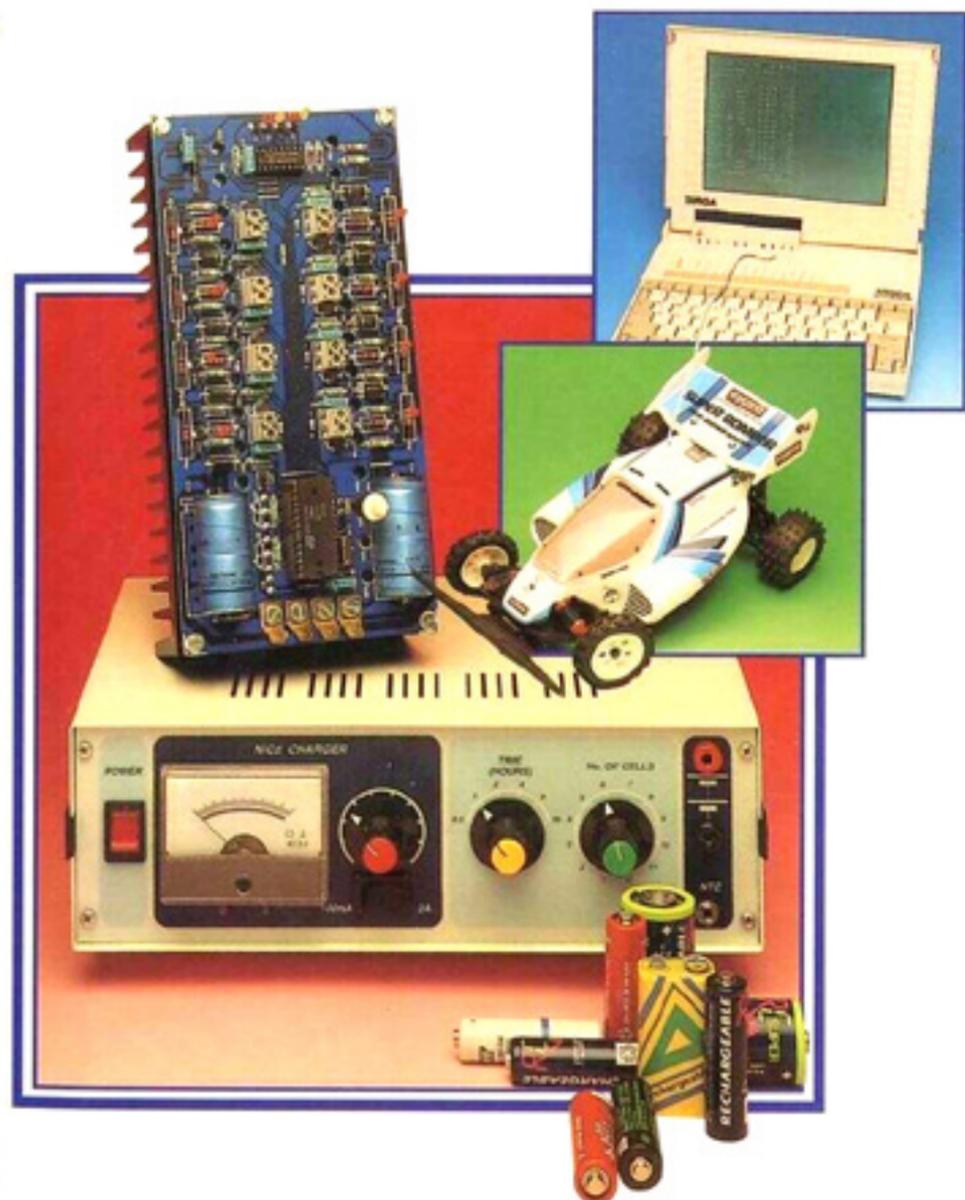


Elektronische Schaltungen zur Akkuladung



Elektronische Schaltungen zur

Akkuladung

Scann by Wodka-Ede

ISBN 3-928051-62-8
Elektor-Verlag, Aachen

Für die freundliche Unterstützung bei der Erstellung des Umschlagfotos bedanken wir uns bei den Firmen

Scale Multimedia, Gartenstraße 50, 52064 Aachen
Spielwaren Danhausen, Kleinkölnstraße 20, 52062 Aachen

2. Auflage 1994

© 1993 Elektor-Verlag GmbH, Aachen

Die in diesem Buch veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen und Illustrationen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch auszugsweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet.

Die Informationen im vorliegenden Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Verlag und Autor dankbar.

Umschlaggestaltung: Maria Franken, Ton Gulikers

Umschlagfoto: Iwan Peters

Grafische Gestaltung: Laurent Martin

Satz und Aufmachung: Raimund Krings, Elektor

Belichtung + Montage: Graphodata, Aachen

Druck: Giethoorn/NND, Meppel, Niederlande

Printed in the Netherlands

ISBN 3-928051-62-8

Elektor-Verlag, Aachen

Vorwort

In vielen Bereichen des täglichen Lebens spielt der Akku heute eine relativ wichtige Rolle:

O im Heimwerkerbereich,

G im Modellbau,

O in der Fotografie,

O bei Camping und Caravan und nicht zuletzt

a in der modernen Elektronik bei Laptops, Notebooks und ähnlichen Dingen.

Der Akku als privates und portables „Energieversorgungsunternehmen“(EVU) bedarf, soll die Lebensdauer recht lange sein, einiger Aufmerksamkeit. Beispielsweise gehören dazu die Fragen, wie stark der Akku entladen ist, oder wie hoch darf die Temperatur beim Ladevorgang sein, oder wie schnell darf der Akku geladen werden, oder ist der Akku schnellladefähig, oder...

Weiter gibt es häufig Hinweise darauf, beispielsweise in den Katalogen der Versender, welche Eigenschaften das Ladegerät für einen Akkutyp haben soll: Standard-Laden, Beschleunigtes Laden, Schnell-Laden, Erhaltungs-Laden. So ist es möglich, den verwendeten Akku entsprechend zu behandeln. Wenn ein Akku „schnellladefähig nur mit einem Ladegerät mit Delta-Peak-Abschaltung“ ist, weiß sicherlich nicht jeder auf Anhieb, was sich hinter dem Begriff „Delta-Peak“ verbirgt.

Auf alle diese Fragen hat das Buch ein Antwort. Mehr noch: Die angebotenen Schaltungen hat das verlagseigene Labor aufgebaut und getestet. Zusammen mit den aufgedruckten Platinenlayouts, die sich relativ leicht reproduzieren lassen, kann jeder sein spezielles Ladegerät selbst bauen.

Inhalt

1. Einführung in die Elektronik	7
Bauteile	7
Lötkolben, Lötzinn	9
Fehlersuche	10
Netzspannung	12
Komponenten	13
2. Akku-Technologisches	24
2.1 Grundlagen der NC-Akkus	24
2.2 Fortschrittliche Batteriesysteme	45
3. Lader für alle Fälle	63
3.1 Unicad-Lader	63
3.2 High-Tec-Nicad-Lader	69
3.3 Super-Hightech-NiCad-Lader	85
3.4 Mikrocontroller-Nicad-Lader	104
3.5 Delta-Peak-Nicadlader	121
3.6 ICS-1700-Reflexlader	130
3.7 U2400-Unilader	145
3.8 Einfacher 9-V-NiCad-Lader	157
4. Blei- und Autoakku-Lader	160
4.1 Blei-Akku-Lader	160
4.2 Ladekraftprotz für Autobatterien	171

5. Undsoweiter	177
5.1 Solar-Laderegler	177
5.2 Akku-Ladekontrolle	187
5.3 Power-Converter	191
5.4 Verpolungs- und Tiefentladeschutz	200
5.5 Schaltuhr mit Parking-Timer	204
Anhang	206
Platinen-Layouts	207

1. Einführung in die Elektronik

Bauteile

Alle Schaltungen sind durchweg nur mit Standardbauteilen aufgebaut, deren Beschaffung keine Schwierigkeiten bereiten sollte. Da diese Bauteile auch relativ preiswert sind, sollte man auf gute Qualität achten. Bei Ramschangeboten, z. B. Widerstände kiloweise oder ungestempelten Transistoren, handelt es sich zumeist um Ausschußware. Das führt zu Mißerfolgen und ist letztendlich teurer, als vernünftiges Material in den benötigten Kleinmengen zu kaufen.

Die Belastbarkeit der Widerstände beträgt, sofern nicht anders angegeben, $\frac{1}{4}$ Watt.

Die Spannungsfestigkeit von Folienkondensatoren sollte um mindestens 20 % höher als die Betriebsspannung der Schaltung gewählt werden. Bei Elektrolytkondensatoren ist die erforderliche Spannungsfestigkeit in den Schaltbildern angegeben.

Sollte ein Halbleitertyp nicht vorrätig sein, kann manchmal auch ein Äquivalenttyp verwendet werden (siehe: „Komponenten“).

ICs (Integrierte Schaltungen) werden oft von verschiedenen Herstellern mit unterschiedlichen Typenbezeichnungen angeboten. In den Schaltbildern ist die meist einheitliche Ziffer der Typenbezeichnung angegeben.

Beispiel: Der Operationsverstärker 741.

741 bedeutet: μ A 741, LM 741, MC 741, MIC 741, RM 741, SN72741 usw.

Besonders Anfängern wird geraten, IC-Sockel zu verwenden.

Symbole

Einige Schaltzeichen, besonders die für logische Gatter, weichen von der DIN-Norm ab. Da der Elektor-Verlag in vielen Ländern der Erde publiziert, verwenden wir die am weitesten verbreiteten Symbole.

Im Fall der logischen Blöcke sind dies nicht die DIN-Zeichen, sondern die amerikanischen Symbole. Für alle Leser, denen diese Norm unbekannt ist, haben wir die DIN-Beschriftung in die amerikanischen Gatterzeichen eingesetzt (siehe auch „Komponenten“).

Werte

Widerstands- und Kondensatorgrößen werden üblicherweise in einer Schreibweise ohne Komma wiedergegeben. Statt dessen werden die international gebräuchlichen Abkürzungen für Dezimalfaktoren benutzt:

p (Piko)	= 10^{-12}	= der millionste Teil einer Million
n (Nano)	= 10^{-9}	= ein Milliardenstel
μ (mikro)	= 10^{-6}	= ein Millionstel
m (Milli)	= 10^{-3}	= ein Tausendstel
k (Kilo)	= 10^3	= Tausend
M (Mega)	= 10^6	= Million
G (Giga)	= 10^9	= Milliarde

Einige Beispiele für Widerstands- und Kapazitätsangaben:

3k9	= 3,9 k Ω	= 3900 n
0 Ω 33	= 0,33 n	
4p7	= 4,7 pF	
5n6	= 5,6 nF	
4 μ 7	= 4,7 μ F	

LötKolben, LötZinn

- Am günstigsten ist ein LötKolben mit 15 ... 30 W Leistung und einer Dauerlötspitze (gerade, etwa 2 mm breit).
- Es wird ausschließlich gutes Elektronik-LötZinn, bestehend aus 60 % Zinn und 40 % Blei, benutzt. Im Zentrum des Lötdrahtes befindet sich ein Strang aus Flußmittel, das beim Löten verdampft und Oxydationen verhindert. Empfehlenswerte Stärke: 1 mm.
- Lötmitel wie Lötwasser, Lötpaste usw. sollten nicht benutzt werden.
- Alle Bauteile muß man zuerst mechanisch stabil befestigen: Alle Drahtenden werden durch die jeweiligen Bohrungen gesteckt und leicht angewinkelt bzw. umgebogen.
- Der LötKolben wird aufgeheizt und die Spitze mit einem alten, sauberen Lappen (oder feuchten Spezialschwamm) von Oxydationsresten befreit.
- Beide** Teile, die verlötet werden sollen, z. B. Kupferbahn und Anschlußdraht, werden mit dem LötKolben erhitzt.
- Jetzt wird das LötZinn zugeführt. Das Zinn muß **fließen**. Die richtige Menge zu dosieren, ist Übungssache.
- 1 bis 2 Sekunden später wird der LötKolben weggezogen. Die Lötstelle kühlt ab. Sie darf dabei nicht bewegt werden, da sich sonst feine Risse im Zinn bilden.

- O Eine gelungene Lötung erkennt man daran, daß die Lötstelle die Form einer Hohlkehle hat.
- O Die Bauteile und Leiterbahnen dürfen nicht zu heiß werden. Das gilt insbesondere für Halbleiter. Kritisch: LEDs! (Eventuell beim Löten mit einer Pinzette kühlen.)

Anschluß

- n* Überstehende Drahtenden werden direkt an der Lötstelle mit einem kleinen Seitenschneider abgeknipst. (Kann man auch schon vor dem Löten machen. Das sieht dann etwas besser aus.)
- O Zur Schonung der Lötspitze sollte der LötKolben nach Beendigung der Lötarbeiten oder bei Pausen von mehr als einer Viertelstunde abgewischt und ausgeschaltet werden.
- O Zum Entfernen von Lötzinn wird Entlötlitze verwendet: Litze auf die Lötstelle legen und beides mit dem Kolben erhitzen. Die Litze saugt das heiße Zinn auf. LötKolben und Litze gleichzeitig abheben.
- O Für die ersten Lötversuche sollte man hitzeunempfindliche Bauteile verwenden: Drähte oder Widerstände.

Fehlersuche

Es ist nichts Ungewöhnliches, wenn eine Schaltung nicht auf Anhieb funktioniert. Fast alle Fehler lassen sich jedoch schnell einkreisen, wenn man die betreffende Schaltung systematisch untersucht.

Als erstes sollte man den Aufbau überprüfen:

- O Sind die richtigen Bauteile an der richtigen Stelle? (Werte und Typenbezeichnungen vergleichen.)
- O Sind sie richtig gepolt?

- O Stimmen die Anschlüsse der Halbleiter? (Gelegentlich ist unklar, ob Anschlußbilder von oben oder von unten gelesen werden. Die in diesem Buch gezeigten Bestückungspläne sind immer von oben aufgenommen.)
- O Ist alles sauber gelötet? (Test: Mit einer Pinzette an den Anschlußdrähten wackeln.)
- O Sind keine Kurzschlüsse entstanden?

Da man eigene Irrtümer bekanntlich leicht übersieht, lohnt es sich häufig, jemand anderen die bestückte Platine überprüfen zu lassen.

Eine weitere Kontrollmethode ist, den Schaltplan wegzulegen und anhand der fertigen Schaltung das Schaltbild selbst zu zeichnen. Unterschiede zwischen dem Original und der eigenen Skizze deuten auf Fehler hin.

Als nächstes sollte man die Betriebsspannung und gegebenenfalls die Spannungsangaben der Bauanleitung nachmessen. Batteriespannungen sacken stark ab, wenn die Zellen zur Neige gehen.

Wenn alles nichts nützt, muß ein Fachmann befragt werden. Die Verkäufer in den Elektronikfachgeschäften sind fast immer selbst erfahrene (Amateur-)Elektroniker und sicher bereit, (außerhalb der Stoßzeiten) zu helfen.

Meßwerte

Gelegentlich werden in Schaltplänen oder im Text Meßwerte angegeben. Diese Angaben sind als Richtwerte zu betrachten, d. h., die Meßwerte dürfen um etwa $\pm 10\%$ abweichen. Die Messungen werden mit einem handelsüblichen Multimeter (Innenwiderstand $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$) durchgeführt.

Netzspannung

1. Aufbau

- O Netzspannungsführende Leiter müssen so isoliert sein, daß sie bei geschlossenem Gehäuse nicht berührbar sind, auch nicht unter Zuhilfenahme eines langen, dünnen Stabes. Alle von außen erreichbaren metallischen Teile müssen geerdet werden (wenn sie nicht von innen isoliert sind). Ein Netzspannungsschalter mit Metallknebel muß auch dann geerdet werden, wenn er in einem Kunststoffgehäuse montiert wird.
- O Das Netzkabel muß mittels einer Zugentlastung am Gehäuse befestigt werden.
- O Die drei Adern des Netzkabels müssen mechanisch stabil befestigt sein. Die Befestigung darf nicht alleine auf einer Lötung beruhen. Der Erdleiter (Kennfarben: gelb-grün) muß länger als die beiden anderen Leiter sein, damit er sich bei eventuellem Herausreißen des Netzkabels als letzter löst.
- O Nichtisolierte, netzspannungsführende Teile müssen von anderen, ebenfalls blanken Leitern mindestens 3 mm entfernt sein.

2. Testen

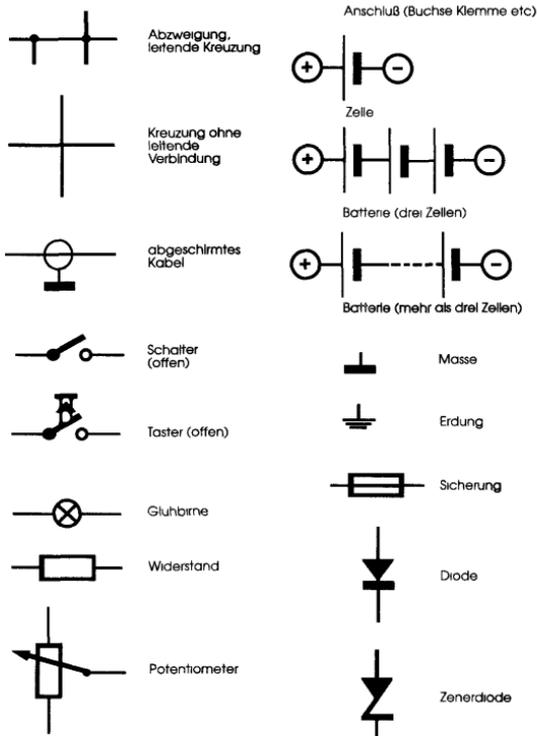
- O Alle Arbeiten (Löten, Montieren . . .) am geöffneten Gerät dürfen nur bei gezogenem Netzstecker durchgeführt werden. Abschalten alleine genügt nicht. (Stecker in die Hosentasche!)
- O Vor der Inbetriebnahme prüfen, ob alle netzspannungsführenden Teile stabil befestigt sind. Mit dem Ohm-Meter auf nichtleitende Kontakte bzw. Kurzschlüsse untersuchen.

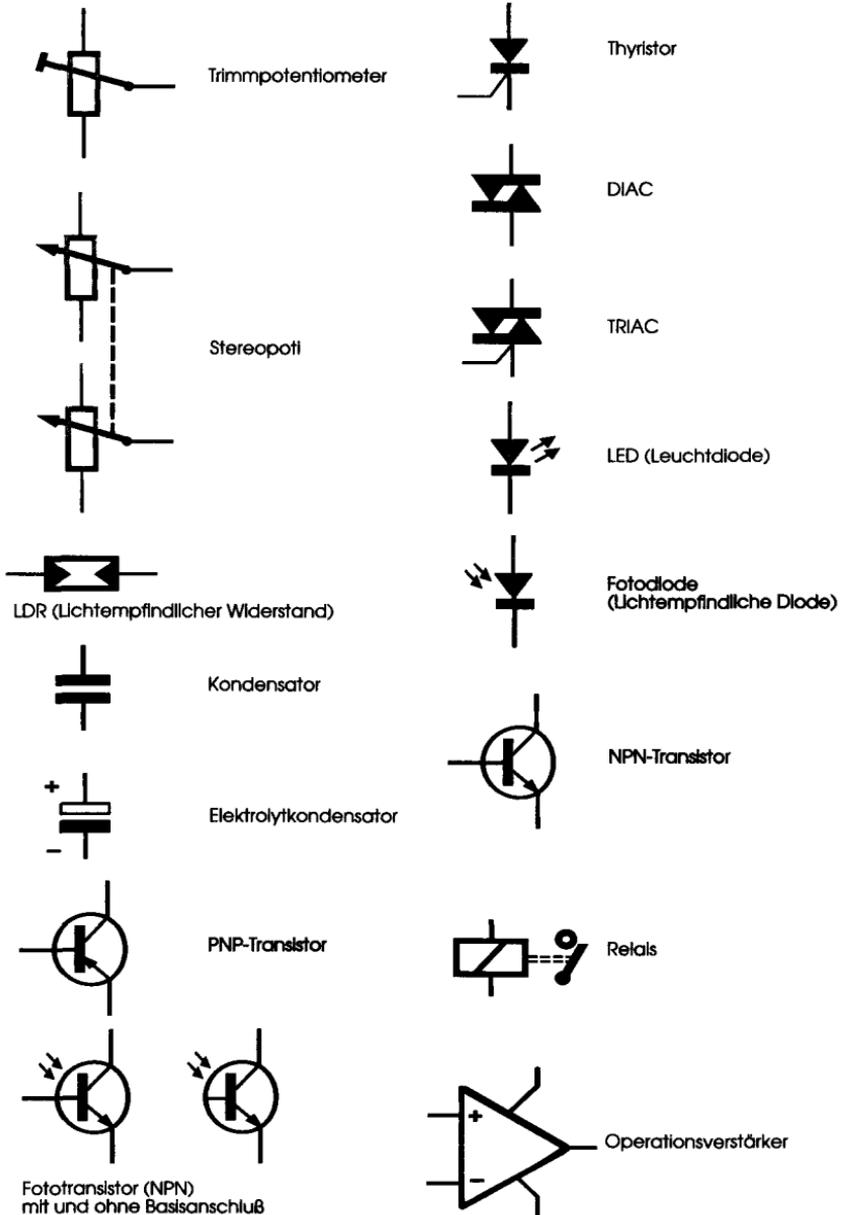
G Beim Testen von netzspannungsführenden Teilen einer Schaltung zuerst die Meßschnüre mit isolierten Clips an-klemmen, dann den Stecker einstecken. Clipse erst nach dem Abschalten wieder lösen.

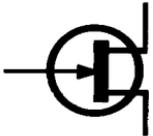
O Beim Messen im Niederspannungsteil einer Schaltung müssen alle netzspannungsführenden Teile isoliert sein, um ein versehentliches Berühren auszuschließen.

Komponenten

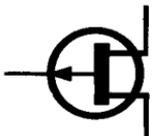
Die Schaltpläne in diesem Buch enthalten folgende Schaltzei-chen:







N-Kanal-JFET



P-Kanal-JFET



Meßinstrument



Kopfhörer



Lautsprecher



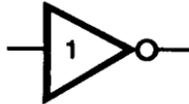
Spule



Spule mit Kern



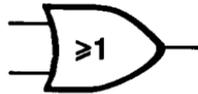
Transformator



Inverter



UND-Gatter (AND)



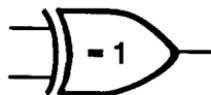
ODER-Gatter (OR)



NAND-Gatter

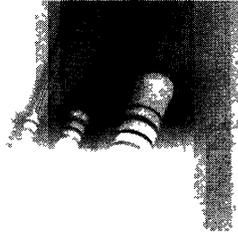


NOR-Gatter



Exklusiv-ODER-Gatter

Widerstände



werden mit R bezeichnet. Farbringe kennzeichnen den Wert der Kohleschichtwiderstände, die in den Schaltungen zur Anwendung kommen.

Kennfarbe	1. Ziffer	2. Ziffer	Multiplikator	Toleranz in %
schwarz	-	0	-	-
braun	1	1	0	± 1%
rot	2	2	00	± 2%
orange	3	3	000	-
gelb	4	4	0 000	-
grün	5	5	00 000	± 0,5%
blau	6	6	000 000	-
violett	7	7	-	-
grau	8	8	-	-
weiß	9	9	-	-
gold	-	-	x 0,1	± 5%
silber	-	-	x 0,01	± 10%
ohne	-	-	-	± 20%

Beispiele für Widerstandswerte:

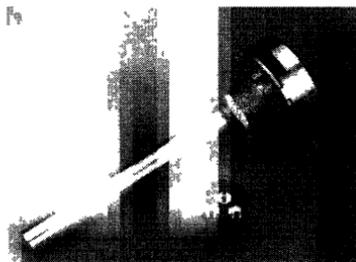
braun rot braun silber: 120Ω 10 %

gelb violett orange silber: $47000 \Omega = 47 \text{ k}\Omega$ 10% (in unserer Schreibweise: 47 k)

braun grün grün gold: $1500000 \Omega = 1,5 \text{ M}\Omega$ 5 % (in unserer Schreibweise: 1M5)

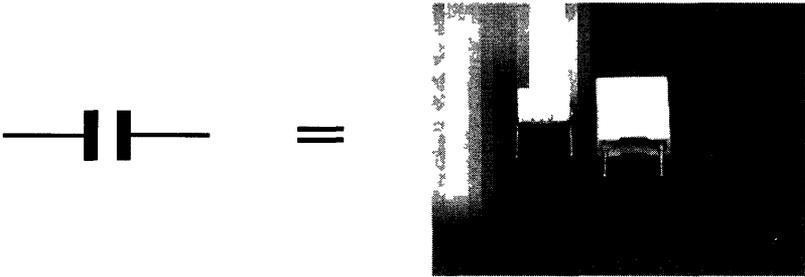
In den Schaltungen werden nur Widerstände der Normreihe E12 mit 10% (oder 5%) Fertigungstoleranz eingesetzt. Sie kosten einzeln ca. DM 0,10.

