

# Universelle Ladeschaltung für NC- und NiMH-Akkus

**Ein intelligentes Ladekonzept mit einem speziellen Akku-Management-IC erlaubt die Schnell-Ladung von NC-Akkus und Nickel-Metall-Hydrid-Zellen. Durch eine genau dosierte Ladungszufuhr nach dem  $\Delta U$ -Verfahren wird eine Überladung des Akkus bzw. des Akkupacks zuverlässig verhindert.**

## Allgemeines

Akkus sind in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens zu finden und versorgen eine Vielzahl von portablen Geräten mit elektrischer Energie. Sei es im Mobiltelefon, in der Konsumerelektronik (z. B. Camcorder) oder in Elektrowerkzeugen, überall sind wiederaufladbare Versorgungskonzepte zu finden.

Nun hängt aber die Lebensdauer der zum Teil recht teuren Energiespender entscheidend von der Pflege, d. h. in erster Linie vom Ladeverfahren ab.

Einfache Billig-Ladegeräte sind meistens nur mit einem Vorwiderstand zur Strombegrenzung ausgestattet und tragen keinesfalls zur langen Lebensdauer der Energiequellen bei. Diese Ladegeräte liefern in der Regel nur einen Strom, der 1/10 bis 1/5 der Nennkapazität des Akkus entspricht. Der Ladezyklus eines völlig entladenen

Akkus dauert dementsprechend 7 bis 14 Stunden bei einem Ladefaktor von 1,4, d. h. es wird das 1,4fache der Akku-Nennkapazität eingeladen.

Für häufig genutzte Geräte mit hohem Energiebedarf sind also intelligente Schnell-Ladekonzepte gefragt, die den Akku in kurzer Zeit exakt bis auf 100 % seiner Kapazität aufladen und dann entweder auf Erhaltungsladung umschalten oder die Stromzufuhr zum „Energiespeicher“ unterbrechen.

Besonders bei Geräten, die aufgrund hoher Stromaufnahme nur eine relativ kurze Dauernutzung erlauben, wie Akku-Bohrschrauber, Rasenkantenschneider, Camcorder oder Modellfahrzeuge, spielt die schnelle Verfügbarkeit der Energiequelle und somit eine kurze Ladezeit eine wichtige Rolle.

In den meisten akkubetriebenen Geräten werden heute Akkupacks mit 2 bis 10 in Reihe geschalteten Zellen eingesetzt, die

nur als komplette Einheit geladen werden können. Hier ist es nun erforderlich, die Ladeschaltung an die jeweils vorhandene Zellenzahl anzupassen.

Neben den millionenfach im Einsatz befindlichen NC-Akkus kommen auch zunehmend die umweltfreundlicheren Nickel-Metall-Hydrid-Zellen (NiMH) zum Einsatz. Diese Akkus weisen bei gleicher Baugröße eine ungefähr doppelt so hohe Kapazität wie herkömmliche NC-Akkus auf, sind aber sehr empfindlich gegen Überladung.

Akkusätze mit NiMH-Zellen können daher gegenüber den herkömmlichen NC-Akkupacks kleiner und handlicher werden.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil bei den NiMH-Zellen liegt in der Umweltverträglichkeit, da sie kein umweltschädliches Cadmium enthalten. Des Weiteren ist der bei NC-Akkus gefürchtete Memory-Effekt bei den Nickel-Metall-Hydrid-Zel-

len so gut wie nicht vorhanden.

Als Nachteile sind der zur Zeit noch etwas höhere Preis und der höhere Innenwiderstand zu nennen. NiMH-Zellen sind daher für Elektrowerkzeuge, die hohe Spitzenströme benötigen, weniger geeignet.

NC- und NiMH-Zellen weisen die gleiche Zellenspannung von 1,2 V auf und werden beide mit Konstantströmen geladen. Da auch die Ladekurven (Spannungsverlauf am Akku bei der Ladung) den gleichen Verlauf zeigen, kann für beide Akkutypen dasselbe Ladegerät eingesetzt werden, sofern es denn einige wesentliche Kriterien erfüllt.

