
 100 nF/SMD/0805 ..... C2, C5, C6  
 22  $\mu$ F/50 V/105 °C..... C3, C4  
 470  $\mu$ F/50 V/105 °C..... C1

#### Halbleiter:

Si4542DY/SMD..... IC1  
 LTC4010CFE/SMD ..... IC2  
 30BQ100/SMD ..... D1  
 BZW06-37B..... D5  
 LED, 3 mm, Grün ..... D2  
 LED, 3 mm, Rot..... D3  
 LED, 3 mm, Gelb..... D4

#### Sonstiges:

Speicherdrossel, SMD,  
 10  $\mu$ H/3,8 A..... L1  
 Lötstift mit Lötöse..... ST1–ST4  
 Miniaturversicherung, 2,5 A, träge, print.  
 S11  
 Miniatur-Sicherungshalter, print .... S11

Tabelle 2:  
 Maximale Schnellladezeit in Abhängigkeit von der Einstellung der Codierbrücken JP 1 bis JP 3

JP 1	JP 2	JP 3	Maximale Schnellladezeit	Maximale Vorladezeit	Laderate für Schnellladung
offen	offen	offen	3 h	15 Min.	C / 2
geschlossen	offen	offen	1,5 h	7,5 Min.	1 C
geschlossen	geschlossen	offen	1 h	5,0 Min.	1,5 C
geschlossen	geschlossen	geschlossen	0,75 h	3,8 Min.	2 C