Potentiometer



(Potis) sind spezielle Widerstände mit einem verstellbaren Schleifkontakt. Über den Schleifkontakt wird ein Teil der Spannung, die am gesamten Potiwiderstand liegt, abgegriffen. Einstellpotis (Trimmer), die mit einem Schraubenzieherjustiert werden, sind ab etwa DM 0,50 erhältlich, Potis mit einer Achse für Drehknöpfe ab ungefähr DM 1,50.

Kondensatoren



sind kleine Ladungsspeicher. Da sie für Wechselspannungen durchlässig sind, für Gleichspannungen jedoch nicht, werden sie außerdem zum Übertragen von Wechselspannungen benutzt. Die Speicherefähigkeit von Kondensatoren, Kapazität genannt, wird in Farad (F) gemessen. Die Werte gebräuchlicher Kondensatoren (Folien-, Schicht- und Keramikkondensatoren) liegen zwischen 1 pF und 1 μ F

$$\frac{1}{1000000000000} \text{ F} \quad \text{u n d} \quad \frac{1}{1000000} \text{ F}$$

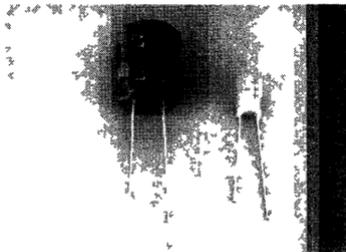
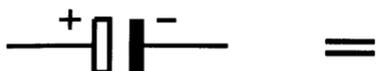
Die Werte sind meistens in Ziffern aufgedruckt, häufig in der hier verwendeten Schreibweise.

Beispiele: 1n5 = 1,5 nF; μ 03 = 0,03 μ F = 30 nF;
100p (oder n100 oder n1) = 100 pF.

Außer den Kapazitätswerten ist die Spannungsfestigkeit von Bedeutung. Sie sollte, wie bereits gesagt, mindestens 20 % über der Betriebsspannung liegen.

Die Preisskala für Kondensatoren, abhängig von Kapazität und Spannungsfestigkeit, beginnt bei ca. DM 0,30. Die Kondensatoren für unsere Schaltungen kosten in der Regel weniger als DM 1,50.

Elektrolytkondensatoren



(Elkos) haben eine besonders hohe Kapazität (Größenordnungen: $1 \mu\text{F}$ bis $10000 \mu\text{F}$). Dafür sind sie jedoch polarisiert, sie besitzen jeweils einen Plus- und einen Minusanschluß, den man nicht vertauschen darf. Die Anschlüsse sind deutlich gekennzeichnet. Bei Tantal-Elkos, einer besonders kleinen Bauform, erkennt man den Pluspol zusätzlich am längeren Anschlußdraht. Auch die Preise der Elektrolytkondensatoren sind typabhängig. Ein $10 \mu\text{F}/35\text{-V}$ -Elko kostet ca. DM 0,40.

Dioden

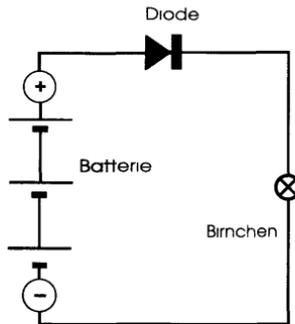


sind elektronische Einbahnstraßen. Sie leiten den Strom nur in eine Richtung. Kommt der Strom aus der verkehrten Richtung, sperren sie.



In Durchlaßrichtung stellt sich an den Anschlüssen einer Siliziumdiode eine Spannung von ca. 0,6 V ein (Schwellspannung). Die beiden Anschlüsse heißen Katode (Balken im Symbol) und Anode (Trichter). Meistens ist der Katodenanschluß markiert, z. B. durch einen Farbring, einen Punkt oder eine Gehäuseverjüngung.

Ist die Anschlußbelegung unbekannt, testet man sie mit einer Taschenlampenbatterie und einem Birnchen.



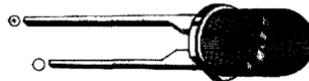
Das Lämpchen brennt nur, wenn die Diode in der oben gezeichneten Richtung eingesetzt ist.

Die zulässige Sperrspannung und der maximale Strom in Durchlaßrichtung sind die wichtigsten Kenndaten der Dioden. In unseren Schaltungen sind überwiegend zwei Typen vertreten:

1N4148 (Sperrspannung 75V, Durchlaßstrom 200mA), Preis ca. DM 0,15;

1N4001 (Sperrspannung 50V, Durchlaßstrom 1A), Preis ca. DM 0,25.

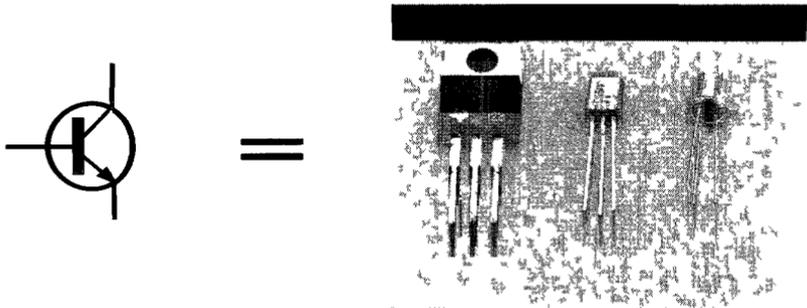
Leuchtdioden



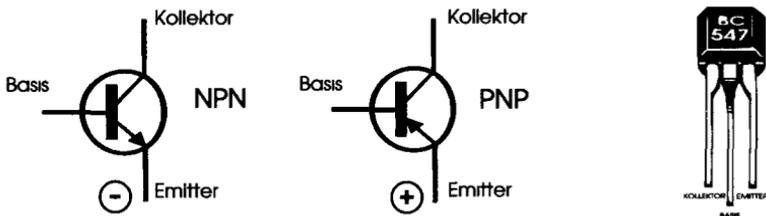
(LEDs) sind in einem durchsichtigen Gehäuse eingebaut und leuchten auf, wenn Strom durch fließt. Die Spannung beträgt jedoch nicht 0,6 V wie bei normalen Siliziumdioden, sondern

je nach Typ zwischen 1,6 V und 2,4 V. Der Strom sollte normalerweise bei 15 mA bis 25 mA liegen (Preis für rote LEDs: ab DM 0,25).

Transistoren



haben drei Anschlußbeine mit den Bezeichnungen Basis, Emitter und Kollektor.



Man unterscheidet NPN- und PNP-Transistoren. Bei NPN-Transistoren liegt der Emitter am Minuspol, bei PNP-Ausführungen am Pluspol der Speisespannung. Ein kleiner Strom, der von der Basis zum Emitter fließt, verursacht einen (viel) größeren Strom zwischen Kollektor- Emitteranschluß. Man sagt: Der Transistor verstärkt den Basisstrom (Stromverstärkung). Transistoren sind heute die wichtigsten Grundelemente von Verstärkerschaltungen.

Bei uns werden meistens die Typen BC547 (NPN) und BC557 (PNP) verwendet. Beide haben die gleiche Anschlußbelegung, die beim Löten beachtet werden muß.

Sollte ein angegebener Transistortyp einmal nicht vorrätig sein, kann man folgende Typen untereinander austauschen:

NPN-Typen BC547 (-8, -9); BC107 (-8, -9), BC237 (-8, -9).

PNP-Typen BC557 (-8, -9), BC177 (-8, -9), BC251 (-2, -3).

Diese Transistoren kosten etwa DM 0,40.

Integrierte Schaltung



Es gibt inzwischen so viele IC-Typen, daß sich nur wenig Allgemeines sagen läßt. Die meisten ICs sind in **DIL-Gehäuse** (**Dual-In-Line**), den bekannten „Käfern“ mit zwei Beinchenreihen, eingegossen (siehe oben). Die Beine der **DIL-ICs** stehen häufig zu weit auseinander. Man muß sie vor dem Einstecken in die Sockel vorsichtig (nicht zu weit!) zusammenbiegen. Damit die ICs richtig herum eingesetzt werden, ist Pin 1 durch eine Markierung am Gehäuse gekennzeichnet: ein Punkt, ein Schlitz o. ä..

2. Akku- Technologisches

2.1 Grundlagen der NC-Akkus

Tragbarer Strom aus der Steckdose

Solange die Erfindung der tragbaren, drahtlosen Steckdose noch auf sich warten läßt, bleibt zur netzunabhängigen Stromversorgung nur die Wahl zwischen Wegwerfbatterien und wiederaufladbaren Akkus. Entscheidungshilfe bietet dieser Beitrag, er informiert über Nickel-Cadmium-Akkus, die direkt gegen Trockenbatterien ausgetauscht werden können.

Batterien haben eine sehr unangenehme Eigenschaft: Ihre schön und kraftvoll im Stahlmantel verpackte Energie ist irgendwann erschöpft. Wer hat sich noch nie darüber geärgert, schon wieder neue Batterien kaufen zu müssen. Auch das Wegwerfen der schwarzen, blauen oder roten, noch immer schönen, aber kraftlos gewordenen Energiepakete bereitet selbst konsumfreudigen Menschen keine Lustgefühle, es sei denn, sie sind am Umsatz eines Batterieherstellers beteiligt.

Ganz anders bei den äußerlich gleich aussehenden **NC-Akkus**: Beißt man einmal in den sauren Apfel der hohen Anschaffungskosten, kann man sich bei jedem Auftanken an der Steckdose über die ersparten Groschen freuen. Die Freude währt sehr lange, wenn man ein paar elementare Spielregeln im Umgang mit **NC-Akkus** beherzigt. Für die richtige Entscheidung im Falle der Batterieversorgung ist auch wichtig, daß man die Vor- und Nachteile der Akku-Lösung kennt, die Rentabilität ungefähr abschätzen kann und die für den Anwendungsfall richtigen Akkus einsetzt. Die zuvor angesprochenen Lust- und Unlust-Gefühle allein sollten nicht entscheidend sein.

Wirtschaftlichkeit

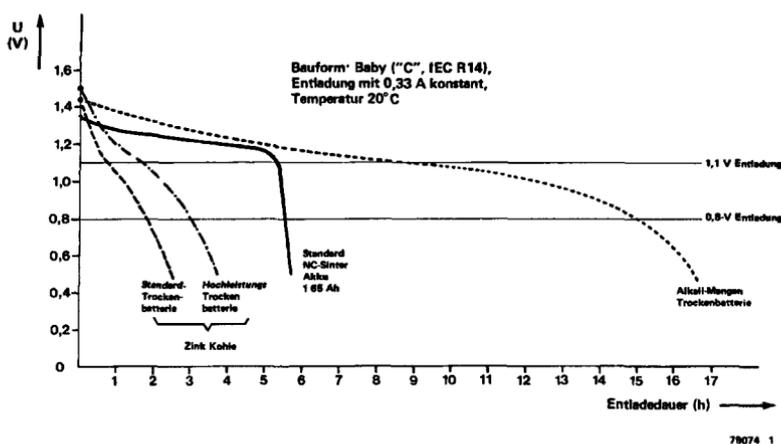
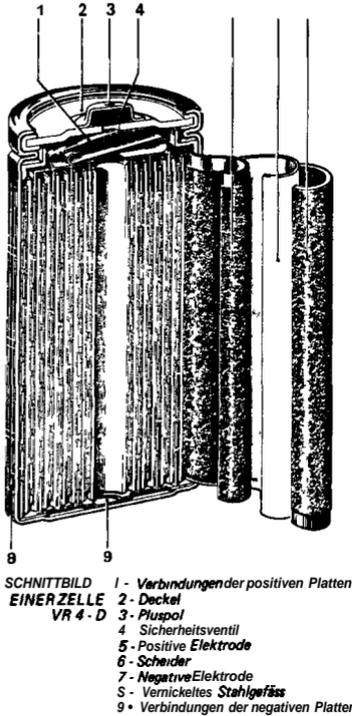


Bild 2.1.1. Vergleich des Entladeverhaltens von Trockenbatterien und NC-Akkus. Die An der Entladung (ununterbrochene Entladung mit relativ hohem Konstantstrom) ist sehr unvorteilhaft für Zink-Kohle-Batterien, bei intermittierender Entladung (mit Ruhepausen) und kleinen Strömen erreichen Standard-Zink-Kohle-Batterien etwa die gleiche, Spezial-Zink-Kohle-Batterien etwa die doppelte Kapazität wie ein NC-Akku gleicher Größe. An der Kapazität des NC-Akkus und der Alkali-Mangan-Batterie ändert sich hingegen nur wenig.

Für **NC-Akkus** spricht in erster Linie die Wirtschaftlichkeit, die jedoch nicht immer gegeben ist. Nehmen wir z. B. eine Schmalfilmkamera, die mit 4 Mignon-Batterien betrieben wird. Viele **Hobbyfilmer** kommen mit einem Satz **Alkali-Mangan-Batterien** ein Jahr oder länger aus, Kosten etwa 6 DM. Für 4 **NC-Mignon-Akkus** muß man etwa 16 bis 20 DM aufwenden, 20 bis 30 DM für das Ladegerät. Demnach dauert es 6...7 Jahre, bis man beim Nachtanken an der Steckdose tatsächlich Geld spart, stellt man noch einen zweiten Akkusatz in Rechnung, um bei Bedarf ohne längere Unterbrechung weiterfilmen zu können, muß man sogar 10 Jahre warten. Anders sieht es schon aus, wenn das Ladegerät auch für andere Geräte mitbenutzt wird und der Reserveakkusatz z. B. zwischendurch auch mal im **Batterie-Blitzgerät** zum Einsatz kommt. Man sieht: Die Wirtschaftlichkeit hängt sehr vom Anwendungsfall ab. Auch kann man nicht generell sagen, daß sich bei **motorbetriebenen** Geräten die Verwendung von Akkus immer lohnt. Andererseits gibt es Anwendungsfälle, bei denen NC-Akkus ziemlich eindeutig wirtschaftlicher sind; z. B. häufig netzunabhängig benutzte Kassettenrecorder, Taschendiktergeräte (besonders die mit **9-V-Kompakt-Batterie**), Taschenrechner und Meßgeräte mit LED-Anzeige, batteriebetriebenes Spielzeug, Handfunkgeräte und natürlich alle Anwendungen im Modellbau.

Weiteres Für und Wider

Abgesehen von der Frage der Wirtschaftlichkeit haben NC-Akkus im Vergleich zu Trockenbatterien noch weitere Vorteile. Sie sind von der Konstruktion her auslaufsicherer als Trockenbatterien, haben einen niedrigeren Innenwiderstand und eine nahezu konstante Spannung über 90 % der Entladedauer. Die beiden letztgenannten Vorteile sind häufig recht angenehm; so ist bei Ausstattung mit NC-Akkus die Verkopplung am Innenwiderstand geringer, bei Batterie-Blitzgeräten wird die Blitzfrequenz höher, bei Taschenrechnern ist die Gefahr kleiner, daß



79074 2

Bild 2.1.2. Aufbau einer Nickel-Cadmium-Rundzelle mit Sinterelektroden (SAFT). Das Gehäuse ist gasdicht, am Deckel befindet sich ein reversibles Sicherheitsventil, damit der bei starker Überladung und Umpolung auftretende hohe Gasdruck abgebaut werden kann. Dabei geht Elektrolyt verloren, was bei wiederholtem Öffnen des Sicherheitventils eine bleibende Beeinträchtigung von Leistung und Lebensdauer des Akkus zur Folge hat.

das Gerät am Ende der Batterieentladung unzuverlässig wird, ohne daß man es rechtzeitig merkt. Bei Kassettenrecordern und Filmkameras wird vermieden, daß während der Aufnahme unbemerkt die **Laufgeschwindigkeit** nachläßt. Trockenbatterien sind da manchmal tückisch.

NC-Akkus sind ehrlicher: Sie liefern entweder Strom mit konstanter Spannung oder gar nichts.

Es gibt aber auch Nachteile: Die Nennspannung beträgt nur 1,2 V, (Trockenbatterien 1,5 V), so daß z. B. bei einem Kassettenrecorder mit vier Monozellen anstelle von 6 V nur 4,8 V zur Verfügung stehen. Nicht jedes Gerät arbeitet bei der um 20 % niedrigeren Betriebsspannung einwandfrei. Es kann auch sein, daß sich die Kapazität des Akkus nur zu einem Drittel nutzen läßt, weil während des ersten Drittels der Entladezeit die Spannung noch über 1,2 V liegt. Sehr häufiges Nachladen wäre die Folge.

Die Betriebsdauer eines Geräts ist im Durchschnitt mit NC-Akkus ohnehin geringer als mit Trockenbatterien gleicher Größe. Ganz pauschal gesagt, kann man mit baugleichen NC-Akkus etwa die gleiche Betriebsdauer bis zum Nachladen erzielen wie mit Standard-Trockenbatterien bis zum Wegwerfen. Die Betriebsdauer mit **Spezial-Trockenbatterien** wie **Alkali-Mangan** ist in der Regel länger. Im Einzelfall ergeben sich z. T. gravierende Unterschiede; die Kapazität von Zink-Kohle-Trockenbatterien hängt sehr stark von der Art der Entladung ab, während die von **NC-Akkus** und **Alkali-Mangan-Batterien** von der Art der Entladung weitgehend unabhängig ist. Bei hoher Stromentnahme und gleichzeitig langer Einschaltdauer, z. B. ein Kassettenrecorder im Dauerbetrieb, ist die Kapazität von Trockenbatterien geringer als bei mäßiger bis kleiner Stromentnahme mit regelmäßigen Erholungspausen, wie beispielsweise bei einem Transistor-Radio.

Außerdem ist die Kapazität von **NC-Akkus** bei gleichen Abmessungen durchaus unterschiedlich, je nach Hersteller und Baureihe. Im Gegensatz zu Trockenbatterien ist die Kapazität aber angegeben, und diese Zahlen lassen sich unmittelbar miteinander vergleichen.

Ein weiterer Nachteil von **NC-Akkus** ergibt sich aus ihrem großen Vorteil der **Nachladbarkeit**: die umständlichere Handhabung.

Zum Nachladen muß man ein Ladegerät besitzen. Besitz verpflichtet, in diesem Fall zur Aufbewahrung, zur regelmäßigen Benutzung und, auf längeren Reisen, zum Mitschleppen. Noch ein Gerät mehr!

Der Ladevorgang selbst ist für einen Amateur-Elektroniker sicher kein Problem, für technische Laien je nach Konstruktion des Ladegeräts aber nicht immer problemlos. Es kommt durchaus vor, daß Rundzellen verkehrt herum geladen werden, daß bei Ladegeräten mit Umschaltung für zwei oder vier Zellen das

Umschalten vergessen wird oder der Lader über eine Woche an der Steckdose bleibt.

Ein gravierendes Manko besonders für ungeduldige Mitmenschen ist die Ladedauer, üblicherweise 14 bis 16 Stunden. Will man diese Wartezeit überbrücken, braucht man einen 2. Satz Akkus; durch Verwendung von schnellladefähigen Akkus und entsprechenden Schnellladern läßt sich die Ladedauer auf 4 bis 6 Stunden verkürzen. Beide Lösungen treiben die Anschaffungskosten weiter in die Höhe.

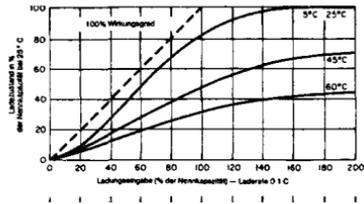
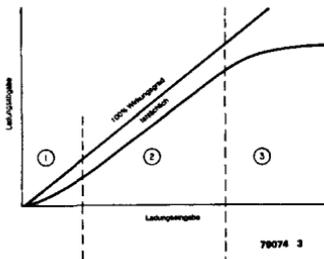


Bild 2.1.3. Ladungsaufnahme eines NC-Akkus. Am Anfang und gegen Ende des Ladevorgangs wird der Ladestrom nur in vermindertem Maß gespeichert (Abschnitte 1 und 3). Bei Überladung wird keine weitere Ladung mehr erzielt, der Ladestrom bewirkt dann Gasproduktion in der Zelle und in der Folge Wärmeentwicklung.

Bild 2.1.4. Ladungsaufnahme bei verschiedenen Temperaturen. Mit steigender Temperatur sinkt die einladbare Kapazität (Strommenge).

Ebenfalls zu bedenken ist, daß bei den vergleichsweise hohen Preisen von NC-Akkus eine grobe Fehlbehandlung auch teurer zu stehen kommt als das Zerstören von Trockenbatterien. Es muß aber fairerweise gesagt werden, daß das vergessene Ausschalten eines Geräts, häufigste Ursache des vorzeitigen Endes von Trockenbatterien, bei Verwendung von NC-Akkus kaum nachteilige Folgen hat. NiCds halten eine ganze Menge

aus, aber wenn man ganz grobe Fehler macht, wie beispielsweise verkehrte Polung beim Laden, Dauerüberladung oder Kurzschlüsse und Hochstrom-Tiefentladungen, ist der Schaden beträchtlich.

Die richtige Wahl

Hat man die Vor- und Nachteile der **NC-Versorgung** abgewogen und gefunden, daß die Vorteile überwiegen, geht es darum, den richtigen Akku zu kaufen. Zuerst einmal die Bauform: Sollen Trockenbatterien ersetzt werden, liegt sie ohnehin fest. Verbreitet sind baugleiche **NC-Akkus** der Batteriegrößen „AA“ (IEC R6), genannt „Mignon“, C (IEC R14), genannt „Baby“ und die Batteriegröße „D“ (IEC R 20), bekannter als „**Monozelle**“. Neben diesen Rundzellen ist auch die **9-V-Kompaktbatterie** (auch als **9-V-Blockbatterie** oder **Transistorbatterie** bekannt) IEC 6F22 als **NC-Akku** gut erhältlich, ebenso spezielle **12-V-Akkus** in Blockform, die in Handfunkgeräten gegen den Batterieschalter mit 8 Mignonzellen ausgetauscht werden.

Weniger gut erhältlich, aber im Programm einiger Hersteller enthalten, sind auch **NC-Akkus** der Batteriegrößen „N“ (IEC R1 „Lady“) und „AAA“ (IEC R03 „Mikro“). Tabelle 1 gibt eine vergleichende Übersicht über Trockenbatterien und **NC-Akkus** der gängigen Größen.

Bei Trockenbatterien gleicher Größe kann die nutzbare Kapazität um den Faktor 10 variieren, abhängig von Batteriesorte und Art der Entladung. Die niedrigere Angabe trifft ungefähr für Standard-Zink-Kohle-Batterien bei ungünstigen Entladebedingungen zu (5-stündige Dauerentladung), während der Höchstwert nur mit **Alkali-Mangan-Batterien** der Spitzenklasse erreicht wird.

Die Kapazität der **NC-Akkus** wurde für fünfstündige Entladung angegeben, die Werte für einstündige Entladung liegen

*Tabelle 2.2.1. Übersicht über Batterien und baugleiche NC-Akkus der am häufigsten verwendeten Größen. Die große Bandbreite bei den Kapazitätsangaben der Trockenbatterien erklärt sich aus den Unterschieden bei der Art der Entladung und den verschiedenen Bauarten. Die jeweils angegebenen Höchstwerte werden nur mit hochwertigen **Alkali-Mangan-Batterien** erreicht. Unterschiede gibt es auch in der Kapazität der NC-Akkus gleicher Größe, hier hat die Art der Entladung aber keinen so großen Einfluß auf die nutzbare Kapazität wie bei den Trockenbatterien.*

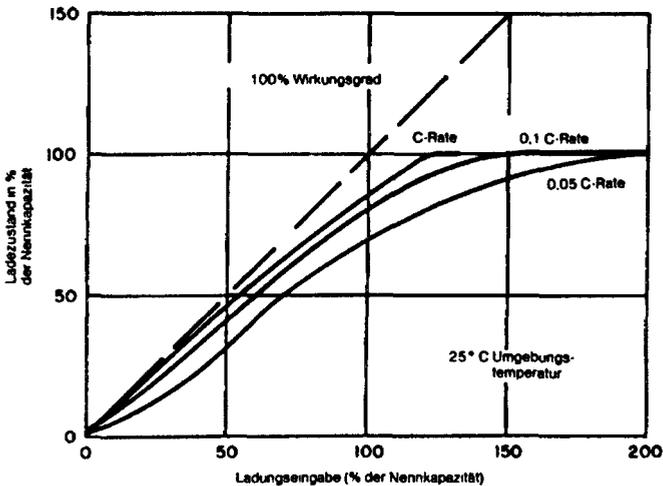
MONO	BABY	MIGNON	9-V-Block	12-V-CB-Funk	Handelsbezeichnung
D	C	AA	—	—	Intern. Bez.
R20	R14	R6	6F22	—	ICE-Bezeichnung/ Primärelement
KR 35/62	KR 27/50	KR 15/51	—	—	ICE-Bezeichnung/Akku
1,5 V	1,5V	1,5V	9V	—	Nennspannung Trockenbatterie
1 - 10	0,4 - 6	0,15 - 2	0,05 - 0,5	—	Kapazität Trockenbatterie (Ah)
1,2 V	1,2 V	1,2 V	7,5V *) 8,4 V 9,0 V	12V	Nennspannung NC-Akku
4 *)	2 *)	0,5 *)	0,11 *)	0,25	Kapazität NC-Standardakkus (Rundzellen mit Sinterelektroden) (Ah)
3,5	1,8 1,65	0,45	0,07	—	Kapazität mit NC-
1,2	1,2 1,0	—	—	—	Leichtbauakkus für Konsumgeräte (Ah)
—	—	0,6	—	0,45 0,5	Kapazität Hoch- kapazitäts-NC- Akkus (Ah)

*) je nach Hersteller, alle Kapazitätsangaben bei fünfständiger Entladung und 20°C

um etwa 10 bis 15 % niedriger, während bei zehnstündiger Entladung die Kapazität nur unwesentlich höher ist. Bei den Kleinakkus (Kapazität unter 100 m Ah) ist der Einfluß des Entladestroms auf Spannung und nutzbare Kapazität größer (u. a. durch

den höheren Innenwiderstand), aber immer noch sehr klein im Vergleich zu Trockenbatterien.