Wie bereits erwähnt, reagieren NiMH-Zellen sehr empfindlich auf Überladung, so daß besonders bei Schnell-Ladung unbedingt eine Überwachung des Ladevorganges mit sehr strengen Abschaltkriterien erforderlich ist.

Waren vor kurzem noch aufwendige Ladegeräte zur Schnell-Ladung von Nickel-Metall-Hydrid-Zellen erforderlich, so kann mit dem Akku-Management-IC TEA1101 von Philips ein Schnell-Ladegerät mit minimaler externer Be-

schaltung realisiert werden. Die Ladesteuerung des TEA1101 arbeitet nach dem  $-\Delta U$ -Verfahren und ist speziell für die besonders empfindlichen NiMH-Akkus optimiert.

Durch eine stromlose Erfassung der Spannungswerte werden Spannungsabfälle innerhalb des Akkus und an den Anschlußleitungen bzw. an den Übergangswiderständen zwischen Anschlußklemmen und Akku ausgeschaltet. Anschließend werden die gemessenen Spannungswerte chipintern mit 12-Bit-Auflösung digitalisiert und digital gefiltert. Die hohe Auflösung von 12 Bit ermöglicht eine sehr kleine  $-\Delta U$ -Erfassung (Minus-Delta-U-Erfassung) von 0,25 %, so daß unmittelbar nach dem Spannungsmaximum bei 100 % Ladungsinhalt auf Pulserhaltungsladung umgeschaltet wird. Durch externe Beschaltung kann die  $-\Delta U$ -Erfassung sogar auf 0,125 % gesteigert werden.

Die Spannungserfassung arbeitet in einem weiten Bereich, so daß auch Akkusätze mit unterschiedlicher Zellenzahl ohne Bereichsumschaltung geladen werden können.

Nach dem Detektieren eines  $-\Delta U$  von 0,25 % schaltet der TEA auf Impulserhaltungsladung um, wobei die Amplitude und das Tastverhältnis durch die externe Beschaltung einstellbar sind.

Als zusätzliche Schutzfunktion stehen beim TEA1101 ein Timer, eine Kurzschluß- und Leerlaufüberwachung sowie die Vor-

gabe eines Temperaturfensters zur Verfügung.

Der Baustein verfügt sowohl über einen Analogausgang zur Steuerung eines Linearreglers als auch über einen PWM- (Pulsweiten-Modulator-) Ausgang zur Ansteuerung eines Schaltreglers bei hohen Ladeströmen. Durch die externe Dimensionierung können beliebige Ladeströme eingestellt und somit die Schaltung optimal an die individuellen Gegebenheiten angepaßt werden.

Im übrigen ist der TEA1101 aufwärts kompatibel zum TEA1100, der aufgrund einer  $-\Delta U$ -Erfassung von 0,5 % nur zum Laden von NC-Akkus geeignet ist.

---

### Ladeverfahren

---

Die Lebensdauer von NC- und NiMH-Akkus hängt entscheidend von ihrer Pflege, und hier insbesondere vom angewendeten Ladeverfahren ab. Leider erreichen heute die meisten Akkus aufgrund unge-

---

## *Intelligentes Akku-Management-IC sorgt für eine exakt dosierte Ladungszufuhr bei NC- und NiMH-Akku-Packs*

---

eigneter Ladeverfahren nur rund 30 % ihrer maximal möglichen Lebensdauer. Da defekte Akkus einen beträchtlichen ökonomischen Schaden verursachen und unnötig die Umwelt belasten, sind intelligente Ladekonzepte gefragt.

Das Funktionsprinzip der gebräuchlichsten heute eingesetzten Lademethoden wollen wir nun kurz erläutern.

---

### Strombegrenzung durch Vorwiderstand

---

Die meisten Billigladegeräte verfügen über keinerlei Intelligenz und arbeiten nur mit einem zum Akku in Reihe geschalteten Vorwiderstand zur Strombegrenzung. Diese Lademethode erfordert zwar keinen Schaltungsaufwand, schützt den Akku aber auch nicht vor Überladung. Die Folge: Schon nach wenigen Ladezyklen können irreversible Schäden am Akku auftreten. Des weiteren ist diese Lademethode nur mit geringen Strömen bis maximal 0,3 CA zulässig (0,3fache der Nennkapazität), da sonst der Akku bei Überladung durch den extrem ansteigenden Innendruck explodieren kann.