Bei gegebener Bauform hat man in einigen Fällen (wie Tabelle 1 zeigt, speziell bei der Mono- und Baby-Zelle) die Wahl zwischen unterschiedlichen Kapazitätswerten, je nach Hersteller und Zellenkonstruktion. In der Regel ist es am günstigsten, Standard-Sinterzellen zu verwenden. Die Leichtbauzellen sind zwar niedriger im Preis, bezogen auf die nutzbare Kapazität im Endeffekt aber teurer. So kostet beispielsweise ein Mono-Akku mit 4 Ah nicht einmal doppelt so viel wie die 1,2-Ah-Sparversion, hat aber mehr als dreimal soviel Kapazität und bei Verwendung im gleichen Gerät auch eine dreimal so hohe Lebenserwartung. Man sollte also beim Akku-Kauf das Preis/Kapazitätsverhältnis im Auge behalten.



79074 - 5

Bild 2.1.5. Ladungsaufnahme bei unterschiedlichen Ladeströmen. Mit Verringerung des Ladestroms verringert sich auch der Ladewirkungsgrad.

Die Ladedauer beträgt bei Standard-Sinterzellen normalerweise 14 Stunden. Diese Zeit ergibt sich aus dem bei Normalladung (ohne automatische Abschaltung bei Volladung) maximal zulässigen Ladestrom. Der Vorteil liegt in der Verwendung ganz einfacher und billiger Ladeschaltungen, beispielsweise Einweggleichrichtung mit Vorwiderstand.

Sollte es schneller gehen, ist man mit den sogenannten „Schnellladeakkus“ gut beraten, die einen dreimal so hohen Ladestrom bei unverändert einfacher Ladeschaltung vertragen können. Die Ladedauer verkürzt sich auf vier bis sechs Stunden.

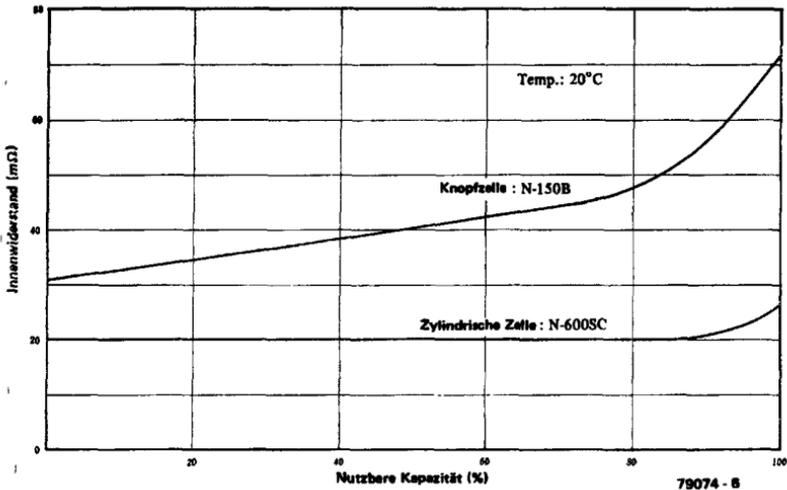


Bild 2.1.6. Änderung des Innenwiderstands während der Entladung: Knopfzelle mit 150 mAh im Vergleich zu einer Rundzelle mit 600 mAh Kapazität. Zylindrische Zellen mit Sinterelektroden weisen während nahezu 90 % der Entladedauer einen konstanten Innenwiderstand und in der Folge eine konstante Entladespannung auf.

Noch schneller geht es mit automatischen Schnellladegeräten, die den Akku in 15 bis 60 Minuten vollpumpen. Je nach Hersteller lassen sich diese Supercharger mit Spezial-Sinterzellen oder auch mit Standard-Sinterzellen verwenden, Garantie

gibt's aber nur bei Abnahme von Schnellader und Akkus vom gleichen Hersteller. Wegen der aufwendigen Ladeschaltung ist der Preis beträchtlich.

Was man vor dem Kauf unbedingt beachten sollte:

1. Feststellen, ob das Gerät oder die Schaltung mit der bei **NC-Akkus** niedrigeren Betriebsspannung noch einwandfrei arbeitet. Das ist normalerweise bei batteriebetriebenen Geräten immer der Fall; für eine einigermaßen brauchbare Batterieausnutzung muß auch mit 1 V Zellenspannung noch einwandfreie Funktion gegeben sein.
2. Überprüfen, ob der baugleiche **NC-Akku** auch tatsächlich ins Batteriefach paßt. Bei Rundzellen gibt es in der Regel keine Schwierigkeiten, bei den **9-V-Kleinakkus** kann es aber vorkommen, daß sie nicht ins Batteriefach passen, obwohl die Nonnabmessungen 6 F 22 eingehalten werden und vorher mit Batterien nie Probleme auftraten.

Eigenschaften und Handhabung von NC-Akkus

Das Wichtigste: Laden ...

Wie bereits erwähnt, ist die sogenannte „**Normalladung**“ mit einem konstanten Strom, der numerisch etwa ein Zehntel der Kapazität beträgt, bei allen **Standard-NC-Akkus** unproblematisch. Da der Akku den Ladestrom nicht während der ganzen Ladedauer speichert, sondern am Ladebeginn und am Ladeschluß anderweitig verwendet (Formieren der Elektroden und Gasproduktion), muß die geladene Strommenge größer sein als die Nennkapazität des Akkus, um den Akku voll zu laden.

Man spricht in diesem Zusammenhang von einem Ladefaktor 1,4, das bedeutet nichts anderes, als daß man das **1,4-fache** der entnommenen Strommenge (Kapazität in Ah) hineinstecken muß, um wieder den vollen Ladezustand zu erreichen. Bei dem üblichen Normalladestrom von **0,1 C5** (Strom von einem Zehn-

tel der bei fünfstündiger Entladung ermittelten Nennkapazität C5) beträgt die Ladedauer dementsprechend 14 Stunden.

Ein Hersteller empfiehlt auch einen Normalladestrom von 0,125 C5 (ein Achtel der Nennkapazität) und eine Ladedauer von 12 Stunden, was einem Ladefaktor von 1,5 entspricht.

Wenn die Nennladedauer überschritten wird, geht der Akku vom Ladezustand in den Überladezustand über; da er voll geladen ist, kann er den weiter fließenden Ladestrom nicht mehr speichern, sondern setzt ihn in Wärme um. Laden und Überladen mit dem Normalladestrom ist bei allen NC-Akkus innerhalb des vom Hersteller angegebenen Temperaturbereichs zulässig. Je nach Hersteller liegt die untere Grenze des Ladetemperaturbereichs zwischen 0° und 10°C, die Obergrenze zwischen 40° und 60°C. Die Einhaltung dieser Temperaturbereiche ist durchaus wichtig.

Die günstigste Ladetemperatur liegt bei 10° bis 25°C, in diesem Temperaturbereich ist eine Aufladung auf 100% der Nennkapazität möglich, bei tieferen Temperaturen sinkt die Kapazität nur geringfügig ab. Vollladung wird aber früher erreicht und es steigt die Gefahr der unzulässigen Überladung. Bei höheren Temperaturen sinkt die eingeladene Kapazität stärker, bei 55°C z. B. um etwa 30%, es wächst die Gefahr der bleibenden Beeinträchtigung mit der Zahl der Ladevorgänge bei hoher Temperatur.

Überladung mit dem Normalladestrom ist im allgemeinen unkritisch, die Aussagen der Hersteller variieren aber in diesem Punkt erheblich. Während ein Hersteller Überladung bis zu 20.000 Stunden noch für zulässig erklärt, zieht ein anderer die Grenze bei 500 Stunden, ein dritter formuliert vorsichtiger, daß gelegentliches Überladen bis zu mehreren Tagen Dauer keine nachteiligen Folgen hat. Letztere Formulierung trifft wohl für alle NC-Akkus zu, es ist aber mit Sicherheit nicht falsch, den Ladevorgang rechtzeitig zu beenden.

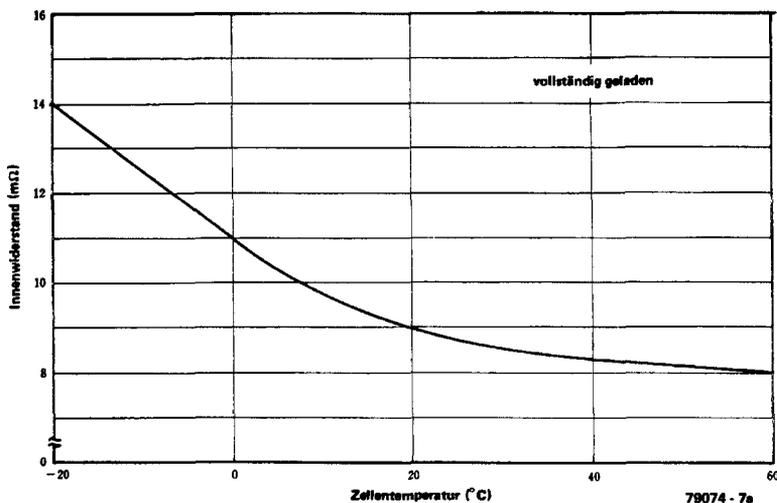


Bild 2.1.7. Änderung des Innenwiderstandes mit der Temperatur (Beispiel: Sanyo-Type N-3500D).

Laden mit kleinerem Strom als dem Normalladestrom ist ohne weiteres zulässig, aber mit Nachteilen verbunden. Der Lade-faktor steigt bis auf einen Wert von 2 an, außerdem nimmt die nutzbare Kapazität bei häufiger Ladung mit kleinem Strom ab. Ein Ladestrom von weniger als der Hälfte des Normallade-stroms ist für die wiederholte oder regelmäßige Aufladung von vollständig entladenen Akkus nicht mehr geeignet. Das La-den von nur teilweise z. B. zur Hälfte entladenen Akkus ist mit kleineren Strömen möglich, allerdings bei Inkaufnahme eines Kapazitätsverlustes über längere Zeit durch den sogenannten „Gedächtniseffekt“. Der Akku „merkt“ es sich gewissermaßen, wenn er nicht voll gefördert wird und stellt sich darauf ein, die Kapazität wird kleiner. Dieser Effekt tritt auch bei wie-derholtem Laden bei hoher Temperatur ein. Kapazitätsverlu-ste durch diesen Effekt lassen sich normalerweise durch einige Zyklen mit voller Ladung mit ausreichendem Strom und an-schließender zügiger Entladung wieder beseitigen.

Soll ein Akku ständig betriebsbereit gehalten werden, so kann man bei häufiger und vollständiger Entladung mit einem Strom etwas kleiner oder gleich dem Normalladestrom dauerladen. Bei seltener und unvollständiger Entladung (Pufferbetrieb) ist es günstiger, nach dem Aufladen mit Nonnalladestrom auf einen kleineren Ladeerhaltungsstrom von 20 bis 50 % des Normalladestroms umzuschalten. Laden mit einem höheren Strom als dem Normalladestrom ohne Ladekontrolle (also mit der Möglichkeit der Überladung) ist nur teilweise, je nach Hersteller und Akkutyp, zulässig. Bei den meisten Standard-Akkus ist ein Überladen mit doppeltem bis dreifachem Normalladestrom für die Dauer von wenigen Stunden bei Temperaturen über 20 °C gerade noch vertretbar, bei tieferen Temperaturen darf der Normalladestrom keinesfalls überschritten werden. Ohne wenigstens eine automatische Ladezeitbegrenzung (Schaltuhr o. ä.) ist vom Überschreiten des Normalladestroms in jedem Fall abzuraten.

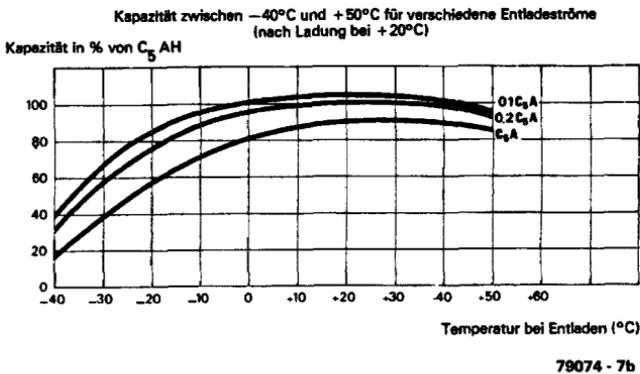


Bild 2.1.8. Die Zunahme des Innenwiderstandes bei tiefen Temperaturen wirkt sich um so stärker auf die entnehmbare Kapazität aus, je höher der Entladestrom ist (Beispiel: VR-Zelle SAFT).

An einem Beispiel: Das Laden eines Standardakkus mit doppeltem Normalladestrom ist nur dann möglich, wenn die Tem-

peratur nicht unter 20 °C liegt und der Ladevorgang nach längstens sechs Stunden beendet wird. Will man ganz sicher gehen, ist auch dafür zu sorgen, daß der Akku vor dem Laden vollständig entladen ist.

Eine Ausnahme bilden die **Standard-Akkus** von SAFT (alle Typen der VR-Baureihe mit Ausnahme der VR 10), die mit 3,3-fachem **Normalladestrom** bis zu 10 Tage lang überladen werden können, sowie die speziellen Akkus für beschleunigte Ladung von Sanyo (N-450 AAF und N-500 AAF) und General Electric (Baureihe „**Goldtopzellen** für beschleunigte Ladung“), die bei Temperaturen über 15 °C mit dem 3,3-fachen (Sanyo) bzw. 3fachen (GEC) Normalladestrom dauergeladen werden können. Sanyo empfiehlt aber, den Ladevorgang im Normalfall nach längstens 72 Stunden zu beenden. Alle anderen **NC-Standard-Akkus** mit Sinterzellen lassen sich zwar mit höheren Strömen (**10- bis 80-facher** Normalladestrom, je nach Hersteller) sehr schnell laden, dann muß aber durch ein geeignetes Ladegerät mit Spannungs-Temperatur- oder Spannungs-Zeit-Kontrolle jede Überladung mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Eine andere Möglichkeit der beschleunigten Ladung besteht darin, nur einen Teil der Vollladung zeitkontrolliert mit erhöhtem Ladestrom einzuladen und dann auf Normalladestrom umzuschalten. Voraussetzung beim nur **zeitkontrollierten** Schnellladen ist ein bekannter Anfangsladezustand der Zellen, in der Praxis vollständige Entladung.

An einem Beispiel: Eine vollständig entladene **AA-Zelle** (Nennkapazität 450 **m Ah**) wird für 45 Minuten mit **10-fachem** Normalladestrom (450 **mA**) und anschließend mit Normalladestrom (45 **mA**) geladen. Vollladung wird so schon nach $4\frac{1}{4}$ Stunden anstelle von 14 Stunden erreicht, ein weiteres Laden mit Normalladestrom ist unbedenklich. Voraussetzung bei allen Ladungen mit erhöhtem Ladestrom ist eine Zellentemperatur von über 15 °C.

... und Entladen

Dient ein NC-Akku zum Ersatz von Trockenbatterien, ist das Entladen in dem vom Hersteller angegebenen Temperaturbereich unproblematisch. Je nach Hersteller liegt die Untergrenze des Entladetemperaturbereichs zwischen -40° und -20°C , die Obergrenze zwischen $+45^{\circ}$ und $+60^{\circ}\text{C}$.

Entladen bei $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Zulässiger max. Dauerentladestrom : 14,4 A

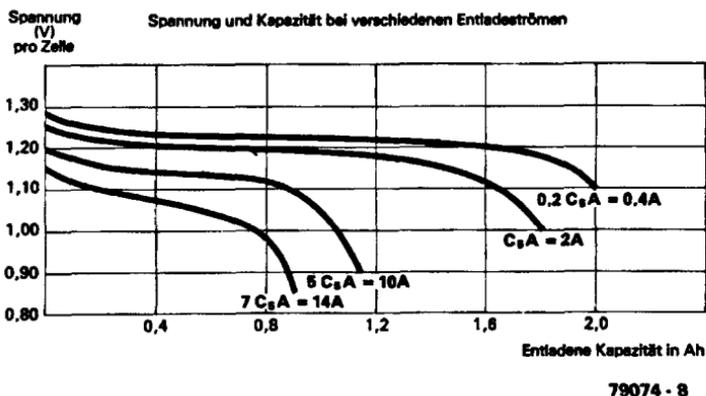


Bild 2.1.9. Einfluß des Entladestroms auf Entlade Spannung und nutzbare Kapazität einer NC-Sinterzelle der Größe „Baby“ (SAFT VR 2C).

Die Nennkapazität wird bei 20°C angegeben, bei höheren Temperaturen nimmt die entnehmbare Kapazität geringfügig zu, bei niedrigeren Temperaturen ist ein stärkerer Abfall zu verzeichnen, er beträgt bei 0°C je nach Hersteller und Zellentyp zwischen 5 und 25 %.

Diese Temperaturabhängigkeit der Kapazität verstärkt sich bei hohen Entladeströmen, weil der Innenwiderstand einen negativen **Temperaturkoeffizienten** aufweist, bei niedriger Temperatur nimmt er nicht unwesentlich zu (z. B. um 75 % bei Temperaturänderung von $+60^{\circ}\text{C}$ auf -20°C). Die Zunahme des In-

nenwiderstands verringert natürlich auch die Zellenspannung bei Tieftemperatur-Entladung. Aufgrund des Leistungsverlustes am Innenwiderstand ist die entnehmbare Kapazität auch abhängig vom Entladestrom und nimmt linear mit der Zunahme des Entladestroms ab. Die Steilheit des Abfalls wird bestimmt von der Höhe des Innenwiderstands und in der Folge von Bauart und Größe der Zelle. Bei der Bauart ist zu unterscheiden zwischen Zellen mit oder ohne Sinterelektroden (Sinterzellen oder „normale“ NCs). Bei Sinterzellen ist der Innenwiderstand um etwa einen Faktor 4 bis 10 niedriger als bei „normalen“ NCs (sogenannten Massezellen) und bleibt außerdem über den größten Teil der Entladedauer konstant, während er bei den „Normalen“ in der zweiten Hälfte der Entladezeit bis auf den 3- bis 5-fachen Anfangswert ansteigt. Bei den gegen Batterien austauschbaren NC-Rundzellen handelt es sich fast ausnahmslos um Sinterakkus, bei Knopfzellen und Kleinakkus (9 V) überwiegen die „Normalen“. Einziger Vorteil der „Normalen“ gegenüber den Sinterakkus: Die Selbstentladung ist geringer, doch davon später.

Unabhängig von der Bauart gilt der Grundsatz, daß der Innenwiderstand um so kleiner ist, je größer die Zelle ist (Kennzeichen für die Größe ist in erster Linie die Nennkapazität). Allerdings gibt es bei gleichen Abmessungen und Kapazität bei den einzelnen Herstellern durchaus unterschiedliche Angaben: Für Mignon (AA) zwischen etwa 15 und 35 m Ω (Milliohm), für Baby (C9 etwa 10 bis 20 m Ω und für Mono (D) etwa 5 bis 15 m Ω (zum Vergleich: eine Alkali-Mangan-Monozelle guter Qualität hat im Neuzustand einen Innenwiderstand von etwa 300 m Ω der nach 20-prozentiger Entladung an 5 m Ω Last auf 900 m Ω und gegen Entladeschluß auf einige Ohm ansteigt). Beim Betrieb von Batteriegeräten mit NC-Akkus kann man im allgemeinen den Einfluß des Innenwiderstandes vernachlässigen, er ist um mehrere hundert Prozent kleiner als der von Trockenbatterien. Anders ist es bei Anwendungen mit sehr hoher Stromentnahme, wie beispielsweise beim Antrieb von

Flug- und Schiffsmo­dellen. Hier ist es zwar auch von Vorteil, daß der Innenwiderstand der Sinterzellen bis zum Ent­ladeschluß weitgehend konstant bleibt, der Einfluß auf Ent­ladenspannung und entnehmbare Kapazität ist aber nicht mehr zu übersehen. Es kann beim Kauf wichtig sein, auf den vom Hersteller spezifizierten maximalen Dauerentladestrom, Innenwiderstand bzw. Kapazität bei Hochstromentladung zu achten. So ist z. B. bei Entladung mit einem Strom von der vierfachen Größe der Nennkapazität (zahlenwertmäßig, z. B. 4 A Entlade­strom bei einem 1-Ah-Akku) mit einem Rückgang der Kapa­zität um mehr als 30 % zu rechnen.

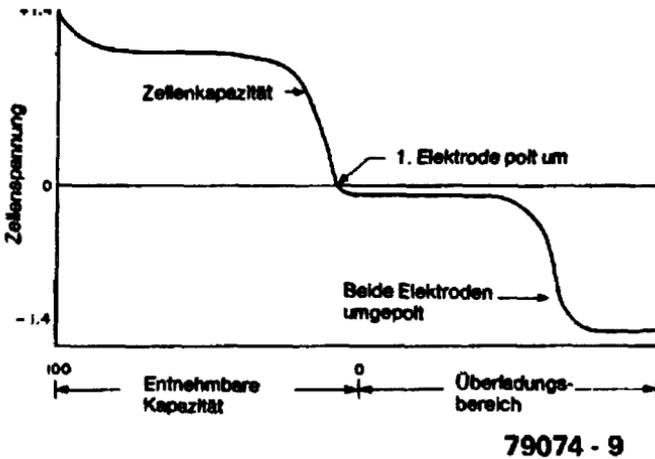


Bild 2.1.10. Verlauf der Zellenspannung bei Umpolung infolge Tiefentladung einer Reihenschaltung von mehreren Zellen.

Die maximalen Dauerentladeströme werden durch die Wärmeentwicklung begrenzt, als maximal zulässiger Dauerentladestrom gilt je nach Hersteller und Zellentyp ein Wert von der 4- bis 10-fachen Größe der Nennkapazität. Bei ausreichender Kühlung oder im Impulsbetrieb können wesentlich größere Ströme entnommen werden, bei einigen Rundzellen Werte bis

zum **150-fachender** Nennkapazität. Bei solchen Spezialanwendungen sollt man die Anwendungshinweise des Herstellers genau beachten und im Zweifelsfall Beratung in Anspruch nehmen. Im Bereich Modellbau verfügen die anbietenden Firmen meist über entsprechende Erfahrungen, z. B. was den **Elektro-Modellflug** anbelangt. Für alle Anwendungen wichtig ist das Verhalten der **NC-Akkus** bei Tiefentladung. Bei Reihenschaltung mehrerer Zellen (bei Betriebsspannungen über 1,2 V immer der Fall) kann es vorkommen, daß eine Zelle vorzeitig entladen ist (z. B. wegen geringerer Kapazität oder unvollständiger Ladung), während die anderen noch Strom liefern. In diesem Fall wird die vorzeitig entladene Zelle umgepolt und „verkehrt“ herum geladen, was zur Gasproduktion im Inneren der Zelle, Überdruck und nach einiger Zeit zum Öffnen des Sicherheitsventils führt, wodurch Elektrolyt verlorenggeht. Bei wiederholtem Elektrolytverlust ist Leistung und Lebensdauer der Zelle dauerhaft beeinträchtigt, weshalb man Tiefentladung möglichst vermeiden sollte. Bei hoher Last und größerer Zellenanzahl ist die Gefahr der Beschädigung einer Zelle durch Umpolen größer als bei geringer Zellenzahl und niedriger Belastung. Bei Kurzschlüssen kann sowohl durch die Wärmeentwicklung als auch durch Umpolung einer Zelle (bei Reihenschaltung) eine Beschädigung eintreten. Tritt der Kurzschluß in der von **NC-Akkus** versorgten elektronischen Schaltung auf, kann der sehr hohe Kurzschlußstrom über das defekte Bauteil hinaus weitere Folgeschäden wie Verglühen von **Platinenbahnen** verursachen. Eine Sicherung beugt in jedem Fall vor.