---

### Auswertung der Ladeschlußspannung

---

Da NC- und NiMH-Zellen einen negativen Temperaturkoeffizienten von ca.  $-4 \text{ mV/K}$  besitzen, ist die Auswertung der

Ladeschlußspannung nur in einem relativ engen Temperaturbereich möglich. Soll über einen erweiterten Temperaturbereich der Absolutwert der Zellenspannung als Abschaltkriterium dienen, ist eine temperaturkompensierte Spannungüberwachung erforderlich.

---

### Timerprinzip

---

Eine der am häufigsten angewandten Lademethoden ist das Timerprinzip. Die Akkus werden vor der Ladung bzw. Schnell-Ladung über einen Verbraucher wie z. B. einen ohmschen Widerstand bis auf die Entladeschlußspannung von 1 V je Zelle vorentladen. Danach erfolgt die Ladung des Akkus bzw. des Akkupacks mit einem konstanten Strom bei genau vorgegebener Ladezeit. Der entscheidende Nachteil dieses Verfahrens ist es, daß eine evtl. im Akku noch vorhandene Restenergie vor der Ladung in Wärme umgesetzt und anschließend wieder zugeführt werden muß.

Da das Nachladen eines teilentladenen Akkus nicht möglich ist, hängt der Gesamt-Ladezyklus vom Ladezu-

stand des Akkus ab. Für Anwendungen, die einen ständig einsatzbereiten Akku erfordern, wie z. B. Mobiltelefone, ist dieses Ladeverfahren daher wenig geeignet.

---

### $-\Delta U$ -Ladeverfahren

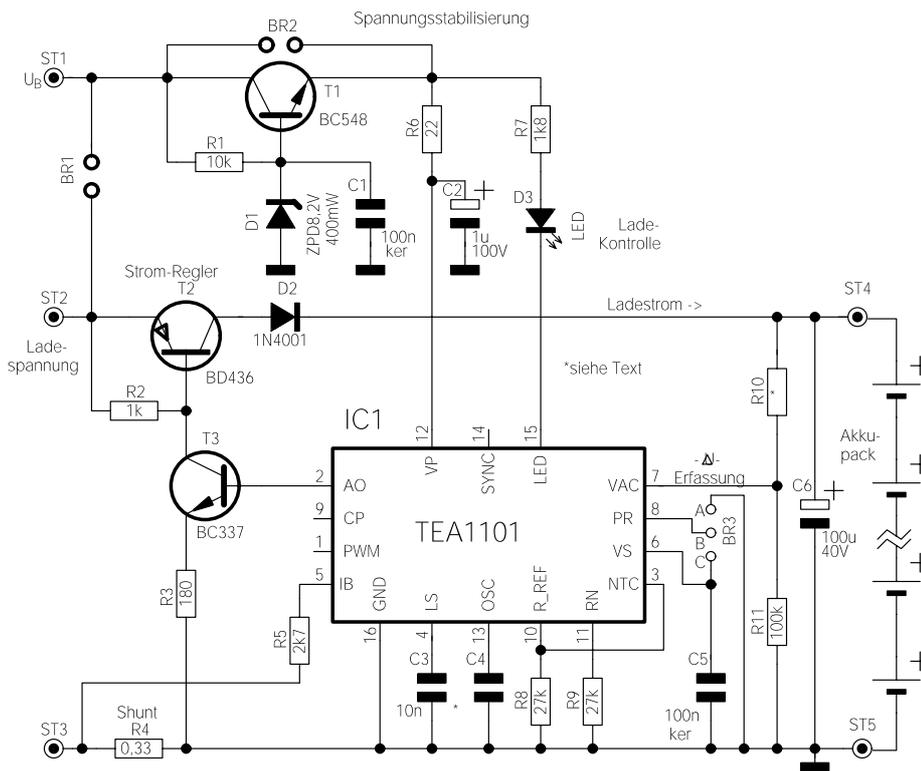
---

Beim  $-\Delta U$ -Ladeverfahren, nach dem auch unsere Ladeschaltung arbeitet, wird das Spannungsmaximum der Ladekurve unabhängig vom Absolutwert der Spannung ausgewertet.