Lagerung und Selbstentladung

NC-Akkus sind unabhängig vom Ladezustand unempfindlich gegen lange Lagerzeiten in einem Temperaturbereich von typisch -40°C bis $+50^{\circ}\text{C}$. Geladene Akkus verlieren aber im Laufe der Zeit ihre Ladung durch Selbstentladung, Sinterakkus in stärkerem Maße als „**Normale**“ (Massezellen). Die Selbstentladung ist temperaturabhängig; bei 40°C tritt schon nach

wenigen Wochen vollständiger Kapazitätsverlust auf, während bei Raumtemperatur nach drei Monaten 60 bis 80 % der eingeladenen Kapazität zur Verfügung stehen, bei Temperaturen unter 0 °C ist auch nach Monaten noch eine Kapazität von 80 bis 90 % erhalten. Wegen unterschiedlicher Lagerzeiten und Temperaturen auf dem Weg zum Käufer läßt sich der Ladezustand neu gekaufter Akkus nie vorhersehen; sie sollten daher grundsätzlich vor dem ersten Einsatz 14 Stunden mit Normalstrom geladen werden.

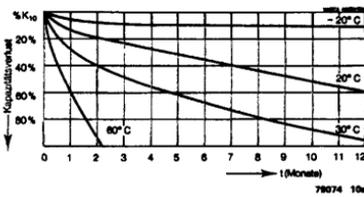


Bild 2.1.11. Selbstentladung von Massezellen (links) im Vergleich zu Sinterzellen (rechts).

Lebensdauer

NC-Akkus sterben bei einigermaßen sachgemäßer Behandlung keines plötzlichen Todes, sondern werden im Laufe der Zeit altersschwach, mit zunehmender Zykluszahl verlieren sie allmählich an Kapazität, bis sich das Nachladen nicht mehr lohnt. Als Ende der Lebensdauer betrachtet man üblicherweise einen Rückgang der Kapazität auf 50 oder 60 % der Nennkapazität. Abgesehen von grober Fehlbehandlung, wie Dauerladen mit zu hohen Strömen, regelmäßiges Tiefentladen und Kurzschlüssen, hängt es wesentlich von der durchschnittlichen Betriebstemperatur und von der Entladetiefe ab, nach wie vielen Zyklen der Akku nur noch die Hälfte seiner Nennkapazität liefert. Hitze verkürzt das Akku-Leben, unvollständige Entladung

verlängert es. Die Zyklenzahl erhöht sich wesentlich, nur unwesentlich höher wird aber die im Laufe eines Akkulebens gelieferte Energie. Ob 500 mal die volle Kapazität oder 1000 mal die Hälfte ergibt unterm Strich die gleiche Ah-Zahl. Nur ist es vielfach so, daß sich bei 50 %iger Entladung mit etwas Glück doch 1500 bis 2000 Zyklen bis zum „-3-dB-Punkt“ (-3 dB = 0,5) der Kapazität erreichen lassen. Wer seinen Taschenrechner wöchentlich auflädt, obwohl es nur alle zwei Wochen unbedingt notwendig wäre, kann so doch statt nur sieben bis zu zehn Jahre mit einem Akkusatz auskommen. Andererseits sollten Schiffs- und Flugmodellbauer, die Antriebsakkus mit Zeitbegrenzung durch eine Eieruhr ultraschnell aus dem Autoakku nachladen, mit nicht viel mehr als 100 Fahrten bzw. Starts rechnen. Mit anderen Worten: Die Lebensdauer von NC-Akkus variiert sehr stark mit den Einsatzbedingungen.

Was man im Interesse einer langen Lebensdauer unbedingt beachten sollte:

1. Nicht an den Anschlüssen löten (es sei denn, der Akku hat Lötflächen).
2. Vorsicht beim Laden bei tiefen Temperaturen. Akkus, die in der kalten Jahreszeit im Freien waren, vor dem Laden erst auf Zimmertemperatur bringen. Laden und Entladen bei hohen Temperaturen vermeiden. In jedem Fall die zulässigen Temperaturbereiche einhalten.
3. Kurzschlüsse und Hochstrom-Tiefentladungen unbedingt, Tiefentladung möglichst vermeiden.
4. Nicht mit mehr als dem Normalladestrom von 1/10 der Nennkapazität überladen, nicht unnötig mit Normalladestrom dauerladen.
5. Neue Akkus vor der Inbetriebnahme laden.
6. Beim Laden von mehreren Zellen nie parallel, sondern in Reihe schalten oder einzeln laden.

7. Fehllanschlüsse (vertauschte Polarität) beim Laden und Entladen vermeiden.
8. **NC-Akkus** nie öffnen oder ins Feuer weifen. Vorsicht bei mechanischen Beschädigungen: Cadmium ist giftig!

Und wenn es nach diesen acht Geboten und all dem anderen Wenn und Aber auch kaum noch glaubhaft erscheint: **NC-Akkus** sind in der Praxis meist ebenso problemlos und häufig wirtschaftlicher als Batterien. Mit all den nun bekannten Informationen sollte es möglich sein, **NC-Akkus** sowohl problemlos als auch wirtschaftlich einzusetzen.

2.2 Fortschrittliche Batteriesysteme

Für die private Anwendung hat die Batterietechnik mit den **Alkali-Mangan-Batterien** und den einfach zu ladenden **Nickel-Cadmium-Zellen** bemerkenswerte Fortschritte erzielt. In den letzten Jahren stand neben der Leistungssteigerung vor allem die Umweltverträglichkeit im Vordergrund. Der Quecksilbergehalt wurde vor allem für **Alkali-Mangan-Systeme** zum Problem. Hier bietet sich neuerdings mit **Lithium-Batterien** eine quecksilberfreie und noch leistungsfähigere, aber auch wesentlich teurere Alternative. Möglicherweise werden die noch im Versuchsstadium befindlichen **wiederaufladbaren Alkali-Batterien** einen Beitrag zur Lösung des Quecksilber-Umweltproblems leisten können und sogar die teuren und ebenfalls giftigen **Nickel-Cadmium-Akkus** (teilweise) ersetzen.

Bei den „Sekundärbatterien“ — den Akkus — bahnt sich ein Durchbruch im Hochleistungsbereich an. Neben der hochtemperierten **Natrium-Schwefel-Batterie** verspricht die bei Normaltemperatur betriebene **Zink-Brom-Batterie** Aussicht auf Erfolg.

Die in der Raumfahrt bereits etablierten Brennstoffzellen bleiben ein Hoffnungsträger für den Solar-Wasserstoff-Energiekreislauf im nächsten Jahrhundert.

Heiße Zellen: Natrium-Schwefel

Die Attraktivität der Natrium-Schwefel-Batterie liegt in der hohen Energiedichte. Bei der Reaktion zu Na_2S_3 (Natriumsulfid) ergibt sich eine theoretische Energiedichte von knapp 800 Wh/kg. Wie Tabelle 2.2.1 zeigt, liegt dieser Wert gut fünfmal höher als beim Bleiakku. Die praktisch erzielbaren Werte sind natürlich wesentlich niedriger, Bild 2.2.1 und Tabelle 2.2.2 geben einen Eindruck. In Bezug auf Energiedichte und Anwendungsbereich könnte nur noch die Metallsulfid-Lithium-Batterie (FeS/LiAl) mithalten, die aber mit 380...450 °C ein noch „heißeres“ System darstellt.

Tabelle 2.2.1. Theoretische Energiedichte einiger Batteriesysteme.

PbO ₂ /Pb	167 Wh/kg
Ni/Fe	260 Wh/kg
Ni/Zn	333 Wh/kg
Cl ₂ /Zn	833 Wh/kg
FeS/LiAl	450 Wh/kg
S/Na	795 Wh/kg
im Vergleich Benzin	12.000 Wh/kg

Noch leistungsfähiger als die heißen Batterien sind die Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzellen, die bei über 1000 Wh/kg liegen — mit einer spezifischen Energiedichte von 33 kWh/kg.

Das NaS-Forschungsprojekt bei BBC geht auf das Jahr 1972 zurück. Mit den heute erreichten 100 bis 120 Wh/kg ist die NaS-Batterie im Energiegewicht dem Bleiakku um den Faktor 4 überlegen, der es auf 25 bis 30 Wh/kg bringt. Im Aufbau

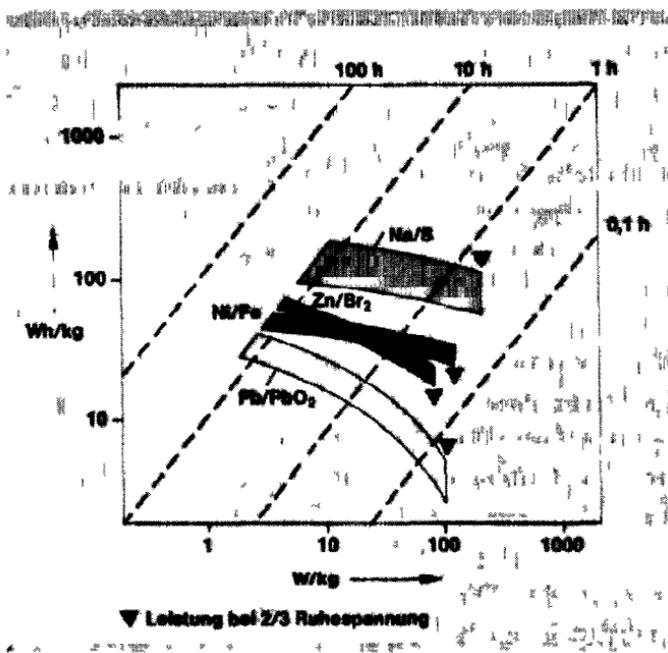


Bild 2.2.1. Energiedichte in Abhängigkeit von der Leistungsdichte (Belastung und Entladezeit) bei verschiedenen Batterien.

Tabelle 2.2.2. Energiedichten, spezifische Leistung und Lebensdauer von Akkumulatoren.

	Energie-Dichte Wh/kg	Spez. Leistung W/kg	Lebensdauer Zykluszahl ^z
Bleioxid-H ₂ SO ₄ -Blei	20 .. 35	20 .. 175	200 .. 2000
Nickel-Eisen	20 .. 45	65 .. 90	2000 .. 5000
Nickel-Cadmium	25 .. 45	200 .. 600	1000 .. 3000
Silberoxid-Zink	50 .. 150	200 .. 400	100 .. 200
Nickeloxid-Zink	60 .. 70	100 .. 200	200 .. 300
Bromkomplex-ZnBr-Zink	65 .. 100	85 .. 120	500 .. 1500
Natrium-Schwefel	85 .. 120	120 .. 180	400 .. >1000

unterscheidet sich die NaS-Batterie wesentlich von bekannten Batterien: Der Elektrolyt ist ein keramischer Festkörper, die

beiden **Reaktanden** sind bei einer Betriebstemperatur von etwa 300 °C hingegen flüssig. Bei dem in Bild 2.2.2 gegenübergestellten Prinzip des bekannten Bleiakkus ist es genau umgekehrt.

Der keramische Elektrolyt der NaS-Zelle trennt den flüssigen Schwefel vom flüssigen Natrium, er läßt Natriumionen durch, ist aber für Elektronen ein Isolator. Beim Entladen der Zelle entspricht dem durch den äußeren Lastwiderstand fließenden Elektronenstrom ein durch den Elektrolyten fließender Natriumionenstrom von der Natrium- zur Schwefelseite, auf der Natriumpolysulfid entsteht. Die Zellenspannung beträgt je nach Ladezustand zwischen 1,78 und 2,08 V im Leerlauf, wobei die Schwefelelektrode den Pluspol (Katode) darstellt. Beim Laden läuft die umgekehrte **Raktion** mit Auflösung des Natriumsulfids und Rückwanderung der Natriumionen.

Am Ladeschluß tritt ein rascher Anstieg von Innenwiderstand und Zellenspannung auf, der ein einfaches Beenden des Ladevorgangs ermöglicht. Ein Gasen wie beim Bleiakku tritt nicht auf, der Lade Wirkungsgrad beträgt praktisch 100 %.

Bild 2.2.3 zeigt die reale Ausführung der zylindrisch aufgebauten Zellen. Der Elektrolyt besteht aus einem einseitig geschlossenen Keramikrohr, das innen mit Natrium gefüllt und außen von Schwefel umgeben ist. Das Ganze ist in einem geschlossenen Becher untergebracht. Sicherheitseinbauten sorgen dafür, daß auch bei einem Keramikbruch nur geringe direkte Reaktionen zwischen Natrium und Schwefel auftreten und die Temperaturerhöhung begrenzt bleibt.

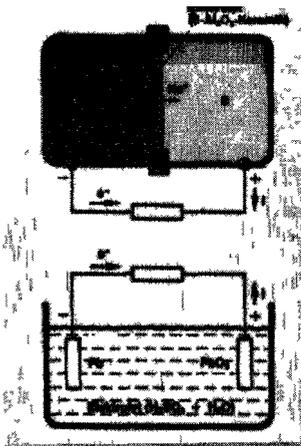


Bild 2.2.2 Funktionsprinzip, oben Natrium-Schwefel-, unten Bleibatterie.

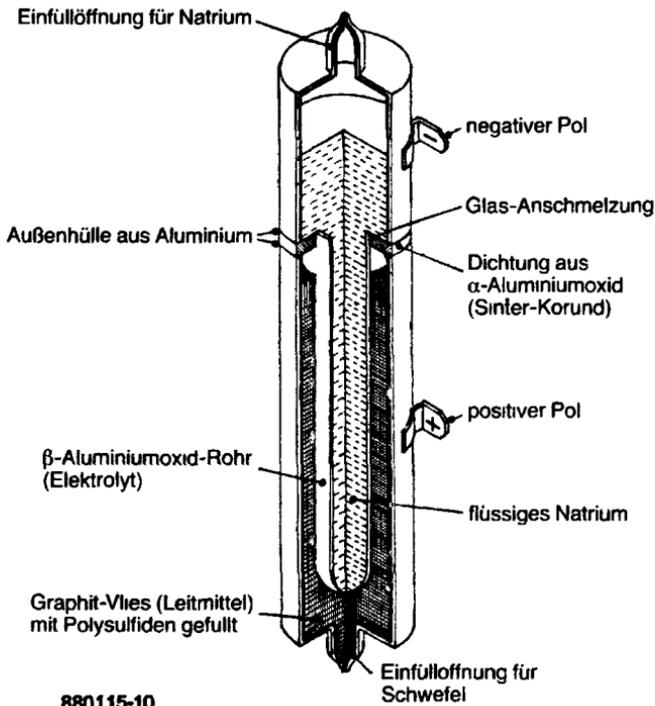


Bild 2.2.3. Aufbau einer Natrium-Schwefel-Zelle.

Die einzelnen Zellen werden in Reihen- und Parallelschaltung zu der gewünschten **Batteriestückung** zusammengestellt. Der im Fahrzeug getestete Prototyp enthält 360 Zellen. Sechs parallelgeschaltete Reihen zu je 60 in Serie geschalteten Zellen ergeben eine Nennspannung von 120 V. Um die Betriebstemperatur von 300 °C mit einem Minimum an Heizleistung aufrechtzuerhalten, ist der Batteriekasten wie eine Thermosflasche doppelwandig mit **Vakuumisolation** ausgebildet, für die Warmhaltung im Stillstand reicht eine (Verlust-)Leistung von 80 W. Die erhöhte Betriebstemperatur hat aber auch den Vorteil, daß die Batterie von der Umgebungstemperatur unabhängig betrieben wird, es gibt also keine „Kaltstartprobleme“. Das er-

ste Aufheizen erfolgt mit Warmluft oder über die eingebauten Heizwiderstände, die auch für die Warmhaltung sorgen. Im Betrieb bleibt die Batterie von alleine warm und muß bei hoher Leistungsentnahme sogar (mit Umgebungsluft) gekühlt werden. Eine vollautomatische „Klimaanlage“ ist für die Temperaturregelung zuständig. Auf der Vorderseite der Batterie in Bild 2.2.4 erkennt man (von links nach rechts): Oben den Pluspol, Minuspol sowie Klemmen für Heizwiderstand, Temperaturmeßstellen und Potentialabgriffe, unten einen Kühlluftteinlaß, den Kühlluftauslaß sowie einen zweiten Kühlluftteinlaß parallel zum linken Einlaß.

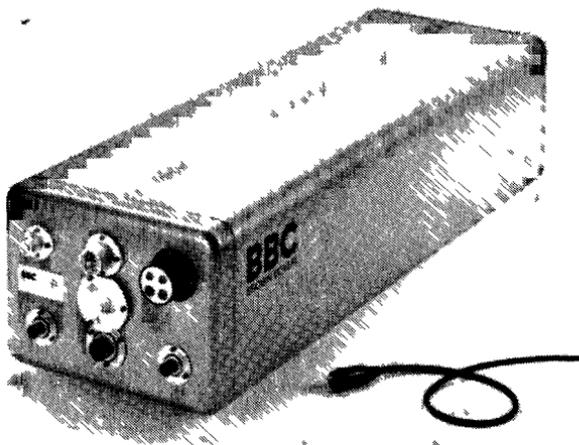


Bild 2 2 4 Entwicklungsmuster einer NaS-Hochenergiebatterie (250 l Volumen, 265 kg, 32 kWh Energieinhalt, 50 kW Spitzenleistung)

NaS-Perspektiven

Versuchsbatterien mit 120 V und 23 kWh Energieinhalt bei 21 kW Nennleistung und 34 kW Kurzzeitleistung wurden von verschiedenen Automobilherstellern erprobt, so bei VW (Jetta)

und BMW (3er-Reihe mit Frontantrieb). Die immerhin 1,4 m lange Batterie mit einem Volumen von 250 l befindet sich dabei längs eingebaut im Kofferraum und ragt in der Mitte bis unter die Rücksitzbank. Die Reichweiten liegen derzeit bei etwa 70 bis 125 km entsprechend 90 km/h bzw. 50 km/h Fahrgeschwindigkeit. Die eingangs erwähnten Leistungsdaten werden mit der verfügbaren „Zielbatterie“ erwartet, deren Daten in Tabelle 2.2.3 aufgeführt sind.

Tabelle 2.2.3. Zieldaten der *BBC-NaS-Batterie*

	ZIEL DATEN	
Abmessungen	1420 x 485 x 360mm	
Lernlaufspannung	220V	170 V
Kapazität	180 Ah	
Innenwiderstand	169 mΩ	
Gewicht	265 kg	
	248 l	
Energieinhalt bei 2-h-Entladung	32kWh	
Maximalleistung (< 2 min)	50kW	
Dauerleistung (80 % Entladung)	33 kW	
Energiedichte 2 h	120 Wh/kg bzw 128 Wh/dm³	
Leistungsdichte (< 2 min)	188 W/kg bzw 200 W/dm³	

Für den praktischen Fahrbetrieb besonders von Vorteil ist die Fähigkeit, hohe Leistungen ohne große Einbußen bei der entnehmbaren Kapazität liefern zu können, die NaS-Batterie ist im Vergleich zum Bleiakku ein „steifes“ System, das außerdem keine Wartung benötigt. Die hermetisch dichten Zellen lassen nur Strom „rein oder raus“ und haben keine elektrochemische Selbstentladung. Für die Serienbatterie wird eine Lebensdauer von 10 Jahren und 1000 vollen Lade-Entladezyklen erwartet. Dies entspricht etwa einer Fahrleistung von 200.000 km. Da die eingesetzten Materialien weder selten noch teuer sind, könnte die Batterie trotz der aufwendigen „Verpackungs- und Klima-

technik“ bei größeren Stückzahlen im Preisbereich zwischen 5.000 und 10.000 DM herzustellen sein.

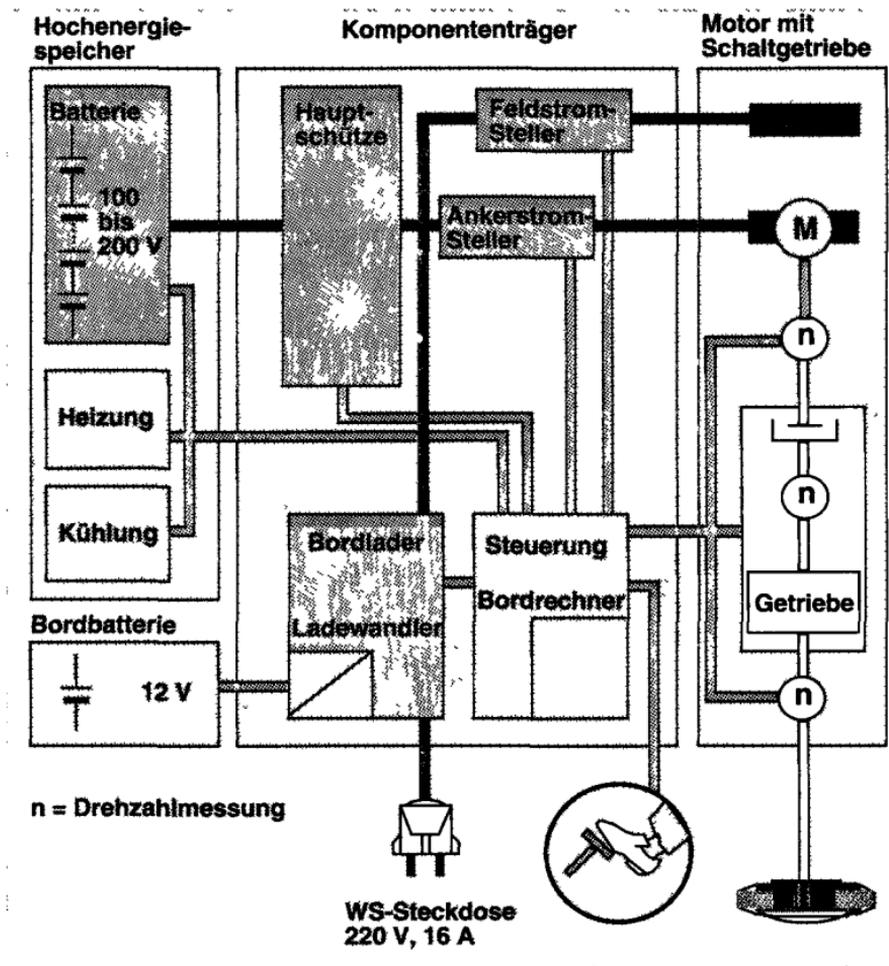


Bild 2.2.5. Funktionsschema des Elektroantriebs mit NaS-Akku. Die elektronische Regelung erlaubt Netzbremmung mit Rückladung des Akkus. | Gleichstrommotor ist fremderregt, zur besseren Drehzahlanpassung ist 2-Gang-Getriebe vorgesehen.

Zink-Brom-Batterie vom Ölmulti

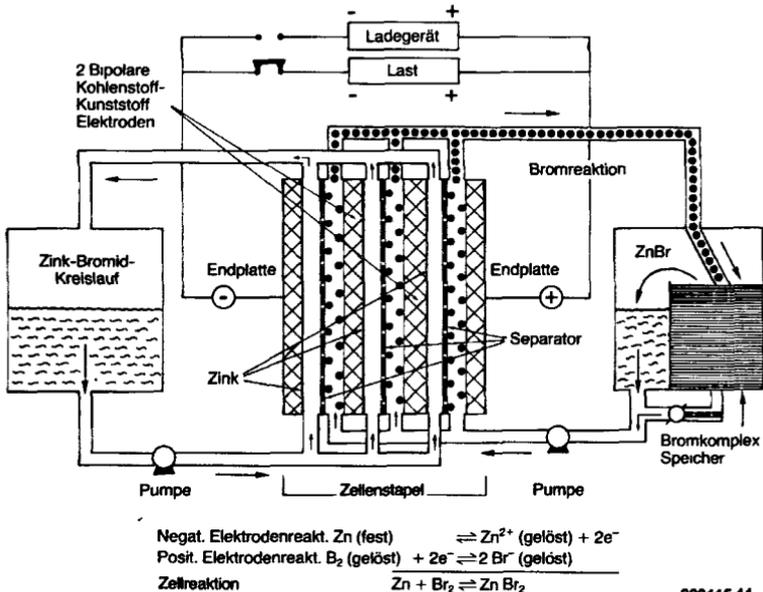
In Konkurrenz zur NaS-Batterie hat sich der hierzulande noch unter dem Namen „Esso“ bekannte EXXON-Konzern mit der Entwicklung der Zink-Brom-Batterie begeben. Europäischer Entwicklungspartner ist seit 1982 die österreichische „Studiengesellschaft für Energiespeicher und Antriebssysteme“ (S.E.A.), weitere Unternehmen in USA, Japan (Toyota) und Australien sind an der Entwicklung ebenfalls beteiligt. Die Batterie arbeitet bei normaler Temperatur, benötigt aber eine umfangreiche Hilfsanlage mit Pumpen für das Umwälzen des flüssigen Elektrolyten. Sie besteht im wesentlichen aus drei Komponenten: Dem Zellenpaket, dem Elektrolyten und den Reservoirs mit Hilfsanlagen.

Beim Laden wird an der Katode ein Zinkfilm abgeschieden, Brom wird an der Anode erzeugt und mittels des organischen Komplexes in einer sekundären Phase im Reservoir gespeichert. Zur Entladung wird der Komplex in Form einer Emulsion wiederum durch das Zellenpaket gepumpt und an der Elektrode entladen.

Die Spannung des Zellenpaketes ist durch die Zellenspannung (1,76 Volt praktisch) multipliziert mit der Anzahl der seriell geschalteten Zellen gegeben.