Zunächst steigt beim Laden des Akkus die Zellenspannung kontinuierlich an. Ab 100 % Ladung kann die Zelle die zugeführte Energie nicht mehr speichern, und es kommt an der positiven Elektrode zur Bildung von Sauerstoffgas. Innerhalb des Akkus entsteht jetzt ein Überdruck. Da die Energie nicht mehr aufgenommen werden kann, kommt es zu starker Erwärmung. Gleichzeitig nimmt mit steigender Temperatur die Zellenspannung wieder ab. Abbildung 1 zeigt dazu den typischen Ladespannungsverlauf eines Akkus.

Der TEA1101 mißt nun in regelmäßigen stromlosen Zeitabständen die Zellenspannung und vergleicht diese mit dem jeweils vorangegangenen abgespeicherten Meßwert. Solange der aktuelle Meßwert höher als der vorangegangene ist, wird fortlaufend abgespeichert. Tritt ein niedriger Wert auf, so wird geprüft, ob das festgelegte  $-\Delta U$  (beim TEA1101 0,25 %) überschritten wurde. Bei mehrfacher Überschreitung der





**Bild 3: Schaltung der universell einsetzbaren Ladeschaltung für NiCd- und NiMH-Akkus**

Mit einer an die jeweilige Zellenzahl angepassten Ladespannung wird die Verlustleistung am Laderegler (T 2) so gering wie möglich gehalten.

Der Erhaltungsladestrom kann ebenfalls durch externe Dimensionierung, und zwar weitestgehend unabhängig vom Schnell-Ladestrom eingestellt werden. Da es sich beim TEA1101 um eine Impulserhaltungsladung handelt, ist nicht der Spitzenstrom, sondern der arithmetische Mittelwert des Stromes entscheidend. Der arithmetische Mittelwert im Erhaltungslademodus errechnet sich nach der Formel

$$I_{\text{Erhalt}} = \frac{V_{\text{ref}} \cdot R_5}{R_9 \cdot R_4} \cdot \frac{0,1}{p}$$

Ohne R 9 stellt sich die Amplitude der Stromimpulse auf den halben Wert des Schnell-Ladestromes ein. Weiterhin sollte bei der Dimensionierung beachtet werden, daß R 9 nicht kleiner und nicht mehr als doppelt so groß wie R 8 gewählt wird.

Auch bei der Berechnung des Erhaltungsladestromes wird  $V_{\text{ref}}$  mit 1,25 V angesetzt. Das Puls-Pausen-Verhältnis der Erhaltungsladung wird durch  $0,1/p$  berücksichtigt. Der Teilungsfaktor  $p$  des chipinternen Vorteilers für die Takt- und Zeitsteuerung wird an Pin 8 des Bausteins über eine Drahtbrücke eingestellt und kann 1, 2 oder 4 betragen. Tabelle 1 zeigt in diesem Zusammenhang das Verhältnis von Schnell- zu Erhaltungsladestrom in Abhängigkeit vom Teilungsfaktor  $p$ .

**Tabelle 1: Verhältnis Schnell- zu Erhaltungsladestrom in Abhängigkeit von Teilungsfaktor P und R 9**

| P = | BR 3              | R 9                           | Verhältnis $I_{\text{Lade}}/I_{\text{Erh.}}$ |
|-----|-------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|
| 1   | B mit C verbunden | $R_9 = R_8$<br>$R_9 = \infty$ | 10 : 1<br>20 : 1                             |
| 2   | offen             | $R_9 = R_8$<br>$R_9 = \infty$ | 20 : 1<br>40 : 1                             |
| 4   | A mit B verbunden | $R_9 = R_8$<br>$R_9 = \infty$ | 40 : 1<br>80 : 1                             |

**Tabelle 2: Dimensionierung des Spannungsteiler-Widerstandes R 10 in Abhängigkeit von der Zellenzahl**

| Anzahl der Zellen | R 10   | Ladespannung |
|-------------------|--------|--------------|
| 1                 | 10 kΩ  | 3,6 V        |
| 2                 | 10 kΩ  | 5,2 V        |
| 3                 | 39 kΩ  | 6,8 V        |
| 4                 | 100 kΩ | 8,4 V        |
| 5                 | 150 kΩ | 10,0 V       |
| 6                 | 180 kΩ | 11,6 V       |
| 7                 | 220 kΩ | 13,2 V       |
| 8                 | 270 kΩ | 14,8 V       |
| 9                 | 330 kΩ | 16,4 V       |
| 10                | 390 kΩ | 18,0 V       |

Die Anpassung der Akkuspannung (Zellenzahl) an den Eingangsspannungsbereich der  $-\Delta U$ -Erfassung von 0,385 V bis 3,85 V wird mit Hilfe des Spannungsteilers R 10 und R 11 vorgenommen. Wenn R 11 100 kΩ beträgt, kann für 1 bis 10 Zellen die Dimensionierung des Widerstandes R 10 der Tabelle 2 entnommen werden.

Wie bereits erwähnt, besitzt der TEA1101 eine Timer-Schutzschaltung, die den Schnell-Lademodus nach einer durch die Oszillatorfrequenz festgelegten Zeit unterbricht. Die Oszillatorfrequenz ist abhängig vom Kondensator C 4 und vom Widerstand R 8. Da R 8 auch den Ladestrom beeinflusst, wird zur Anpassung der Kondensator C 4 entsprechend dimensioniert. Die Oszillatorfrequenz wird nach der Formel

$$T_{\text{osz}} = 0,93 \cdot R_8 \cdot C_4$$

errechnet, und die maximale Schnell-Ladezeit ergibt sich aus der Formel

$$T_{\text{max}} = T_{\text{osz}} \cdot 2^{26} \cdot p$$

Die  $-\Delta U$ -Erfassung kann auf 0,125 % gesteigert werden, wenn in Reihe zu R 10 eine Z-Diode geschaltet wird, an der ca. die gleiche Spannung wie an R 10 abfällt. Der Widerstandswert von R 10 wird dann halbiert.

### Berechnungsbeispiel

Als Beispiel wollen wir nun einen Akkupack, bestehend aus vier 500mA-Mignonzellen in ca. 2 Stunden laden.

Dazu errechnen wir zuerst den erforderlichen Schnell-Ladestrom nach der Formel

$$I_{\text{Lade}} = \text{Ladefaktor} \cdot \frac{C}{T_{\text{Lade}}}$$

Als Ladefaktor wird üblicherweise für NiCd- und NiMH-Akkus 1,4 angenommen, d. h. es muß ca. die 1,4fache Energie zugeführt werden, als später wieder entnommen werden kann.

Nach der Formel ergibt sich somit ein Ladestrom von

$$1,4 \cdot \frac{500 \text{ mAh}}{2 \text{ h}} = 350 \text{ mA}$$

Wenn wir bei der Dimensionierung für R 4 0,33 Ω und für R 8 27 kΩ ansetzen, ist für den erforderlichen Ladestrom von 350 mA nur noch R 5 zu dimensionieren.

$$\begin{aligned} R_5 &= \frac{R_8 \cdot R_4 \cdot I_{\text{Lade}}}{1,25 \text{ V}} \\ &= \frac{27 \text{ k}\Omega \cdot 0,33 \Omega \cdot 350 \text{ mA}}{1,25 \text{ V}} \\ &= 2.494,8 \Omega \end{aligned}$$

Wir setzen hier den nächsten Wert aus der E-12-Reihe, also 2,7 kΩ ein. Für 4 in Reihe geschaltete Zellen wird der Widerstandswert für den Eingangsspannungsteiler der  $-\Delta U$ -Erfassung laut Tabelle 2