Zink-Brom-Batterien weisen eine Energiedichte um 60 Wh/kg auf, längerfristig gesehen scheint die Entwicklung von Systemen mit 90 . . . 100 Wh/kg möglich. Die Wh/l liegen im Bereich der Bleibatterie, durch die frei wählbare Gestalt sowie räumlich distanzierte Anordnungsmöglichkeit der Reservoirs ergibt sich jedoch der Vorteil der Nutzung von Toträumen.

Der Wirkungsgrad beträgt bis zu 80 %, wobei eine Lebensdauer von über 2.000 Zyklen möglich sein soll.



880115-11

Bild 2.2.6. Schematische Darstellung einer Zink-Brom-Batterie (nach Ch. Fabjan, K. Kordesch, Dechema Monographien, Vol. 109).

1985 konnte zum ersten Mal mittels einer 4 kWh/48 V-Zink-Brom-Batterie ein Kunststoff-Auto angetrieben werden, 1986 wurde der VW CitySTROMer mit einer 16 kWh/110 V-Batterie vorgestellt. EXXON hat bereits eine 30 kWh/220 V-Batterie gebaut und bei FORD erste Erfahrungen gesammelt.

Noch mehr Hochleistung

Ebenfalls ein System mit umgepumpten Elektrolyten ist die Zink-Chlor-Batterie mit Zinkchlorid als Elektrolyt. Bei der Ladung wird Zink auf einer Graphitplatte abgeschieden, während auf einer zweiten Chlorgas aufperlt. Das Chlor wird durch Kühlung (Kompressorkreis) in eisähnliches festes Chlorhydrat verwandelt und abgetrennt. Das Entladen verläuft umgekehrt unter Nutzung der Zellenwärme für das Zerlegen des Chlor-

hydrats. Die Zellenspannung beträgt etwa 2 V. Die Anwendung dieser Batterie liegt im stationären Bereich, z. B. als Spitzenlastspeicher für EVUs. Zu den Hochtemperatursystemen zählt die bereits erwähnte Metallsulfid-Lithium-Batterie, die bei 380 . . . 450 °C betrieben wird und noch nicht den Entwicklungsstand der **NaS-Batterie** erreicht hat.

In der Satellitentechnik finden **Nickel-Wasserstoff-Akkus** zunehmende Verwendung. Das System besteht aus einer Nickeloxidelektrode mit einer **Wasserstoff-Diffusionsgaselektrode**. Die hermetisch gekapselten Zellen weisen die höchste Zyklenzahl aller bisher bekannten Systeme auf, ein für die Lebensdauer eines **geostationären** Satelliten mit einem Zyklus pro 24 Stunden wichtiger Faktor. Die Zellen sind überladbar und umpolfest, der Ladezustand läßt sich sehr einfach durch Messung des Wasserstoffdrucks ermitteln und überwachen.

In der Gruppe der Metall-Luft-Batterien haben Zink-Luft-Zellen als Hörgerätebatterien (Knopfzellen) praktische Bedeutung erlangt. Für **wiederaufladbare** Großbatterien konnte das Problem der **Karbonatisierung** des (alkalischen) Elektrolyten durch den CO₂-Gehalt der Luft nicht gelöst werden, auch ist die Lebensdauer der Luftertroden zu gering. Luft-Eisen-Zellen scheitern an der zu niedrigen Zellenspannung.

Für Schlagzeilen sorgten schon öfters die **Aluminium-Luft-Batterien**, die Presseberichten zufolge **Elektrofahrzeuge** mit Reichweiten bis über 600 km ermöglichen sollen. Eine Aufladung dieser Batterien ist nicht möglich, weshalb die verbrauchten Aluminiumelektroden ausgewechselt werden müssen. Das gebildete Aluminiumhydroxid läßt sich wieder für neue „**Brennstäbe**“ aufbereiten, so daß sich ein geschlossener Aluminiumkreislauf ergibt. Ein Entwicklungsprogramm im **Livermore Laboratory** in Kalifornien wird von der US-Regierung (DOE) finanziert.

Bei den Brennstoffzellen dominieren Wasserstoff-Sauerstoff-Batterien mit alkalischem bzw. phosphorsaurem Elektrolyten.

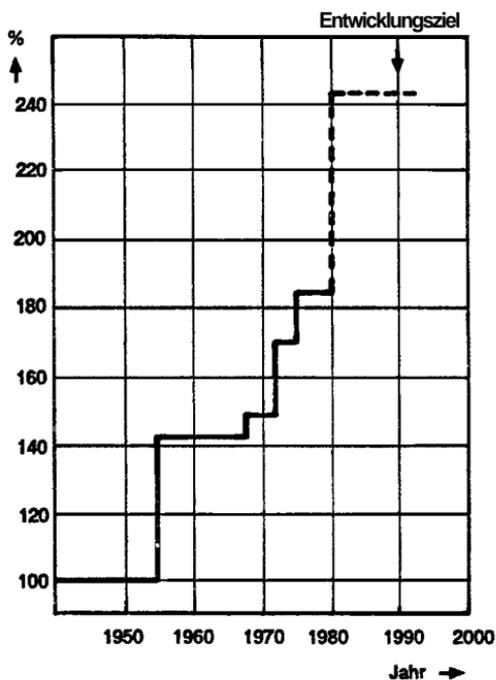
Die für **Raumfahrt** und Militär bereits zuverlässig anwendbaren Systeme sind für allgemeinere Zwecke noch viel zu teuer. Im Spaceshuttle sorgen Brennstoffzellen mit 1,8 Megawattstunden **Energievorrat** für die Stromversorgung, die Leistungsabgabe beträgt insgesamt 21 kW (Dauerleistung) und kurzzeitig 36 kW (Spitzenleistung für 15 min.).

Mit Blei dabei

Trotz der „fortschrittlichen“ neuen Systeme ist der Bleiakku weiterhin die verbreitetste Batterie der Welt — und noch weiter entwicklungsfähig. Neuentwicklungen sind die wartungsfreien, gasdicht verschlossenen Zellen, wartungsarme Ausführungen und Zellen mit umgepumptem Elektrolyten. Wie Bild 2.2.7 aufzeigt, hat sich die Energiedichte des Bleiakkus in den letzten Jahren erheblich steigern lassen. Mit der Technik der Elektrolyt-Durchströmung ist eine weitere Anhebung der Energiedichte möglich. Neuartige Elektrodenanordnungen mit Glasfaserseparatoren sollen ein Gasen verhindern. Die Überladefähigkeit der gasdicht verschlossenen Zellen könnte dann der des **Nicad-Akkus** ähneln. Auch die Tests im elektrischen Straßenverkehr haben wertvolle Erkenntnisse geliefert, so war z. B. die **Batterie-Ausfallrate** bei einem Großversuch mit 40 VW-Transportern viel höher als erwartet. Beim **Elektrobus-Versuchsbetrieb** in Düsseldorf und Mönchengladbach (ab 1974) konnte die mittlere Batterielebensdauer bis auf über 130.000 km mehr als verdoppelt werden, wobei sich die Hochstrom-Zwischenladung an den Endhaltestellen besonders positiv auswirkte.

Solarakkus

Einen neuen Anwendungsbereich hat der Bleiakku bei der Solarstromversorgung gefunden. Als Pufferspeicher zur Überbrückung solarer Flaute werden die Batterien meist für 5 bis 10 Tage ausgelegt, die mittlere tägliche Entladetiefe liegt



880115-8

Bild 2.2.7. Entwicklung der Energiedichte von Blei-Antriebsbatterien mit Prognose für die nächsten Jahre.

dann bei 10 bis 20% der Nennkapazität. Unter diesen Bedingungen erreichen sogenannte „Industriebatterien“ für die professionelle Anwendung mit Selenlegierung (z. B. VARTA bloc) 4.000 bis 4.500 Entladezyklen, entsprechend einer Gebrauchsdauer von etwa 10 Jahren. Für kleine Solaranlagen im privaten Bereich werden Starterbatterien bzw. kostengünstige Solarbatterien in gleicher Technologie, aber mit für den Solarbetrieb optimierten Elektroden und Separatoren verwendet. Diese Konsum-Solarakkus lassen sich je nach Nutzungsgrad etwa 3 bis 5 Jahre betreiben (siehe Bild 2.2.8). Für das Wiederaufladen ist ein Laderegler erforderlich, der Überladung mit zu ho-

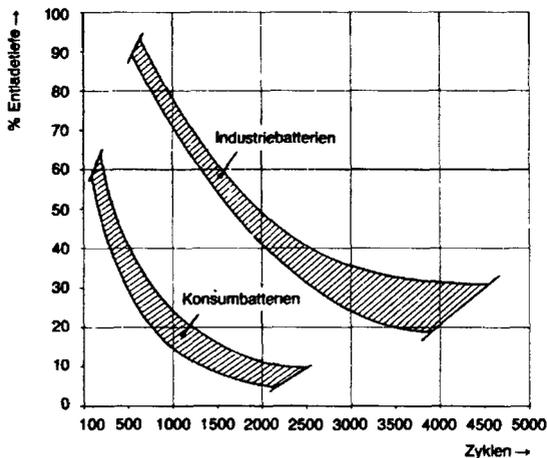


Bild 2.2.8. Zyklenzahl von Solar-Bleibatterien als Funktion der Entladetiefe.

her Spannung verhindert, die Spannungsbegrenzung sollte bei 2,35 bis 2,4 V je Zelle liegen (bei 25 °C).

Regler mit „MPP-tracking“ (maximum power point des Solarpanels) bringen in der Regel keinen Gewinn, da die geladene Batterie die Leistungsaufnahme begrenzt und die Spannung des Systems bestimmt. Für das Entladen ist ein Tiefentladeschutz wichtig, der bei 1,9 bis 1,95 V pro Zelle ansprechen sollte. Nach Erreichen der Gasungsspannung (2,4 V pro Zelle) sollte der Ladestrom 0,5/10 nicht überschreiten. Die Selbstentladung liegt beim modernen Bleiakku mit 3 bis 5 % pro Monat sehr niedrig.

Neue Nicads

Die Kapazität von Nicad-Gerätebatterien konnte in den letzten Jahren weiter verbessert werden, ebenso die Schnelladefähigkeit ohne Ladezeitbegrenzung. Typische NiCd-Mignonzellen haben heute teilweise schon 550 mAh Nennkapazität, eine

Steigerung von über 20 % gegenüber den 450-mAh-Standard-Zellen.

Panasonic hat eine **NiCd-Batteriegeneration** entwickelt, bei der anstelle der positiven Sinterelektrode ein neues Material, geschäumtes Nickelsubstrat, eingesetzt wird. Diese „**Schaum-Metall-Elektrode**“ kann aufgrund der porösen Oberflächenstruktur über 30 % mehr aktives Material (Nickelhydroxyd) aufnehmen, womit eine Kapazitätssteigerung von 30 bis 40 % erreicht wird. Die ebenfalls verbesserte Gasabsorption durch die negative Platte erlaubt eine Schnellladung mit 1 C innerhalb von 60 bis 90 Minuten. In der Größe AA (Mignon) verfügt der Akku (P-70AAS) über eine Nennkapazität von 700 mA und ist mit 0,7 A schnelladefähig.

Die weitere Entwicklung soll eine Kapazitätssteigerung um 60 % bringen. Für den privaten Verbraucher sind aber noch nicht einmal die **30-%-Plus-Akkus** verfügbar: es fehlen die gängigen Batteriegrößen, und selbst die Mignonzelle ist in einem normalen Batteriefach nicht verwendbar, weil sinnigerweise der Kontaktknopf am Pluspol fehlt.

Nickel-Hydrid statt Nickel-Cadmium

Das Batteriesystem von Varta kann in vielen Punkten NiCad-Akkumulatoren ersetzen: das **Ni/H-System**. Die cadmium- und quecksilberfreien Zellen sind nicht umweltschädlich. Die zylindrischen **NH-Zellen** enthalten positive Nickel und negative Hydrid-Speicher-Elektroden, die sich in einem dicht verschlossenen, aber mit einer Drucksicherung am Zellendeckel versehenen Stahlgehäuse befinden. Der Becher dient als negativer, der Zellendeckel als positiver Pol. Kernstück ist die Hydrid-Speicher-Elektrode, die Wasserstoff in fester Form, eben als Hydrid einer Metallegierung, bindet.

Die Metallegierung, die als Wasserstoffspeicher dient, setzt sich aus den fünf Komponenten Titan, Vanadium, Zirkonium, Nickel und Chrom zusammen. Sie sorgt für die drucklose Spei-

cherung von H_2 bei Raumtemperatur, hohe Wasserstoffspeicherkapazität, hohe Oxydationsbeständigkeit (lange Lebensdauer) und günstige kinetische Eigenschaften, das heißt, große Mobilität der Wasserstoffmoleküle und dadurch hohe Lade- und Entladeströme. Ein Vergleich in der Tabelle 2.2.4 mit einer normalen Mignon-NiCad-Zelle weist eine Verdopplung der Kapazität bei ebenfalls verdoppelten Werten für die Ladeströme aus. Die Entladeströme liegen hingegen auf dem Niveau der NiCad-Zellen gleicher Bauform, es wird aber eine höhere Zyklenzahl (Lebensdauer) erreicht. Da der Innenwiderstand bei NiCad unter dem der neuen Zellen liegt, erscheint die Impulsstrombelastbarkeit noch etwas eingeschränkt. Abgesehen davon, daß sich die neuen Zellen sicher noch verbessern lassen, stellt die bessere Umweltverträglichkeit einen großen Fortschritt dar. Das Handicap des höheren Preises könnte durch die (mögliche) Einführung eines Pfandsystems für schwermetallhaltige NiCd-Akkus noch relativiert werden.

Tabelle 2 2 4 Standard-NiCad-Zelle 500 RS und Ni/H-Akku VNH 1,0 von Varta

Parameter	VNH 1,0	500 RS	
Nennspannung	1,2	1,2	V
Nennkapazität	1,0	0,5	Ah
Innenwiderstand	45	35	mΩ
Entladenennstrom	100	100	mA
max. Dauerstrom	5,0	4,5	A
Impulsstrom	10	16	A
Standardladestrom	100	50	mA
Beschleunigtes Laden	200	100	mA
Schnellladen	1000	500	mA
Dauerladen	30 .. 50	15 .. 25	mA
Gebrauchsdauer	1000	500	Zyklen*
Preis (etwa)	7 .. 10	3	DM

*Vollzyklen mit 2-stündiger Ladung/Entladung

Lithium-Akkus

Mit dem Lithium-Ionen-Akku hat Sony ein neuartiges Akkusystem, das Verwendung in Camcordern findet. Ein Akku mit der Bezeichnung NP500 kommt in dem Camcorder CCD-TR8 zum Einsatz. Mit diesem Akku sind nun fast alle Probleme, die mit den bisher verwendeten NC-Akkus (Nickel-Cadmium) auftraten, der Vergangenheit angehören — so die Firma Sony.

Die Elektroden des neuen Akkus bestehen aus einer speziellen Lithiumzusammensetzung. Dadurch wird auch erreicht, daß eine sichere und einfache Handhabung gewährleistet ist. Der hohe Wirkungsgrad des Akkus läßt ein breites Anwendungsspektrum zu, welches vom CD-Player bis zum Elektroauto reichen kann. Dabei wird eine hohe Lebensdauer von weit über 1000 Lade/Entladezyklen erreicht. Bemerkenswert ist die hohe Energiedichte, die den NC-Akku bei gleicher Größe um fast das dreifache übertrifft; bezogen auf das Gewicht speichert der Lithiumakku fast die vierfache Energiemenge. Positiv in der Handhabung wirkt sich die Überladungsfestigkeit sowie das Fehlen des bei NC-Akkus gefürchteten Gedächtnis-Effekts aus. Die Selbstentladung ist um etwa 50 % geringer als bei NC-Akkus, woraus sich dann auch längere Lagerzeiten ergeben. Da der Lithium-Ionen-Akku eine hohe Zellenspannung von 3,6 V aufweist, kann eine Lithium-Akkuzelle drei NC-Akkus ersetzen. Aufgrund der verwendeten Materialien ist die Entsorgung nicht problematisch und belastet daher nicht außergewöhnlich hoch die Umwelt. Das bedeutet aber nicht, daß ein mögliches Recyclen außer acht gelassen werden soll.

Der Li-Akku ist allerdings nicht so spannungsstabil wie der NC-Akku. Die wird aber durch eine höhere Spannung wieder wettgemacht. Die Spannung sinkt mit der Kapazität. Das hat aber den Vorteil, daß eine sehr genaue Kapazitätsanzeige möglich wird. Damit kann die mobile Stromversorgung besser

eingeteilt werden und man vermeidet unnötige Ladevorgänge. Außerdem läßt sich dadurch bei Akkus, die längere Zeit gehalten haben, schnell die noch verfügbare Kapazität feststellen.

Tabelle 2.2.5. Datenvergleich Lithium- zu NC-Akku

Bezeichnung	NP-500	NP-55
Akku-Typ	Lithium-Ionen	NC-Akku
Zellenzahl	2	5
Betriebsspannung	7,2 V	6,0 V
Kapazität	1000 mA/h	1000 mA/h
Selbstentladung nach 6 Monaten	30 %	60 %
Betriebstemp.	0° ... 50°	0° ... 50°
Gewicht	95 Gramm	143 Gramm
Abmessungen (B x H x T)	38,4 x 20,6 x 70,8 (mm)	45,5 x 18,5 x 89 (mm)

Nickel-Cadmium-Akkus werden unterschiedlich abgekürzt geschrieben: NiCd, NiCad, NC, Nicad... Gemeint ist immer nur eines: der Nickel-Cadmium-Akku.

3. Lader für alle Fälle

3.1 Unicad-Lader

NiCd-Batterien werden so preiswert angeboten, daß man sie immer häufiger anstelle von „normalen“ Batterien einsetzen kann. Braucht man jedoch für jede Batterie-Form ein eigenes Ladegerät, dann wird's zu teuer. Wünschenswert ist ein Gerät, das bis zu 20 Mignon-, Baby- oder **Mono-Zellen** laden kann. Ein solches Ladegerät darf nur handelsübliche Bauteile enthalten und muß leicht aufzubauen sein. Nun — ein solches Ladegerät wird hier beschrieben. Ein **Verpolungsschutz** sorgt außerdem dafür, daß der NiCd-Lader keinen Schaden bei verkehrt angeschlossenen Batterien nimmt.

Möchte man mehrere Zellen gleichzeitig aus einer Stromquelle laden, dann können die Zellen nicht ohne weiteres parallel geschaltet werden. Sie werden nämlich nicht alle die gleiche Ladefacharakteristik und möglicherweise auch nicht den gleichen Ladestrom zu Anfang des **Aufladens** haben. Daraus folgt: Nur wenn die Zellen in Reihe geschaltet sind, darf man den Ladestrom vorher genau festlegen. Dieser Ladestrom ist von der Zellenkapazität (in **mAh**) abhängig. Für die meisten Zellen

gilt, daß sie 14 Stunden lang mit einem Strom von einem Zehntel der Kapazität (in mA!) geladen werden müssen. Bei diesem Strom ist übrigens auch eine Überladung (über 14 Stunden hinaus) nicht schädlich. Auch dann nicht, wenn die Zellen vor der Ladung nicht vollständig „leer“ waren. Soll das Ladegerät für alle Zellen-Typen geeignet sein, dann muß man den Ladestrom auf unterschiedliche Werte einstellen können.

Die Schaltung

In Bild 3. 1.1 ist die Schaltung des NiCd-Ladegeräts dargestellt. Die Transistoren T1 ... T3 bilden eine Stromquelle, die einen konstanten Ladestrom zur Verfügung stellt. Diese Quelle liefert nur dann Strom, wenn die NiCd-Zellen richtig gepolt am Ladegerät angeschlossen sind (Plus an + und Minus an -). Die Polung wird von IC1 kontrolliert. Dieser Operationsverstärker untersucht die Polarität der Spannung an den Ausgangsklemmen. Sind die NiCd-Zellen polaritätsrichtig angeschlossen, dann ist Pin 3 von IC1 positiver als Pin 2. Daraus folgt, daß der Ausgang von IC1 positiv ist. In diesem Fall erhält T2 einen Basisstrom, und die Quelle kann einen Ladestrom liefern.

Mit S1 kann man den gewünschten Stromwert wählen. Mit den angegebenen Werten für R6, R7 und R8 lassen sich Ströme von 50 mA, 180 mA oder 400 mA einstellen. Zum Laden von Mignon-Zellen stellt man S1 in Position 1. In Position 2 können Baby-Zellen und in Position 3 Mono-Zellen geladen werden.

Die Funktion der Stromquelle ist einfach erklärt. Die Schaltung muß man als stromgegekoppelt betrachten. Nehmen wir einmal an, daß S1 in Position 1 steht und daß der Ausgang von IC1 positiv ist. In diesem Fall werden die Transistoren T2 und T3 leiten, da ein Basisstrom für T2 fließen kann. Der Strom durch diese Transistoren baut über R6 eine Spannung auf, die wiederum T1 leiten läßt. Nimmt der Strom durch R6 zu, dann wird T1 stärker leitend und reduziert so den Steuerstrom für T2 und T3, die dann weniger leiten. Auf diese Weise wird die

Stromzunahme ausgeglichen. Das Resultat: Ein sehr konstanter Strom durch T3 und die angeschlossenen NiCd-Zellen.

Die Schaltung der Stromquelle enthält zwei LEDs, die über die Arbeitsweise des Ladegeräts Aufschluß geben. Sind die Zellen richtig *gepolt* angeschlossen, dann liefert IC1 eine positive Spannung, und D8 leuchtet auf. Sind die Zellen falsch gepolt angeschlossen, dann wird Pin 2 von IC1 positiver als Pin 3. In diesem Fall liegt der Ausgang des als **Komparator** geschalteten Operationsverstärkers auf Null. Die Stromquelle erhält keinen Steuerstrom. D8 wird nicht aufleuchten. Auch wenn keine Zelle angeschlossen ist, wird dieser Zustand eintreten, da an Pin 2 aufgrund des Spannungsabfalls über D10 eine größere Spannung als an Pin 3 liegt. Nur wenn eine Zelle mit einer „Restspannung“ von mindestens 1 V richtig angeschlossen ist, wird das Ladegerät arbeiten können.

LED D9 gibt an, daß die Stromquelle auch tatsächlich als Stromquelle arbeitet. Das klingt zunächst absurd. Dazu muß man aber wissen, daß die Steuerung durch IC1 nicht ausreicht. Zusätzlich muß nämlich die Spannung über der Stromquelle so groß sein, daß sie den Strom überhaupt stabil halten kann. Das setzt voraus, daß die Betriebsspannung immer etwas größer als die gesamte Spannung über den NiCd-Zellen sein muß. Nur dann liegt genügend Spannung über der Stromquelle. Und als Zeichen dafür, daß die Stromgegenkopplung funktioniert, leuchtet D9 auf.

Die Praxis

In Bild 3.1.2 ist die Platine des Ladegeräts abgebildet. Alle Bauteile, außer dem Netztrafo, haben darauf Platz. Die Verlustleistung von T3 wird über einen Fingerkühlkörper abgeführt. Gerade, wenn nur wenige Zellen angeschlossen sind, wird die Verlustleistung sehr groß sein. Man sollte deshalb einen Netztransformator mit einer „**angezapften**“ Sekundärwicklung verwenden und bei Bedarf mittels S2 auf eine kleinere Wechsel-

Spannung umschalten. Dadurch spart man übrigens auch Energie! LED D9 zeigt in diesem Fall an, ob die kleinere Wechselspannung ausreichend groß ist. Leuchtet D9 auf, dann ist die Sache in Ordnung.

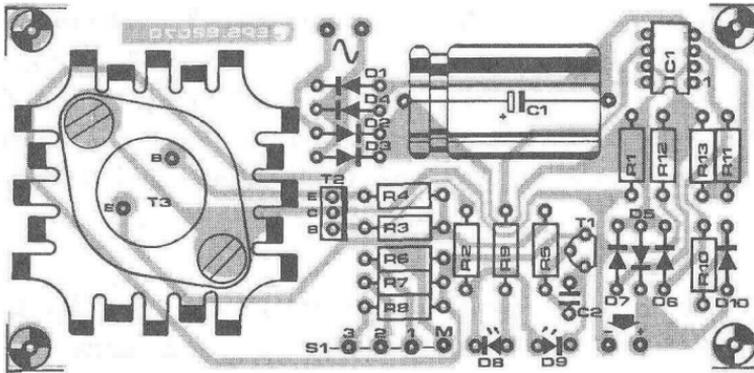


Bild 3 | 2 Mit dem Bestückungsplan ist der Aufbau einfach Transistor T3 muß auf einem Fingerkühlkörper sitzen

Stückliste

Widerstände:

R1, R10, R11 = 10 k
 R2, R3, R5 = 1 k
 R4 = 100 Ω
 R6 = 15 Ω
 R7 = 3,9 Ω
 R8 = 1,8 Ω /0,5 W
 R9 = 820 Ω
 R12, R13 = 100 k

Kondensatoren:

C1 = 1000 μ /40 V
 C2 = 470 pF

Halbleiter:

D1 ... D5 = 1N4004
 D6, D7, D10 = DUS (1N4148)
 D8, D9 = LED grün
 T1 = BC547B
 T2 = BD137
 T3 = 2N3055
 IC1 = 741

außerdem:

Tr1 = Trafo 10 ... 24 V/0,5 A sek.
 S1 = Drehschalter 3 Stellungen
 S2 = einpoliger Umschalter
 Fingerkühlkörper für T3

Wie schon erwähnt, können Mignon-Zellen in Position 1 von S1, Baby-Zellen in Position 2 und Mono-Zellen in Position 3 geladen werden. Die Ladeströme betragen in gleicher Reihenfolge: 50, 180 oder 40 mA. Wünscht man einen anderen Ladestrom, beispielsweise zum Laden eines 9-V-Kompaktakkus, kann einer der Widerstände R6, R7 oder R8 angepaßt werden. Man muß nur 0,7 V durch den gewünschten Ladestrom teilen. Für einen Ladestrom von beispielsweise 100 mA ist ein Widerstand von $0,7 \text{ V} : 0,1 \text{ A} = 7 \text{ } \Omega$ erforderlich. Man kann übrigens Ströme bis zu 1 A aus der Stromquelle ziehen. T3 muß in diesem Fall besser gekühlt, und der Netztrafo muß „verstärkt“ werden. Man kann den Schalter S1 auch mit einer vierten Position ausstatten.

Das Laden der NiCd-Zellen dauert etwa 14 Stunden. Moderne Sinter-Zellen nehmen zwar eine länger dauernde Ladung nicht übel. Aber erstens ist eine solche „Überladung“ sinnlos und zweitens kostet sie unnötig Energie. Eine preiswerte elektromechanische Schaltuhr ist gut geeignet, das Ladegerät nach 14 Stunden auszuschalten.

3.2 High-Tec-Nicad-Lader

Auch einfache Schaltungen sind manchmal unerwartet erklärungsbedürftig. Dazu kommt noch, daß wirklich umfassende praktische Erfahrungen mit drei bzw. vier gebauten Mustergeräten und einer begrenzten Anzahl unterschiedlicher Akkusätze offenbar nicht zu erzielen sind. Inzwischen kann man aber davon ausgehen, daß wirklich umfassende praktische Erfahrungen vorliegen, die auch zeigen, daß Nicad-Akkus je nach Zellengröße, Fabrikat und Vorleben recht unterschiedliche Ladespannungen aufweisen können. Mit den Standardwerten aus den Katalogen kommt man da nicht viel weiter. Der folgende Beitrag trägt zur Klarheit bei.

Zur Schaltung

Das Herz der Schaltung in Bild 3.2.1 ist das Ladeautomatik-IC U2400B von **Telefunken**Electronic (Heilbronn), das inzwischen zumindest im **Elektronik-Versandhandel** gut erhältlich ist. Dieses IC steuert im Normal- und kontrollierten Schnellladebetrieb den automatischen Ladezyklus, der immer erst mit einem zügigen Entladen eventuell vorhandener Restladung beginnt. Dadurch wird ein Aufladen teilentladener Akkus vermieden, so daß ein Gedächtniseffekt, der die Kapazität verringert, gar nicht erst aufkommt.

Die Entladung erfolgt über T2, der vom Entladeausgang Dis (Discharge, Pin 10) mit positiver Spannung über den Spannungsteiler R9/R3 aufgesteuert wird. Der Entladestrom fließt über den Leistungswiderstand R12 in der Kollektorleitung und läßt sich näherungsweise leicht errechnen: Akkuspannung geteilt durch R12. Für Mignons wählt man etwa 1 A.

Während des Entladens überwacht der IC-Eingang U_{\min} (Pin 6) über den Spannungsteiler R2/P2 die Spannung am Akku.

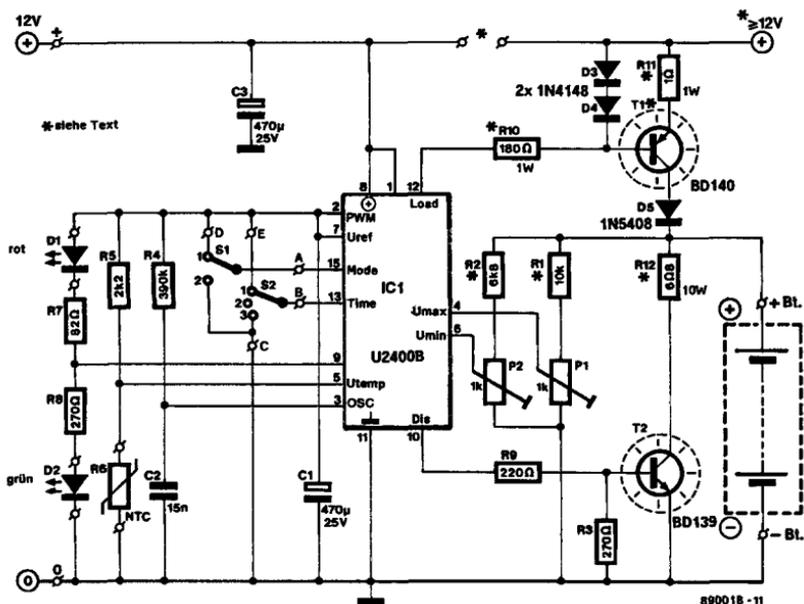


Bild 3.2.1. Herz und vor allem Hirn der Schaltung ist das Ladeautomatik-IC U2400B von Telefunken. Dieses IC steuert im Normal- und kontrollierten Schnellladebetrieb den Ladezyklus. Automatische Vorentladung sorgt für definierte Ladeverhältnisse und verhindert Kapazitätsverlust durch Gedächtniseffekt.

Das Laden beginnt automatisch, sobald vollständige Entladung erreicht ist. Es erfolgt über die Stromquelle mit T1, die vom Ladeausgang des ICs (Load, Pin 12) eingeschaltet wird, wenn dieser auf „Low“ geht. R10 begrenzt dabei den Strom über die Dioden D3/D4, Aufgabe der Dioden ist es, die Basisspannung an T1 (bezogen auf +U_B) konstant zu halten. In der Folge ist die Spannung am Emitterwiderstand und damit der Ladestrom ebenfalls konstant, näherungsweise gilt:

$$I_L = 0,6 \text{ V}/R_{11} \text{ (etwa } 0,6 \text{ A für Mignons bei } R_{11} = 1 \text{ n).}$$

Dieser Strom fließt nur, wenn der Loadausgang Pin 12 kontinuierlich „O“ ist und nicht schaltet (also bei Schnellladung 30/60

min.). Bei 12-stündiger Normalladung macht das IC aber von der Schaltmöglichkeit Gebrauch, um mittels variabler Impulsbreite (PWM) den Mittelwert des Ladestroms zu verringern, ohne die Einstellung der Stromquelle zu ändern.

Während des Ladens überwacht der IC-Eingang U_{\max} (Pin4) über den Spannungsteiler R1/P1 die Spannung am Akku.

Nun zur linken Seite der Schaltung in Bild 3.2.1. Das IC liefert an Pin 7 eine Referenzspannung von nominal 3 V, die mit maximal 10mA belastbar ist. Diese Spannung liegt auch am Entkopplerkapitelko C1 und am PWM-Eingang Pin 2 sowie an den Schaltern S1/S2, am RC-Glied R4/C2, am Spannungsteiler R5/R6 und an den Anzeige-LEDs.

R6 ist ein NTC als Temperaturfühler. Das IC überwacht mit dem Eingang U_{temp} (Pin 5) die temperaturunabhängige Spannung am Spannungsteiler R5/R6 und schaltet bei einer Akkutemperatur von etwa 40 °C den Ladestrom ab (NTC-Widerstand bei 40 °C etwa 440 Ω).

Das RC-Netzwerk R4/C2 bestimmt die Frequenz des über Pin 3 (OSC) angeschlossenen internen Oszillators, der die Zeitbasis für die Ladezeit liefert. Die Funktion der über Pin 9 geschalteten Anzeige-LEDs und der Schalter S1 und S2 an den Eingängen Mode (Pin 15) und Time (Pin 13) ist ein Kapitel für sich.

So funktioniert's

Wegen der vielen Funktionen des U2400 ist es wichtig, alles schön der Reihe nach durchzugehen. Beginnen wir also mit S1 und S2:

- O S2 stellt die Ladezeit ein — siehe Tabelle 3.2.1. In den beiden Schnelladestellungen 30/60 Minuten fließt der volle Ladestrom der Stromquelle T1 (festgelegt mit R11), bei zwölfstündiger Normalladung ein wesentlich kleinerer Strom (siehe „Stromeinstellung“).

- O S1 bestimmt das Verhalten im Fehlerfall (siehe „Fehlerbehandlung“).

Der Funktionsablauf des Ladevorgangs ist unabhängig von der Stellung von S1 (außer im Fehlerfall) und von S2. Wir beginnen mit dem

- O Einschalten:

Bei fehlendem, defektem oder total tiefentladendem Akku leuchtet die rote LED auf. Bei Einlegen eines Akkus mit wenigstens ein Drittel der Nennspannung erkennt das IC an einer Spannung größer 0,2 V an Pin 4, daß ein ladefähiger Akku vorhanden ist. Die rote LED erlischt nach etwa 2 Sekunden, der Lader startet die

- O Entladephase (rote LED blinkt):

Pin 10 wird positiv, T2 leitet und entlädt den Akku über R12. Beendet wird die Entladung, wenn die Spannung am Akku die mit P2 eingestellte Untergrenze unterschreitet. Das IC erkennt auf Entladeende, wenn am U_{min} -Eingang Pin 6 weniger als 0,525 V (+5 %) anliegen. Der Lader startet jetzt sofort die

- O Ladephase (grüne LED blinkt):

Pin 12 geht auf „O“ (ungefähr 0,2 bis 0,8 V), T1 leitet, Ladestrom fließt. Anmerkung: Bei S2 in Stellung 1 wird für zwölfstündige Ladung der Ladestrom gepulst, siehe „Ladestromeinstellung“.

Nach Ablauf der mit S2 eingestellten Ladezeit geht der Lader über in die

- O Erhaltungsladephase (grüne LED leuchtet).

Der Ladestrom wird mit ganz kurzen Pulsen bei größeren Pausen geschaltet, so daß effektiv nur ein sehr kleiner Ladestrom fließt, um die Vollladung bis zur Entnahme der Akkus zu erhalten (zeitlich unbegrenzt).

So weit der normale Ablauf, wenn vom IC kein Fehler erkannt wird. Im Fehlerfall läuft's etwas anders, davon gleich mehr.

Tabelle 3.2.1 Funktion der Schalter S1 und S2.

Stellung S1	Funktion
1	Nach Ende des zweiten „Fehlerereignisses“ wird weiter geladen.
2	Nach Ende des zweiten „Fehlerereignisses“ wird Laden abgebrochen und auf Ladeerhaltung geschaltet.

Stellung S2	Ladezeit	Ladestrom
1	12 Stunden	0,08 x Konstantstrom der Stromquelle
2	30 Minuten	Konstantstrom der Stromquelle
3	60 Minuten	Konstantstrom der Stromquelle

Fehlerbehandlung

In der Schaltung Bild 3.2.1 erkennt das IC während aller drei Phasen (Entlade-, Lade- und Erhaltungsladephase) drei Grenzwertüberschreitungen als Fehler:

1. Überspannung:

Die Spannung am Akku überschreitet die mit P1 eingestellte Obergrenze. Das IC erkennt diesen Fehler, wenn die Spannung an Pin 4 etwa 0,525 V (+5 %) erreicht.

2. Übertemperatur

Die Temperatur am Akku, gemessen durch die Spannung am NTC, übersteigt den durch die Dimensionierung von R5/R6 eingestellten Höchstwert. Das IC erkennt diesen Fehler, wenn

die Spannung an Pin 5 unter 0,525 V (+5 %) absinkt. Der Übertemperatursensor ist zusätzlich gesichert durch

3. Drahtbrucherkennung

Wenn die Leitung zum NTC R6 unterbrochen ist, liegt über R5 die Referenzspannung von +3 V an Pin 5. Das IC erkennt auf Drahtbruch, wenn die Spannung an Pin 5 bis auf eine kleine Hysterese den Wert der U_{ref} erreicht (also etwa 2,95 V).

Sobald einer dieser drei Fehlerzustände erkannt wird, blockiert ds IC sofort den Lade- und den Entladeausgang (Pin 12 wird „High“, Pin 10 „Low“) und den LED-SteuerAusgang Pin 9, so daß beide LEDs dunkel sind. Gleichzeitig wird der Ladezeit-timer gestoppt. Fällt die Fehlerbedingung weg, läuft die zuvor unterbrochene Betriebsphase (z. B. Ladephase) wieder normal weiter, so als ob nichts geschehen wäre. Das IC merkt sich aber, daß schon einmal ein Fehler aufgetreten ist, und ergreift beim nächsten Mal — nach Unterbrechung durch einen zweiten Fehler — Maßnahmen. Welche, das hängt von der Stellung von S1 ab (der erst jetzt eine Rolle spielt).

Hierzu ein Beispiel:

Der Akku wird beim Laden so warm, daß die Temperaturüberwachung an Pin 5 anspricht (Laden unterbrochen, LEDs aus). Der Akku kühlt jetzt langsam ab. Sobald die Temperatur wieder unter dem Grenzwert liegt, wird das Laden fortgesetzt, grüne LED leuchtet wieder auf. Wenn kein weiterer Fehler auftritt, wird jetzt die restliche Ladezeit zu Ende geladen und es folgt die Erhaltungsladephase (die Unterbrechung hat keinen Einfluß auf die Gesamtladezeit). Wenn aber in unserem Beispiel der Akku beim Weiterladen nach einiger Zeit wieder zu heiß wird, weil der Strom mit R11 für den Zellentyp zu hoch eingestellt ist oder die Wohnwagentemperatur schon über 30°C beträgt, tritt der zweite Fehlerfall ein, das IC schaltet die Ausgänge (Pin 9, 10 und 12) wieder inaktiv und unterbricht das Laden. Fällt jetzt zum zweitenmal der Fehler weg (Temperatur erneut abgesunken), wird das Laden nicht wie zuvor normal fortgeführt,

weil jetzt erstmalig die mit S1 eingestellte Fehlerbehandlung abläuft:

O S1 in Stellung 1 (Pin 15 an U_{ref}):

Ladung wird wie nach dem ersten Fehler fortgesetzt, aber: Anzeige des Ladens nach zweimaliger Unterbrechung durch abwechselnd blinkende rote und grüne LED.

O S1 in Stellung 2 (Pin 15 an Masse):

Ladephase wird abgebrochen, Erhaltungsladung eingeschaltet. Anzeige der Erhaltungsladung nach zweimaliger Unterbrechung des Ladens durch Dauerleuchten der roten LED. Siehe hierzu auch die Tabellen 3.2.1 und 3.2.2.

Tabelle 3.2.2. Funktion der LED-Anzeige

rote LED	grüne LED	Stellung S12	Status (Bedeutung)
leuchtet	aus	egal	Nach dem Einschalten: Kein Akku angeschlossen, Akku defekt oder tiefstentladen
blinkt	aus	egal	Entladephase
aus	blinkt	egal	Ladephase
aus	leuchtet	egal	Akku ist geladen
blinkt	blinkt	1	Ladeerhaltung
leuchtet	aus	2	Weiterladen nach 2 Unterbrechungen durch Fehler
			Laden vorzeitig beendet nach 2 Unterbrechungen durch Fehler
			Ladeerhaltung

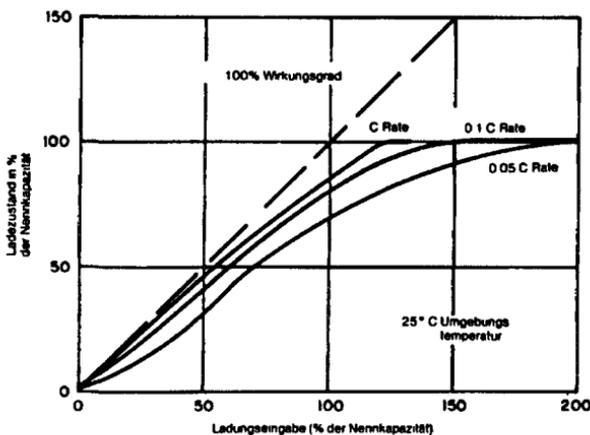
Stromeinstellung

Bei 30 oder 60 min Ladezeit (S2 Stellung 2 oder 3) fließt der volle Ladestrom I_L der Stromquelle. Bei zwölfstündiger Ladung (S2 Stellung 1) sorgt das IC durch das Pulsen des Ladestroms automatisch dafür, daß (als Mittelwert) nur ein Zwölftel des Stroms ($I_L/12$) fließt. Nach dem Umschalten auf

Ladeerhaltung werden die Impulspausen noch länger, so daß nur der 179ste Teil ($I_L/179$) übrigbleibt. Der Wert von I_L ergibt sich aus der

Ladestromdimensionierung (mit R11):

Widerstand R11 in der Stromquelle ist der Nennkapazität der zu ladenden Akkus anzupassen, der volle Ladestrom sollte das 1,2-fache der Nennkapazität betragen. Da der Ladewirkungsgrad bei so hohem Ladestrom über 80 % liegt (gegenüber nur 70 % bei 14-stündiger Normalladung, siehe Bild 3.2.2), erzielt man bei diesem Ladestrom in einer Stunde bereits Vollladung (100 %). Das geht aber nur, wenn — wie bei unserer Schaltung — vollständige Entladung vor dem Laden und zuverlässige Begrenzung der Ladezeit gewährleistet sind. Der Maximalwert des Ladestroms beträgt etwa 1,5 A, mehr verkraftet die Stromquelle mit T1 (BD 140) nicht.



79074 - 5

Bild 3.2.2. Bei höherem Ladestrom verbessert sich der Ladewirkungsgrad. Einige Zyklen mit hohem Lade- und Entladestrom machen müde Akkus wieder munter (der Gedächtniseffekt ist reversibel).

Wird I_L auf 2,1-fache Nennkapazität eingestellt, kann ein (dafür geeigneter) Akku zwar in 30 Minuten geladen werden, in den anderen S2-Stellungen ist aber Überladung möglich. Man sollte dann bei 60-min- oder 12-h-Ladezeit S1 nur in Stellung 2 verwenden.

Ein Berechnungsbeispiel:

Für die beliebten 500-mAh-Akkus (Mignon) beträgt der richtige Ladestrom $500 \text{ mA} \times 1,2 = 600 \text{ mA}$. Für R11 ergibt sich dann $0,6 \text{ V}$ geteilt durch $0,6 \text{ A}$ gleich 1Ω . Bei S2 in Stellung 2 (30 min) werden Mignons nur halb geladen. Bei gut 1 A Ladestrom ($R11 = 0,56 \Omega$) könnte man zwar Mignons in 30 min volladen, dies ist aber nur bei dafür ausgelegten Schnelladeakkus und S1 in Stellung 2 zu empfehlen. Bei zwölfstündiger Ladung (S2 Stellung 1) fließen in unserem Beispiel $600 \text{ mA}/12 = 50 \text{ mA}$, der übliche Wert für problemloses Laden von Mignons, auch ohne automatische Zeitbegrenzung. Bei Erhaltungsladung sind es nur $600 \text{ mA}/179 = 3,3 \text{ mA}$, wovon aber nur etwa 2 mA in den Akku fließen, um ihn fit zu halten — der Rest geht über R2, R3 und die Trimmer gegen Masse „verschütt“.

Etwas andere Kriterien gelten für die

Entladestromdimensionierung (mit R12):

Wegen Gedächtniseffekt und zügigem Ablauf ist ein hoher Entladestrom angebracht, wir empfehlen die Dimensionierung mit einem Wert von etwa der doppelten Nennkapazität. Bei Mignons also $0,5 \text{ A} \times 2 = 1 \text{ A}$. Für die Berechnung des Widerstands R6 ist die Akkuspannung maßgeblich, man rechnet mit $1,2 \text{ V/Zelle}$. Damit ergibt sich z. B. für einen Entladestrom von 1 A bei 4 Zellen: $4 \times 1,2 \text{ V}/1 \text{ A} = 4,8 \Omega$. Gewählt wird der nächste Normwert $4,7 \Omega$. Für Mignons (0,5 Ah) finden Sie in Tabelle 3.2.3 schon die passenden Werte.

Tabelle 3.2.3. Dimensionierung der Spannungsteiler in Bild 3.2.5.

Zellen- zahl		1	2	3	4	5	6	7	8
R12 für 0,5 Ah		1 Ω	2Ω2	3Ω3	4Ω7	5Ω6	6Ω8	8Ω2	10 Ω
Bild 5a	R1	1 k	2k2	4k7	6k8	10 k	10 k	10 k	10 k
	P1a	320	450	350	330	250	370	460	530
	P1b	680	550	650	670	750	630	540	470
Bild 5b	R2	580	1k2	2k7	3k9	6k8	6k8	6k8	6k8
	P2a	170	420	350	350	170	310	410	480
	P2b	830	580	650	650	830	690	590	520
Bild 5c	R1	1k91	4k87	7k87	10k7	13k7	16k5	19k6	23k7
	Ra	1k							
Bild 5d	R2	887	2k74	4k64	6k49	8k45	10k2	12k1	14k0
	Rb	1k							

Spannungseinstellung

Beim Laden mit konstantem Strom brauchen wir uns um die Ladespannung nicht zu kümmern, sie stellt sich von alleine am Akku ein. Dennoch gibt es drei Spannungswerte in Abhängigkeit von der Akkuspannung festzulegen: Die Betriebsspannung der Stromquelle und die Grenzwerte für die Entladeschluß- und Überspannungserkennung.

Die Betriebsspannung der Stromquelle muß um etwa 4 V höher sein als die Akkuspannung, wobei für die Berechnung die Zellenspannung mit 1,5 V angesetzt wird. Daraus folgt, daß mit 12 V Betriebsspannung maximal 5 Zellen geladen werden können, für 6 Zellen wären 12 V bei ungünstigen Toleranzen schon nicht mehr ausreichend. Wenn Sie mehr Zellen laden möchten, erhöhen Sie die Spannung für die Stromquelle entsprechend um 1,5 bis 2 V pro Zelle. Das IC bleibt aber an 12 V, indem man die „+“-Leiterbahn, wie im Schaltplan angegeben, auftrennt und an D3 und R11 die höhere Betriebsspannung der Stromquelle anschließt. Die Spannung für die Stromquelle braucht nicht auf-

wendig stabilisiert zu werden, muß aber den maximalen Ladestrom liefern können. Auf der **12-V-Seite** liegt der Stromverbrauch dann unter 100 mA. Die Entladeschlüßerkennung ist bei **NC-Akkus** zuverlässig durch Messen der Entladespannung möglich. Nach weitgehend stabilem Verlauf fällt die Spannung bei Entladeschlüß steil ab. Für sicheres Abschalten kann man daher mit P2 einen niedrigen Wert von **etwa 0,8 V** pro Zelle einstellen. Bei Bedarf kann der Wert noch niedriger liegen, wegen des steilen Spannungsabfalls wird dann immer noch rechtzeitig abgeschaltet. Der Grund für niedrige Entladeendspannung: der hohe Entladestrom verursacht auch höhere Spannungsabfälle an Batteriekontakten und am Innenwiderstand, dadurch kann die Spannung auch fast voller Akkus bei nur 1 V pro Zelle liegen. Am meisten Kopfzerbrechen bereitet die

Überspannungserkennung (mit P1):

Im Gegensatz zur Einstellung mit P2 („**Akku-leer-Erkennung**“) kann die Ladespannungsüberwachung mit P1 den Ladezustand des Akkus nicht feststellen und deshalb auch nicht dazu dienen, den Ladevorgang bei Volladung zu beenden. Dafür ist ausschließlich die Zeitüberwachung (Ladetimer) zuständig. Der Grund dafür liegt in der „Unzuverlässigkeit“ der Ladespannung. Wie Bild 3.2.3 zeigt, steigt die Zellenspannung gegen Ladeende zwar deutlich an, der Spannungswert bei Erreichen der Volladung hängt aber von zu vielen Faktoren ab, besonders von Temperatur, Ladestrom und Innenwiderstand — und damit auch von Nennkapazität, Fabrikat und Lebenslauf des Akkus. Eindeutiger wäre da der (mangels Sensor nicht meßbare) Innendruck des Akkus, auch der Temperaturanstieg ist relevant, aber leider etwas zeitverzögert. Als Überladeschutz ist der Temperaturfühler besser geeignet als die Überspannungsüberwachung, da die Zellenspannung bei Überladung sogar abnimmt — siehe Bild 3.2.3.