Tabelle 3: Dimensionierungsbeispiele

| Akku-Nennkapazität | Ladezeit ca. 1 h |      |     |     |       |        | Ladezeit ca. 2 h |       |     |     |       |        | Ladezeit ca. 3 h |       |     |     |       |        |
|--------------------|------------------|------|-----|-----|-------|--------|------------------|-------|-----|-----|-------|--------|------------------|-------|-----|-----|-------|--------|
|                    | Ladestrom        | R 4  | R 5 | R 8 | C 4   | D 2    | Ladestrom        | R 4   | R 5 | R 8 | C 4   | D 2    | Ladestrom        | R 4   | R 5 | R 8 | C 4   | D 2    |
| 500mA/h            | 700mA            | 0,2Ω | 3k3 | 27k | 1,8nF | 1N4001 | 350mA            | 0,33Ω | 2k7 | 27k | 3,3nF | 1N4001 | 230mA            | 0,33Ω | 1k5 | 27k | 4,7nF | 1N4001 |
| 600mA/h            | 840mA            | 0,2Ω | 3k6 | 27k | 1,8nF | 1N4001 | 420mA            | 0,33Ω | 3k3 | 27k | 3,3nF | 1N4001 | 280mA            | 0,33Ω | 1k8 | 27k | 4,7nF | 1N4001 |
| 700mA/h            | 980mA            | 0,1Ω | 2k2 | 27k | 1,8nF | 1N4001 | 490mA            | 0,3Ω  | 3k6 | 27k | 3,3nF | 1N4001 | 330mA            | 0,33Ω | 2k2 | 27k | 4,7nF | 1N4001 |
| 1100mA/h           | 1540mA           | 0,1Ω | 3k3 | 27k | 1,8nF | 1N5401 | 770mA            | 0,2Ω  | 3k3 | 27k | 3,3nF | 1N4001 | 520mA            | 0,33Ω | 3k6 | 27k | 4,7nF | 1N4001 |

R 9 = ∞ (entfällt bei dieser Dimensionierung ersatzlos); Teilungsfaktor P = 2 (BR 3 wird nicht bestückt)

mit 100 kΩ eingesetzt.

Weiterhin nehmen wir in unserem Beispiel an, daß zwischen Schnell-Lade- und Erhaltungsladestrom das Verhältnis 20 : 1 betragen soll. Dazu wird dann der Widerstand R 9 bestückt, und die Brücke BR 3 bleibt offen ( P = 2).

Die Timer-Schutzschaltung soll so dimensioniert werden, daß nach ca. 3 Stunden von Schnell- auf Erhaltungsladung umgeschaltet wird. Der erforderliche Wert für C 4 ergibt sich nun aus der Formel:

$$C 4 = \frac{T_{max}}{0,93 \cdot R \cdot 8 \cdot P \cdot 2^{26}}$$

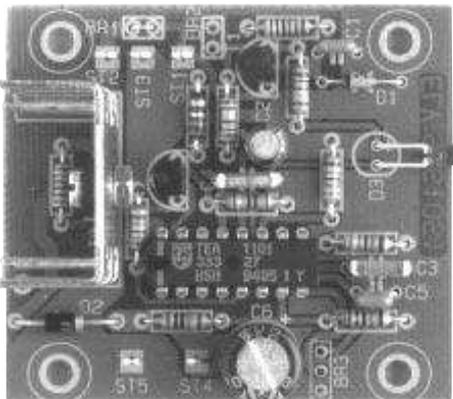
$$= \frac{10800 \text{ sek.}}{0,93 \cdot 27 \text{ k}\Omega \cdot 2 \cdot 2^{26}} = 3,2 \text{ nF}$$

Auch hier wählen wir den nächsten Normwert, also 3,3 nF.

Dieses kleine Beispiel hat gezeigt, daß die mit wenig Aufwand realisierte Ladeschaltung durch Dimensionierung schnell und einfach an fast jeden Akkupack und Ladestrom angepaßt werden kann.

**Dimensionierungsbeispiele**

Das Laden von NC- und NiMH-Zellen in der Baugröße Mignon stellt wohl die häufigsten Einsatzfälle dar, so daß wir in Tabelle 3 die Werte der entsprechenden Komponenten angegeben haben, und zwar für die Ladezeiten von 1 h, 2 h und 3 h. Die erforderliche Dimensionierung des Spannungsteiler-Widerstandes R 10 für 1 - 10 Zellen mit der zugehörigen Ladespannung wird Tabelle 2 entnommen.