Sinnvoll erscheint die **U_{\max} -Kontrolle** hingegen zur Erkennung von Fehlern, bei denen ein zu hoher Widerstand hohe Ladespannung verursacht. Das kann ein schlechter Kontakt im Bat-

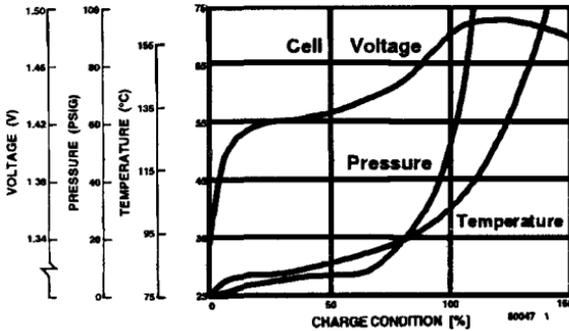


Bild 3.2.3. Typischer Verlauf von Spannung Innendruck und Zellentemperatur beim Laden. Eine spannungsabhängige Abschaltung bei Vollladung ist nicht zuverlässig möglich, und der viel steilere Druckanstieg ist leider nicht auswertbar. Der Lader verwendet daher Zeitsteuerung mit Vorentladung und zusätzlicher Temperatur- und Spannungskontrolle.

terierhalter sein oder zu hoher Akku-Innenwiderstand, weil der Akku zu kalt oder zu alt und lädiert ist. Theoretisch ist P1 dann optimal eingestellt, wenn während der regulären Ladezeit gesunder Akkus (gerade) keine Fehlerauslösung erfolgt, wohl aber bei Ladezeitüberschreitung um 10...20%. In der Praxis ist das wegen der erwähnten Faktoren (wie Temperatur) illusorisch. Der Auslösewert sollte wenigstens 1,55 V pro Zelle sein oder sogar 1,65 V, jedenfalls so hoch, daß bei gesunden Akkus, gutem Batteriehälter und normaler Temperatur (um 20 °C) die Ladezeiten ohne Unterbrechung durch Überspannungserkennung durchlaufen.

Mit und ohne Abgleich

Bei der Dimensionierung in Bild 3.2.4 sind mit P1 Überspannungsgrenzwerte größer 5,5 V und mit P2 Entladeschlußwerte größer 3,9 V einstellbar — also für 4 oder mehr Zellen. Bei mehr als 12 Zellen sollte man für P1 und P2 einen Wert von

500 Ω nehmen, bei weniger als 4 Zellen (ab 1 Zelle) 10 k Ω . Der Abgleich ist in Tabelle 3.2.4 genau angegeben.

Tabelle 3.2.4. Abgleich von P2 und P2

1. D3 und D4 mit Krokoklemmen-Kabel überbrücken (kurzschließen), um T1 (Stromquelle) zusperrern.
2. Betriebsspannung des Laders einschalten.
3. Anstelle des Akkus ein einstellbares Netzteil anschließen. Pro Zelle 0,8 ... 0,9 V einstellen, bei 4 Zellen also etwa 3,5 V (am Netzteil einstellen).
4. P2 so einstellen, daß die Spannung am Schleifer 0,5 V beträgt. Das ist die Spannung, bei dem das IC von Entladen auf Laden umschaltet.
5. Spannung am Regelnetzteil auf 1,55 bis 1,7 V pro Zelle einstellen, bei vier Mignonzellen auf etwa 6,5 V.
6. P1 so einstellen, daß am Schleifer des Potis 0,5 V anliegen. Das ist die Spannung, bei der das IC auf Überspannungsfehler erkennt. Abgleich beendet.

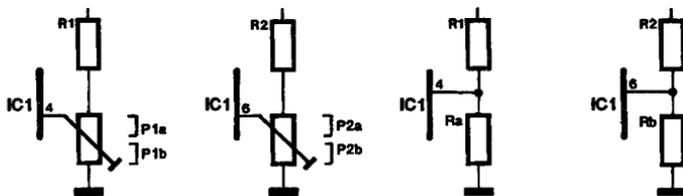


Bild 3.2.4. Spannungsteiler entsprechend der Dimensionierung in Tabelle 3.2.3.

Es geht auch ganz ohne Abgleich: Für 1 bis 8 Mignonzellen findet man in Tabelle 3.2.3 eine Dimensionierung mit Festwi-

derständen, wobei jedes Trimpoti durch 2 Festwiderstände (wie gezeichnet) ersetzt wird. Man kann die Teilwerte natürlich auch zum Ausmessen der richtigen Trimpotieinstellung mit dem Ohmmeter benutzen.

Tips und Tricks

Zuerst einige Hinweise zur Bestückung der Platine (Bild 3.2.5): R12 zur besseren Kühlung mit etwas Abstand von der Platine montieren. Fassung für IC1 verwenden, T1 und T2 kühlen. Bei Verwendung eines gemeinsamen Kühlkörpers oder der Gehäuserückwand zur Kühlung, sind die Transistoren zu isolieren.

Bei den Zuleitungen zum Akku und den Kontakten des Batteriehaltes besonders auf niedrige Übergangswiderstände achten.

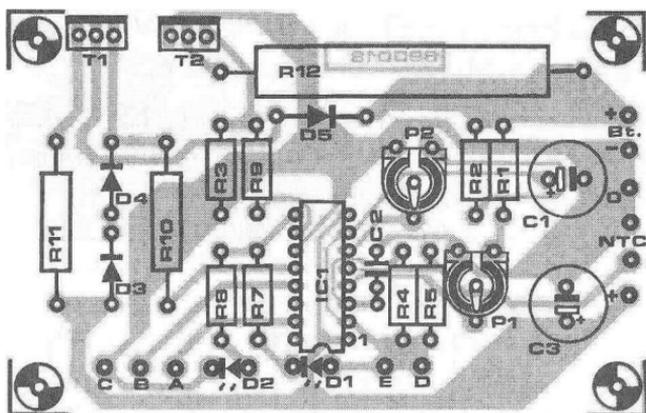


Bild 3.2.5. Die sehr komplexe Platine des High-Tec-Laders.

Wenn (aus welchen Gründen auch immer) überladen wird, bewahrt der NTC vor Schaden durch Überhitzung. Rechtzeitiges Abschalten setzt innigen thermischen Batteriekontakt voraus. Wenn der NTC nicht fest in den Batteriehalter eingebaut ist, schließt man Fühler wie Akkus über eine Steckverbindung

(z. B. Bananenstecker und Buchsen) an den Lader an und platziert den NTC zwischen den Akkus, zusätzlich kann Klebeband zur Befestigung dienen. Ohne NTC (z. B. bei Leitungsunterbrechung) wird nicht geladen (siehe „Fehlerbehandlung“).

Stückliste

Die mit ** gekennzeichneten Werte gelten für 4 Mignonakkus (0,5 Ah) und sind bei anderen Zellenzahlen und Akkukapazitäten zu ändern (siehe Text und Tabellen). Zu den mit * gekennzeichneten Werten gibt es Hinweise im Artikel.

Widerstände:

R1 = 10 k**
 R2 = 6k8 **
 R3, R8 = 270 Ω
 R4 = 390 k*
 R5 = 2k2*
 R6 = NTC 1300 Ω * (Valvo/Philips Typ 2322 610 - 12132 od. - 11332)
 R7 = 82 Ω
 R9 = 220 Ω
 R10 = 180 Ω /1 W *
 R11 = 1 Ω /1 W **

R12 = 6,8 Ω /10 W **
 P1, P2 = 1-k-Trimpoti *

Kondensatoren:

C1, C3 = 470 μ /25 V
 radial C2 = 15 n *

Halbleiter:

D1 = LED rot (3 mm)
 D2 = LED grün (3 mm)
 D3, D4 = 1 N 4148 *
 D5 = 1N5408
 T1 = BD140 *
 T2 = BD139
 IC1 = U2400B (Telefunken electronic)

außerdem:

S1 = Schalter 1 x um
 S2 = Schalter 1 x um mit Mittelkontakt
 Kühlbleche für T1, T2 *

Andere NTC-Werte:

Anstelle des Valvo-Philips-NTCs (1300 Ω bei 25 °C) kann man auch andere Standard-NTCs mit gleichem oder höherem Widerstand verwenden, z. B. den Siemens-Typ K164 mit 1k5 oder 2k2. Man muß dann den Widerstand bei rund 40°C ermitteln (Datenblatt oder messen) und R5 entsprechend anpassen. Da bei 40 °C die Spannung am NTC 0,5 V betragen soll, müssen an R5 dann 2,5 V abfallen (3 V – 0,5 V). Damit ist klar: R5 muß einfach nur 5 mal so groß sein wie der 40 °C-Wert von R6.

Beispiel: $R_{6(40^{\circ}\text{C})}$ beträgt (bei einem 3k3-NTC) etwa 1200 Ω . Der passende R5 ist dann 6000 Ω , Normwert 5k7. Man kann aber auch einfach für R5 ein Trimpoti nehmen (etwa 5 x NTC-Nennwert), den NTC gut isoliert in ein 40 $^{\circ}\text{C}$ -Badhängen und mit dem Poti eine Spannung von 0,525 V (+5 %) am NTC einstellen. Vorteil: Funktioniert mit jedem NTC und ist am genauesten.

Zur Funktionskontrolle nach dem ersten Einschalten sollte man U_{ref} überprüfen (3 V an C1). Die Einstellung laut Tabelle 3.2.4 geht auch bei abgeschaltetem Lader und aus der Fassung gezogenem IC. Man mißt die Spannung (0,525 V) dann direkt an der IC-Fassung (Pin 4 und 6) ein und braucht D3/D4 nicht zu brücken. Der tatsächlich fließende Ladestrom kann in der Akkuzuleitung gemessen werden, zur Kontrolle der Stromquelle mißt man aber besser die Spannung an R11 (etwa 0,6 V). Der über R11 fließende Strom ist gleich der Spannung an R11 geteilt durch den Wert von R11. Falls erforderlich, R11 für den Soll-Strom anpassen. Immer bei S2 in Stellung 2 oder 3 messen!

Für höhere Ladeströme als 1,5 A müssen einige Bauteile angepaßt werden (T1 = BD438, D3, D4 = 1N4150, R10 je nach Spannung an der Stromquelle 150...220 Ω).

Wenn das IC auf Störimpulse empfindlich reagiert, hilft ein Entkoppeln mit kleinen Elkos (1...10 μF) und parallelen Keramik-Cs (10...100 nF) an den Potis P1 und P2 sowie an R6.

Ein genauer Abgleich oder auch eine Änderung der Ladezeit ist mit den Werten von C2 oder R4 möglich — größerer Wert gleich längere Zeit (und umgekehrt). Zum „Resetten“ der Schaltung nimmt man die Akkus heraus oder schaltet aus und wieder ein. Stark tiefentladene Akkus müssen erst über einen Widerstand ein bißchen auf Spannung gebracht werden, weil sonst beim Einschalten auf „kein Akku“ erkannt wird (rote LED leuchtet). Ansonsten ist die Schaltung in der Handhabung

wirklich problemlos: Akkus einlegen, Ladezeit mit S2 wählen und Einschalten. Alles weitere geht jetzt automatisch!

3.3 Super-Hightech-NiCad-Lader

Diese Schaltung vereinigt die hervorragenden Eigenschaften verschiedener NiCd-Lader. Herausgekommen ist dabei ein Gerät, das jetzt (hoffentlich) allen verschiedenen Ansprüchen genügt.

Technische Daten

Ladeprozessor mit U2400B

- Kapazitätserhaltung durch definierte Schnellentladung mit einstellbarer Restspannung
- Konstantstrom-Schnellladung in vorgegebener Zeit (30 min, 1 h, 2 h, 4 h, andere Zeiten optional)
- Automatischer Übergang in Erhaltungsladung
- Fehlererkennung (Temperatur, Überspannung)
- Betriebsanzeige

Schaltregler mit LT1070

- Betriebsspannung aus Autobatterie oder ungestabilisiertem Netzteil (Trafo/Gleichrichter/Elko) 10... 14 V
- Maximale Ausgangsleistung 25 W
- Anzahl der Zellen einstellbar 1... 10
- max. Ausgangsspannung 18 V
- Lade-/Entladestrom einstellbar auf 500, 600, 800, 1200, 1400, 1800 mA
- höherer Strom möglich

Der Ladeprozessor

Das Herz der Schaltung ist das Ladeautomatik-IC **U2400B** von Telefunken **electronic**, das an anderer Stelle in diesem Buch ausführlich beschrieben ist. Dieses IC steuert einen automatischen Ladezyklus: Wenn der oder die Akkus angeklemt sind, erfolgt immer erst ein zügiges Entladen eventuell vorhandener Restladung bis zu einer wählbaren minimalen Spannung. Danach wird der Akku so lange geladen, bis eine einstellbare Zeitspanne abgelaufen ist. Dann geht der Prozessor in den Modus Erhaltungsladung über, der unbegrenzt andauert und verhindert, daß die Kapazität der Akkus durch Selbstentladung wieder langsam abnimmt.

In diesen Prozeß sind einige Sicherungen eingebaut: So überprüft das IC die Temperatur der Akkus und deren Spannung während des Ladens. Übersteigt die Temperatur einen Maximalwert oder liegt die Akkuspannung über einem vorgegebenen Maximalwert, bricht der laufende Zyklus ab und das IC wartet im **Stand-By-Modus**, bis die Grenzwertüberschreitung nicht mehr vorliegt. Anschließend setzt es das Laden fort, wechselt aber die Funktionsanzeige (dazu gleich mehr) oder bricht (wahlweise) das Laden ab und geht in das Erhaltungsladen über.

Das Flußdiagramm in Bild 3.3.1 verdeutlicht diese Abläufe. Nach Power-up-Reset und Einlegen der Akkus geht das IC in den Entladezyklus, in dem die Parameter Zelltemperatur ($T > T_{\max}$) und Unterschreitung der **Entladeschlußspannung** ($U > U_{\min}$) überprüft werden. Sinkt die aktuelle Akkuspannung bis auf diese Entladeschlußspannung ab, merkt sich das IC, daß die Entladung abgeschlossen ist (Entladespeicher setzen) und geht in den Lademodus über. In diesem Zyklus wird die eingestellte Zeit ($t > t_{\max}$), die Akkuspannung ($U < U_{\max}$), der Status des Entladespeichers und ebenfalls die Temperatur abgefragt.

Nach Ablauf der eingestellten Zeit ($t > t_{\max}$) wird der Ladezyklus verlassen und der Erhaltemodus wird aktiv. Tritt einer der beschriebenen Fehler auf (Zellenspannung oder Temperatur zu hoch), wird der aktuelle Zyklus unterbrochen, der Stand des Fehlerzählers um 1 erhöht und überprüft, ob nicht schon vorher ein Fehler aufgetreten ist (Fehlerzähler $Z < 2$). Nach dieser Bestätigung erfolgt erneute Temperatur- und Spannungsabfrage, der Ladezyklus wird fortgesetzt oder beendet. Wenn der Fehlerzähler Stand 2 erreicht hat, entscheidet die Stellung eines Schalters (S1) über den weiteren Ablauf (weiterladen oder abbrechen).

Damit wären wir auch schon beim Teilschaltbild 3.3.2. Die erstaunlichen Fähigkeiten des ICs werden nur von einer Handvoll Bauteile unterstützt. Während des Entladens überwacht Eingang U_{\min} (Pin 6) über den umschaltbaren Spannungsteiler R35...R43/R3/P2 die Spannung am Akku. Der Entladeausgang Dis (Discharge, Pin 10) ist aktiv (positiv). Das Entladen ist beendet, wenn die Spannung an Pin 6 unter die interne Referenz von 0,53 V sinkt. Beim Laden wird der Ladeausgang (Load, Pin 12) aktiv (positiv). Dabei kontrolliert der IC-Eingang U_{\max} (Pin 4) über den Spannungsteiler R35...R43/R2/P1 die Spannung am Akku. Übertrifft die Spannung an Pin 4 die interne Referenz von 0,53 V, geht der Ladeprozessor in den **Stand-By-Modus** über.

Damit man beim Gebrauch des Akku-Laders nicht im Unklaren über den aktuellen Stand der Dinge gelassen wird, verfügt das IC über einen Ausgang (Status, Pin 9) für eine Funktionsanzeige, an die zwei LEDs angeschlossen werden. Tabelle 3.3.1 zeigt, welche LED bei welcher Funktion leuchtet, blinkt oder dunkel bleibt. Das IC liefert an Pin 7 eine Referenzspannung von nominal 3 V. Diese Spannung liegt auch am PWM-Eingang Pin 2 sowie am Schalter, am RC-Glied R4/C2, am Spannungsteiler R5/R6 und an den Anzeige-LEDs.

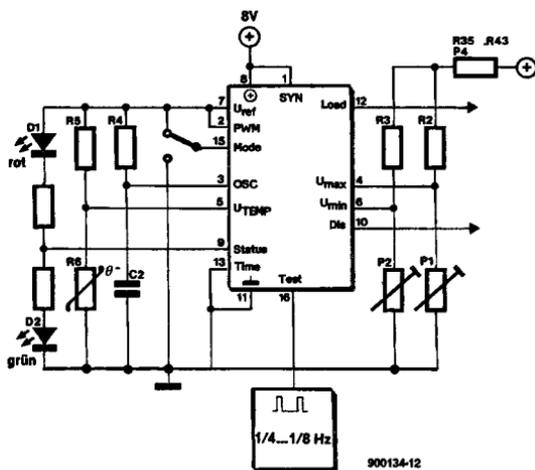


Bild 3 3 2. Basiskonfiguration mit dem U2400B

Tabelle 3 3 1.

rote LED 1	grüne LED 2	S1*)	Bedeutung
an	aus	x	Nach dem Einschalten: Kein Akku angeschlossen; Akku defekt oder tiefstenladen
blinkt	aus	x	Entladephase
aus	blinkt	x	Ladephase
aus	an	x	Ladeerhaltung
blinkt	blinkt	E	Weiterladen nach 2-maliger Unterbrechung
an	aus	D	Ladeerhaltung nach 2-maliger Unterbrechung

*) Stellung S1:
x = beliebig
E = an U_{ref} (Pin 7/IC-1)
D = an Masse

Das erwähnte **RC-Glied** R4/C2 ist der frequenzbestimmende Teil der über Pin 3 (OSC) angeschlossenen internen Oszillatorschaltung. R6 ist ein NTC als Temperaturfühler. Das IC überwacht mit dem Eingang U_{temp} (Pin 5) die temperaturabhängige Spannung am Spannungsteiler **R5/R6** und schaltet bei einer Akkutemperatur von etwa $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ den Ladestrom ab (NTC-**Widerstand** bei $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ etwa $440\ \Omega$). Die Stellung des Schalters **S1** an Pin 15 entscheidet darüber, ob nach zweimaliger Fehlererkennung (mit Ladungsunterbrechung) das Laden fortgesetzt (Schalter an U_{ref}) oder durch Umschalten auf Ladeerhaltung beendet wird (Schalter an Masse).

Zur Zeiteinstellung: Die **Beschaltung** des Zeiteingangs (Time, Pin 13) legt die Ladezeitvorgabe des IC-internen Timers fest. Wenn der interne **200-Hz-Oszillator** den Takt für diesen Timer (und alle übrigen IC-Funktionen) liefert, beträgt die Ladezeit eine Stunde, wenn Pin 13 an Masse liegt und 30 Minuten, wenn der Anschluß **unbeschaltet** bleibt. Der Ladezeit-Timer kann auch durch ein externes Taktsignal an Pin 16 gesteuert werden, für die übrige Ablaufsteuerung ist dann aber weiterhin der interne 200-Hz-Oszillator erforderlich. Liegt an Pin 16 ein **0,5-Hz-Signal** an, entspricht das ebenfalls einer Ladezeit von einer Stunde (Pin 13 an Masse). Die Zeit verdoppelt sich bei 0,25 Hz und vervierfacht sich bei 0,125 Hz. Den externen Takt erzeugt im großen Schaltbild (Bild 3.3.8) ein 4060, ein **14-bit-Binärzähler** mit eingebautem Oszillator. R11, R12, P3 und C4 legen die Oszillatorfrequenz auf etwa $100 \dots 150\text{ Hz}$ fest; an den Ausgängen Q8 und Q9 liegen dann die erforderlichen 0,25 bzw. 0,125 Hz. Auf diese Art und Weise können auch mehrere große Akkus (Baby- und Monozellen) gleichzeitig geladen werden.

Zur Ladungserhaltung nach dem Ladevorgang wird der Ladeausgang Load nicht permanent, sondern nur gepulst eingeschaltet. Das Tastverhältnis beträgt $1 : 179$, so daß der Erhaltungstrom bei einem eingestellten Ladestrom von beispielsweise 1800 mA nur etwa 10 mA beträgt.

Laden

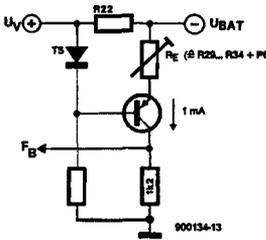


Bild 3.3.3: Ein Teil des Ladestrom-Regelkreises. Hier wird eine dem Ladestrom proportionale Spannung an F_B erzeugt.

= $I_{\text{load}} \times R_{22}$ abgegriffen werden kann. Etwas verwirrend ist auf den ersten Blick die Tatsache, daß das Potential der negativen Batterieklemme höher ist als das der positiven Versorgungsspannung. Durch den als Diode geschalteten Transistor T5 liegt am Emitter von T6 Versorgungsspannungspotential, so daß am Emitterwiderstand R_E (R29... R34, P6) die gleiche Spannung abfällt wie über R22:

$$U_{R2} = U_E = I_{RE} \times R_E.$$

Ein Beispiel: Legt man den Meßwiderstand auf $0,1 \Omega$, den Ladestrom auf 1 A und den Strom durch den Transistor auf 1 mA fest, ergibt sich folgendes Bild: An R22 fallen $U_{R22} = 0,1 \Omega \times 1,0 \text{ A} = 100 \text{ mV}$ ab. So kann der Emitterwiderstand mit $R_E = 100 \text{ mV} / 1 \text{ mA} = 100 \Omega$ berechnet werden. Auch die Kollektorspannung steht damit fest: Sie beträgt nämlich $U_C = 1200 \Omega \times 1 \text{ mA} = 1,2 \text{ V}$. Eine Änderung des Ladestroms hat somit eine proportionale Änderung der Spannung am Punkt F_B

Anders als bei früheren Schaltungen mit dem U2400B steuern die Lade- und Entladeausgänge nicht direkt einen Transistor, sondern arbeiten mit Regelkreisen zusammen. Bild 3.3.3 zeigt den Schaltungsteil, der das Laden mit einem Konstantstrom ermöglicht.

Der Ladestrom fließt über den Meßwiderstand R22, an dem eine dem Ladestrom proportionale Spannung U_{R22}

zur Folge. Diese Tatsache ist entscheidend für die Funktion des anderen Teils des Regelkreises, dem Schaltregler-IC LT1070.

Schaltregler

Wofür überhaupt ein Schaltregler? Da unser Akkulader bis zu zehn Zellen laden soll, ist die Betriebsspannung, wenn aus einer Autobatterie geladen wird, natürlich nicht hoch genug. Bei Netzbetrieb stellt sich dieses Problem weniger, dafür wird hier bei der Auslegung für maximal 10 Zellen die Verlustleistung sehr hoch, wenn Akkus mit geringerer Zellenzahl geladen werden. Zur Anpassung an die Zellenzahl braucht man dann einen Trafo mit mehreren umschaltbaren Anzapfungen — oder eben einen Schaltregler.

Bild 3.3.4 zeigt die Funktion des geschalteten Reglers. Ein Schalttransistor (hier dargestellt durch S) wird von einer Regelschaltung mit einem bestimmten Tastverhältnis geschlossen und geöffnet. Bei geschlossenem Schalter fließt ein Strom i_1 von Masse zur positiven Versorgungsspannung über die Spule L und baut dort ein Magnetfeld auf. D

sperrt in diesem Fall, so daß der Kondensator C keinen eingangsseitigen Einfluß hat. Dagegen kann er sich über den Lastwiderstand (die zu ladenden Akkus) entladen. Wird der Schalter geöffnet, entsteht durch Selbstinduktion in der Spule der Strom i_2 in entgegengesetzter Richtung, der über die nun leitende Schaldiode den nun leeren Kondensator wieder auflädt. Die Höhe der (umgekehrt gepolten) Gleichspannung

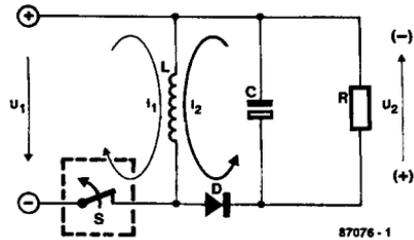


Bild 3.3.4. So funktioniert ein Schaltregler. Das Tastverhältnis, mit dem der Schalter angesteuert wird, entscheidet über die Höhe der Ausgangsspannung.

am Ausgang ist abhängig von den Eigenschaften der Spule und den Daten des Schaltreglers, aber vor allem vom Tastverhältnis, mit dem der Schalter geöffnet und geschlossen wird. Als Spule wird eine gut erhältliche, industriell gefertigte und nicht zu teure Speicherdrossel eingesetzt.