Ansicht der fertig aufgebauten Leiterplatte

**Nachbau**

Der Nachbau dieser kleinen, universell einsetzbaren Schaltung ist denkbar einfach und in ca. einer halben Stunde erledigt. Zur Aufnahme der Bauelemente steht eine Leiterplatte mit den Abmessungen 57,5 mm x 53 mm zur Verfügung.

Hier werden zuerst die Drahtbrücken und Widerstände entsprechend dem Anwendungsfall eingelötet.

Danach folgen die Z-Diode D 1 und die Schutzdiode D 2, deren Katoden jeweils

durch einen Ring gekennzeichnet sind.

Es folgen die beiden Folienkondensatoren C 3, C 4 und die Keramikkondensatoren C 1 und C 5.

Während die Anschlußbeinchen der beiden Kleinsignaltransistoren T 1 und T 3 vor dem Anlöten so weit wie möglich durch die zugehörigen Bohrungen der Leiterplatte zu stecken sind, wird der Leistungstransistor T 2 zuerst an einen U-Kühlkörper geschraubt und dann mit ausreichend Lötzinn eingelötet.

Bei den beiden Elektrolytkondensatoren C 2 und C 6 ist unbedingt die richtige Polarität zu beachten.

Die 5 Lötstifte mit Öse sind vor dem Anlöten stramm in die entsprechende Bohrung der Platine zu pressen.

Bleibt nur noch die Leuchtdiode D 3, die je nach Einbau der Platine abgewinkelt eingelötet oder mit einadrig isolierten Leitungen verlängert wird.

Je nach Anwendungsfall kann die Versorgungsspannung der Schaltung aus der Ladespannung (BR 1 geschlossen) erfolgen oder getrennt an ST 1 angelegt werden.

Die bestückte Platine der Ladeschaltung ist für den Einbau in ein geschlossenes Gehäuse zusammen mit einer Stromversorgung, bestehend aus Netztrafo, Gleichrichter und Pufferelko, vorgesehen. Dabei ist eine ausreichende Luftzirkulation zur Kühlung des Leistungs-Stromreglers sicherzustellen. Sämtliche VDE- und Sicherheitsvorschriften sind unbedingt zu beachten.

**Stückliste: Universelle Ladeschaltung für NC- und NiMH-Akkus**

**Widerstände:**

- 0,33Ω ..... R4
- 22Ω ..... R6
- 180Ω ..... R3
- 1kΩ ..... R2
- 1,8kΩ ..... R7
- 2,7kΩ ..... R5
- 10kΩ ..... R1
- 27kΩ ..... R8, R9
- 100kΩ ..... R10, R11

**Kondensatoren:**

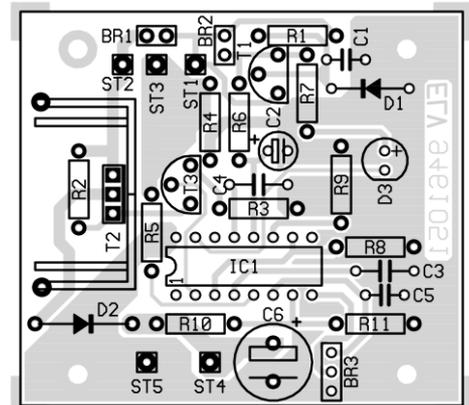
- 3,3nF ..... C4
- 10nF ..... C3
- 100nF/ker ..... C1, C5
- 1µF100V ..... C2
- 100µF/40V ..... C6

**Halbleiter:**

- TEA1101 ..... IC1
- BC548 ..... T1
- BC337 ..... T3
- BD436 ..... T2
- ZPD8,2V ..... D1
- 1N4001 ..... D2
- LED,3mm, rot ..... D3

**Sonstiges:**

- 5 Lötstifte mit Lötöse
- 1 Kühlkörper (stehend)
- (Dimensionierung entsprechend dem Berechnungsbeispiel)



Bestückungsplan der universellen Ladeschaltung für NC- und NiMH-Akkus