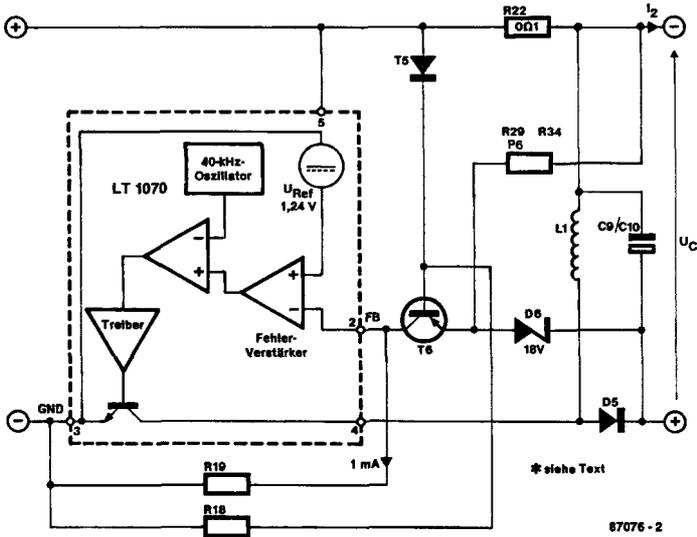


Bild 3.3.5. Die Ergänzung zu Bild 3.3.3: Die Kollektorspannung von T6 bestimmt das Tastverhältnis. Der LT1070 wird durch den Load-Ausgang des Ladeprozessors eingeschaltet.

Bild 3.3.5 zeigt vereinfacht die Innenschaltung des Schaltregler-ICs LT1070 von Linear Technology. Ein 40-kHz-Oszillator erzeugt ein symmetrisches Rechtecksignal, das über eine Treiberstufe den Schalttransistor öffnet und schließt. Das Tastverhältnis wird in weitem Maße beeinflusst von der Ausgangsspannung des Fehlerverstärkers. Jetzt ist auch der Grund dafür zu erkennen, daß im eingeregelteten Zustand die Kollektorspannung von T6 (am Punkt F_B) genau 1,24 V sein soll. Dann

hat nämlich der Fehlerverstärker keinen Einfluß auf das Tastverhältnis. Ist der Ladestrom zu hoch, steigt U_C , die Ausgangsspannung des Fehlerverstärkers wird negativ, das Tastverhältnis kleiner, Ausgangsspannung und Ladestrom sinken. Genau umgekehrt liegen die Verhältnisse bei zu niedrigem Ladestrom. Auf diese Art kann der Ladestrom am Emitterwiderstand (T6) eingestellt werden. Die Z-Diode D6 begrenzt die maximale Ladespannung auf etwa 18 V.

Entladen

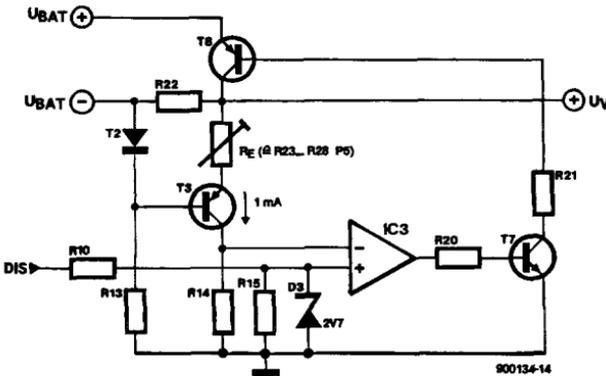


Bild 3.3.6. Der Regelkreis für den Entladestrom. Der aktive Discharge-Ausgang des U2400B erzeugt eine Referenzspannung an IC3.

Die Entladeschaltung in Bild 3.3.6 gleicht der Ladeschaltung in Bild 3.3.3. Auch hier soll der Spannungsabfall über R22 dem am Emitterwiderstand entsprechen. Der Kollektorstrom ist gleichfalls auf 1 mA festgelegt. Übrigens sind hier Batterieanschlußklemme und Versorgungsspannung genau entgegengesetzt angeordnet, da ja schließlich auch der Entladestrom in die andere Richtung fließt. Am Kollektor von T3 ist, ähnlich wie im LT1070, mit IC3 ein Differenzverstärker angeschlossen. Die Referenzspannung wird von D3 auf 2,7 V festgelegt, natürlich nur für den Fall, daß der Ausgang Dis des U2400B

positiv ist. Deshalb muß auch R14 einen anderen Wert haben als R19: $R14 = U_C/I_E = 2,7 \text{ V}/1 \text{ mA} = 2700 \ \Omega$. Hinter IC3 ist mit T7/T8 eine Darlingtonstufe angeordnet. Über R22 und T8 entladen sich die Akkus.

Spannungskontrolle

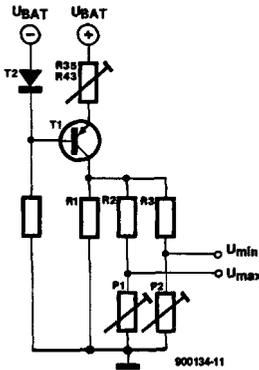


Bild 3.3.7. Mit dieser kleinen Teilschaltung kann die Akkuspannung massebezogen gemessen werden.

Der Ladeprozessor mißt die Akkuspannung an den Pins 4 und 6 gegen Masse. Da aber die Minusklemme auf dem gleichen Potential wie die positive Versorgungsspannung liegt, ist eine solche einfache Beschaltung wie in Bild 3.3.2 nicht möglich. Die Akkuspannung muß auf ein massebezogenes Niveau gebracht werden. Dafür ist die nun schon bekannte Schaltung in Bild 3.3.7 verantwortlich. Über dem einstellbaren Emittterwiderstand fällt die gesamte Akkuspannung ab. R_E beträgt $1 \text{ k}\Omega$ pro Zelle, so daß durch den Transistor ein Kollektorstrom von $I_C = n \times U_Z/n \times R_E = U_Z/R_E$ fließt. Im geladenen Zustand wäre das z. B. $1,45 \text{ V}/1 \text{ k}\Omega = 1,45 \text{ mA}$. Über R1 und den beiden Spannungsteilern R2/P1 und R3/P2 liegen demnach $1,74 \text{ V}$, und zwar massebezogen. Mit den beiden Trimmern P1 und P2 können die richtigen Schwellwerte eingestellt werden, ohne daß die Anzahl der Zellen eine Rolle spielen würde.

Schaltungsaufbau und Abgleich

Die Gesamtschaltung in Bild 3.3.8 bietet jetzt nur noch wenige Neuigkeiten. Die einzelnen Funktionsgruppen Ladeprozessor mit externem Oszillator, Entladeschaltung mit dem Lei-

stungstransistor T8 und der Schaltregler LT1070 mit Schaltdiode sind leicht wiederzufinden. Der Schaltregler kann nur arbeiten, wenn Pin 1 über den Load-Ausgang des U2400B und den BS170 auf Masse gelegt ist. Die Widerstände an den Schaltern S4a und S4b sind gleich. Das bedeutet, daß mit dem gleichen Strom entladen und geladen wird. Die Zahl der Zellen wird mit S3 gewählt. Hier sind einfach 1-k Ω -Widerstände in Reihe geschaltet. S1 entscheidet über die beschriebene Fehlerbehandlung, Stellung E setzt nach Fehlererkennung den Ladezyklus fort, Stellung D beendet ihn. Der Ladeprozessor besitzt übrigens eine eigene 8-V-Spannungsstabilisierung. Wer schon Erfahrung mit dem U2400B gesammelt hat, weiß, daß das IC sehr schnell durch Störimpulse an den Eingängen oder auf der Versorgungsspannungsleitung durcheinander gebracht wird. Wenn man bedenkt, daß mit dem LT1070 ein gewichtiger Störenfried auf der Platine sitzt, erscheinen die vielen zusätzlichen Entstörkondensatoren angebracht.

In der Mittelstellung des Ladezeitschalters S2 gilt die U2400B-interne Standard-Zeiteinstellung (Pin 13 an Masse) von einer Stunde. Gibt man sich damit zufrieden, kann man den 4060 samt den frequenzbestimmenden Bauteilen (C4, P3, R11 und R12) und S2 weglassen. Mit dem 4060 und S2 kann hingegen die Ladezeit auf 2 Stunden (Stellung A) oder 4 Stunden (Stellung B) verlängert werden. Mit P3 kann man diese alternativen Zeiten abgleichen und, falls erwünscht, auch kürzer oder länger einstellen. Wenn einem der Einstellbereich von P3 nicht ausreicht, hilft eine Änderung von C4 (kleiner = kürzer, größer = länger). Möchte man die Standardladezeit (Mittelstellung von S2 bzw. Pin 16 nicht beschaltet) von einer Stunde auf 30 Minuten verkürzen, braucht man nur die Verbindung von Pin 13 nach Masse aufzuheben (Pin 13 bleibt dann unbeschaltet). Setzt man für C4 dann 10 nF ein, hat man die Wahl zwischen 30 Minuten, 1 Stunde (S2 Stellung A) und 2 Stunden (S2 Stellung B) Ladezeit. Die Höhe des Lade- und Entladestroms ist unabhängig von der gewählten Ladezeit auf feste Werte einge-

für S4 angegebenen Stromwerte, wenn man zu R22 einen zweiten **0,1- Ω -Widerstand** parallel schaltet. Das **funktioniert** aber nur, solange die maximale Verlustleistung (Ladespannung x Lade-strom = 25 W) des Schaltreglers nicht überschritten wird. Auch auf den maximalen Spulenstrom, die Sicherung, die Schalt-diode (8 A sind zulässig) und den Entladetransistor ($I_{Cmax} = 10$ A) muß Rücksicht genommen werden.

Die Platine (Bild 3.3.9) ist ziemlich kompakt ausgefallen. Achten Sie bei der Bestückung auf die Polarität der Bauteile und auf ordentliche (dicke) Lötstellen im Hochstrom-Bereich. Die Bauteile, die gekühlt werden müssen (IC5, D5 und T8), befinden sich alle am Rand der Platine und können isoliert direkt an einen Kühlkörper mit höchstens 3,2 K/W (bei > 25 W Verlustleistung) geschraubt werden. Dabei ist zu beachten, daß der Gehäuseanschluß (rückseitige Kühlfläche) des LT1070 (IC5) elektrisch gut leitend mit dem dafür vorgesehenen Masseanschlußpunkt auf der Platine (zwischen Plusanschluß von C7 und IC5) verbunden werden muß. Alle Trimmer sitzen zum Abgleich bereits auf der anderen Seite. Die Widerstände R23 bis R43 befinden sich nicht auf der Platine, sie werden direkt an den Drehschaltern — so wie im Schaltbild angegeben — verdrahtet. Die Drehschalter sind für die Montage auf der Frontplatte vorgesehen, für jede Schalterebene (S3, S4A, S4B) sind nur zwei Verbindungsdrähte zu den jeweiligen Anschlußpunkten auf der Platine erforderlich (Punkte G/H, K/L und M/N). Ebenso liegen auch die Anschlußpunkte für die anderen auf der Frontplatte montierten Bauteile (S1, S2, D1, D2 und R6 = **NTC-Anschlußbuchsen**) auf der Platinenseite, die der Frontplatte zugewandt ist. K1 wird mit den „**Battery-In**“-Buchsen der Frontplatte verbunden (**12-V-Eingangsspannung**, heller Pfeil), K2 mit den Ladebuchsen (Buchsenbezeichnung „**BATTERY**“ mit ausgefülltem Pfeil auf der Frontplatte unter den NTC-Buchsen).

Die Abgleichprozedur ist zwar etwas umfangreich, aber sonst nicht weiter kritisch. IC1 wird zunächst noch nicht bestückt,

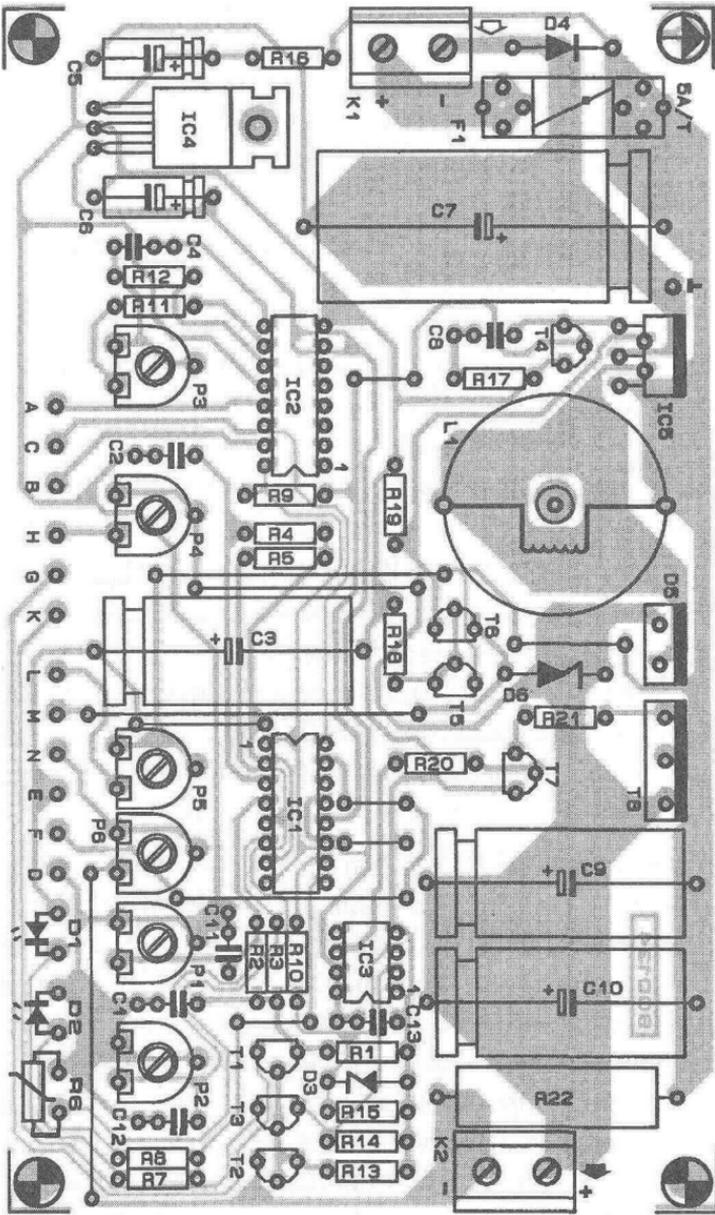


Bild 3.3.9. Die Platine ist kompakt aufgebaut. Achten Sie auf kurze und gute Kabelkontakte zu den Schaltern und Buchsen.

S4 stellt man auf den niedrigsten Strom (500 mA), S3 auf 8 Zellen, S2 und die Trimpotis in Mittelstellung und schließt dann ein 12-V/2-A-Netzteil zur Spannungsversorgung an die Eingangsklemmen K1 an. Nachdem das Netzteil eingeschaltet und die Betriebsspannung überprüft wurde, schließt man eine Hilfsspannung von etwa 8 V (von einem kleinen einstellbaren Netzteil oder einer Batterie) richtig gepolt an die Ladeklemmen K2 an. Nun wird die genaue Spannung an K2 gemessen (sie solle etwa 8 V betragen) und der Wert notiert. Schließen Sie jetzt ein Multimeter (10-V-Bereich) an die Puls-klemme von K2 und den Punkt G der Platine an und stellen Sie die gemessene Spannung mit P4 auf den zuvor notierten Wert ein. Damit entspricht die Spannung zwischen Plus-Ladeklemme und Punkt G genau der Hilfsspannung, die man an K2 angeschlossen hat.

Danach können die Schwellwerte U_{\min} und U_{\max} festgelegt werden. Dazu S3 auf 10 Zellen einstellen und P2 so abgleichen, daß (bei einer Hilfsspannung von 8...8,5 V an K2) am Knotenpunkt P2/R3/C12 0,53 V gegen Masse liegen. Das hat zur Folge, daß der Akkulader die Zellen bis zu einer Spannung von 0,8...0,85 V pro Zelle entlädt, bevor er in den Lademodus wechselt.

Ähnlich geht man bei P1 vor. Für die Überspannungserkennung wählt man einen Wert, der über der höchsten im Normalfall vorkommenden Ladespannung pro Zelle liegt. Hier kann kein fester Wert angegeben werden. Der Grund dafür liegt in der Unzuverlässigkeit der Ladespannung: Der beim Laden gegen Ladeende erreichte Höchstwert hängt von vielen Faktoren ab, besonders von Temperatur, Ladestrom und Innenwiderstand — und damit auch von Nennkapazität, Fabrikat und Lebenslauf des Akkus und auch von der Qualität der Kontakte im Batteriehalter. Der Auslösewert der Überspannungs-Fehlererkennung sollte etwa 1,65 V pro Zelle sein — oder so hoch, daß bei gesunden Akkus, gutem Batteriehalter und normaler Temperatur (um 20 °C) die Ladezeiten ohne Unterbrechung durch Überspannungserkennung durchlaufen. Soll die Unterbrechung bei-

spielsweise bei 1,65 V pro Zelle erfolgen, ist die Hilfsspannung an K2 auf 16,5 V zu erhöhen (bei S3 = 10 Zellen), um dann mit P1 eine Spannung von 0,53 V am Knotenpunkt P1/R2/C11 einzustellen (gegen Masse gemessen).

Der externe Oszillator muß ebenfalls abgeglichen werden (mit P3). Das geht am einfachsten mit einem Oszilloskop: An Pin 6 von IC2 muß ein 1-Hz-Signal anliegen. Ohne Oszilloskop kann man auch auf einen Logiktester (mit High/Low-Anzeige-LED) oder auf ein Zeigermultimeter zurückgreifen, um das 1-Hz-Signal an Pin 6 zu messen, eine (Stopp-)Uhr dient dann zum Zeitvergleich. Anschließend soll der Entlade- und der Ladestrom eingestellt werden. Hilfsspannung von K2 entfernen, Stromversorgung ausschalten, IC1 einsetzen und nicht vergessen, den NTC anzuschließen. Für den Test reicht notfalls auch ein normaler 1-k-Widerstand. Jetzt braucht man ein halbwegs entladenes Akkupack, am besten 2 oder 4 Mignons mit 500 mAh Kapazität, S4 daher auf 500 mA und S3 auf die vorhandene Zellenzahl einstellen. Nach dem Anlegen der 12-V-Betriebsspannung an den Akkulader leuchtet die rote LED (D1) auf. Jetzt schaltet man in die Zuleitung zum Akku ein Digitalmultimeter (1-A- oder 2-A-DC-Bereich) und schließt den Akku an die Ladebuchsen (K2) an. Die rote LED erlischt nach etwa 2 Sekunden, es beginnt die Entladung des Akkus: Die rote LED blinkt; das Meßgerät zeigt den Entladestrom, der mit P5 auf 500 mA einzustellen ist.

Wenn der Akku schon gut entladen war, dauert es nicht allzu lange, bis der untere Schwellwert erreicht wird und der Akkulader automatisch auf Laden umschaltet: Grüne LED blinkt, das Vorzeichen der DMM-Anzeige springt um. Das DMM zeigt jetzt den Ladestrom, der mit P6 ebenfalls auf 500 mA eingestellt wird. Damit ist der Abgleich auch schon beendet.

Stückliste

Widerstände:

R1, R19 = 1k2
R2, R3, R13, R18 = 10 k
R4 = 390 k
R5 = 2k2
R6 = NTC (R25 = 1 k, z. B. Philips 2322 620 121 31 oder 2322 610 111 32)
R7 = 82 Ω
R8, R15 = 270 Ω
R9 = 18 k
R10 = 220 Ω
R11 = 100 k
R12 = 1 M
R14 = 2k7
R16, R25, R31 = 56 Ω
R17 = 1k5
R20 = 33 k
R21 = 560 Ω
R22 = 0,1 Ω /1 W
R23, R29 = 22 Ω
R24, R30 = 39 Ω
R26, R32 = 100 Ω
R27, R33 = 120 Ω
R28, R34 = 150 Ω
R35, R43 = 1 k

P1 = 10-k-Trimpotentiometer liegend
P2 = 25-k-Trimpotentiometer liegend
P3 = 50-k-Trimpotentiometer liegend
P4 = 2k5-Trimpotentiometer liegend
P5, P6 = 50- Ω -Trimpotentiometer liegend

Kondensatoren:

C1, C11, C13 = 100 n
C2, C4 = 15 n
C3, C9, C10 = 470 μ /25 V

C4 = 22 n

C5, C6 = 47 μ /25 V

C7 = 2200 μ /25 V

C8 = 1 μ

Spule: L1 = Speicherdrossel 220 μ H/5A, Newport Typ 14 22 455

Halbleiter:

D1 = LED rot

D2 = LED grün

D3 = Z-Diode 2V7/400 mW

D4 = 1N5408

D5 = BYW 29/100

D6 = Z-Diode 18 V/400 mW

T1 ..T3, T5, T6 = BC560B

T4 = BS170

T7 = BC547B

T8 = TIP147

IC1 = U2400B (Telefunken electronic)

IC2 = 4060

IC3 = TLC271 (Texas Instrument)

IC4 = 7808

IC5 = LT1070 (Linear Technology)

außerdem:

S1 = Miniatur-Kippschalter 1 x UM

S2 = Miniatur-Kippschalter 1 x UM mit Mittelkontakt

S3 = Drehschalter 1 x 12 (Lorlin oder Knitter, mit Lötanschlüssen)

S4 = Drehschalter 2 x 6 (Lorlin oder Knitter, mit Lötanschlüssen)

F1 = Platinensicherungshalter mit Sicherung 5 A träge

K1, K7 = 2 polige Platinenlüsterklemme (7,5 mm)

Kühlkörper 100 x 38 x 15 (mm) (z. B. Fischer SK 81)

Netzbetrieb und Sonstiges

Für Heimanwendung benötigt man ein einfaches Netzteil, das anstelle eines Autoakkus eine Betriebsspannung von 12... 15 V bei einem Strom von gut 5 A (besser 6 A) liefern kann. Dazu genügt ein Trafo von minimal 72 VA (es darf auch mehr sein) mit einer **12-V-Sekundärwicklung** (oder zwei **6-V-Wicklungen** in Reihe). Beim Einbau des Trafos ins Metallgehäuse ist unbedingt auf gute Zugentlastung des Netzkabels und Anschluß des Schutzleiters ans Gehäuse zu achten. Alle netzspannungsführenden Teile sind gut zu isolieren!

Als Brückengleichrichter empfiehlt sich ein **B40C10000** oder **B80C10000**. An die Betriebsspannungsklemmen K1 schaltet man dann noch einen Elko von 4700 $\mu\text{F}/25\text{V}$ (Polarität beachten), verbindet die Klemmen mit Plus und Minus vom **Brückengleichrichter** — und fertig ist der Heimakkulader. Die Verbindung zu den **Battery-Eingangsbuchsen** der Frontplatte kann trotzdem bestehen bleiben — dort kann man bei Bedarf einen **12-V-Autoakku** anschließen, wenn gerade mal keine **220-V-Steckdose** in Reichweite ist.

Noch ein paar Tips zum Schluß: Profis setzen NTCs direkt in die mit Schrumpfschlauch konfektionierten Akkupacks mit ein und führen die Akku- und die **NTC-Anschlüsse** auf einen vierpoligen Steckkontakt (Würfel, Banane) heraus. So ist ein thermischer Kontakt und sichere **Übertemperaturerkennung** bestens gewährleistet. Was die Verwendung anderer NTCs und ähnliche Fragen betrifft, findet man in dem Beitrag High-Tec-Nicad-Lader (Seite 69 in diesem Buch) nützliche Informationen. Bevor man das Laden beginnt, sollten immer zuerst die Schalter eingestellt werden. Erst dann schaltet man den Akkulader ein und klemmt schließlich die Akkus an. Auch wenn man Akkus wechseln will, sollte man zwischendurch einen Power-up-reset durchführen.

3.4 Mikrocontroller-Nicad-Lader

Durch ein ebenso intelligentes wie elegantes Konzept sowie durch die optimale Programmierung eines Mikrocontrollers kommt die Schaltung — trotz der recht umfangreichen Steuerung, die bis zu acht Nicad-Akkus individuell laden kann — mit nur drei ICs aus.

Technische Daten

- Steuerung mit modernem Mikrocontroller (ST62E15)
- Individuelles Laden von 8 beliebigen Nicad-Zellen
- Automatische Vorentladung
- Impulsladung mit zyklischer Überwachung der Zellenspannung
- Einstellbarer Ladestrom 0 ... 200 mA, 0 ... 1 A
- (optional: 100 mA/500 mA)
- Einstellbare Zellenkapazität 0 ... 5 Ah (optional: 2,5 Ah, 10 Ah)
- Erhaltungsladen mit 1/20 des Ladestroms
- Ladestromkontrolle mit LEDs für jede einzelne Zelle
- Zustandsanzeige mit 4 LEDs
- Kein Abgleich

Ein gutes Ladegerät für Nicad-Akkus muß drei wichtige Funktionen beherrschen: Es muß den oder die Akkus vor der Ladung bis zu einer bestimmten Restspannung entladen, um dem Gedächtnis-Effekt entgegenzuwirken, dann automatisch in den Konstandstrom-Lademodus umschalten und diesen eine genau definierte Zeit beibehalten. Wenn die Ladezeit abgelaufen ist,

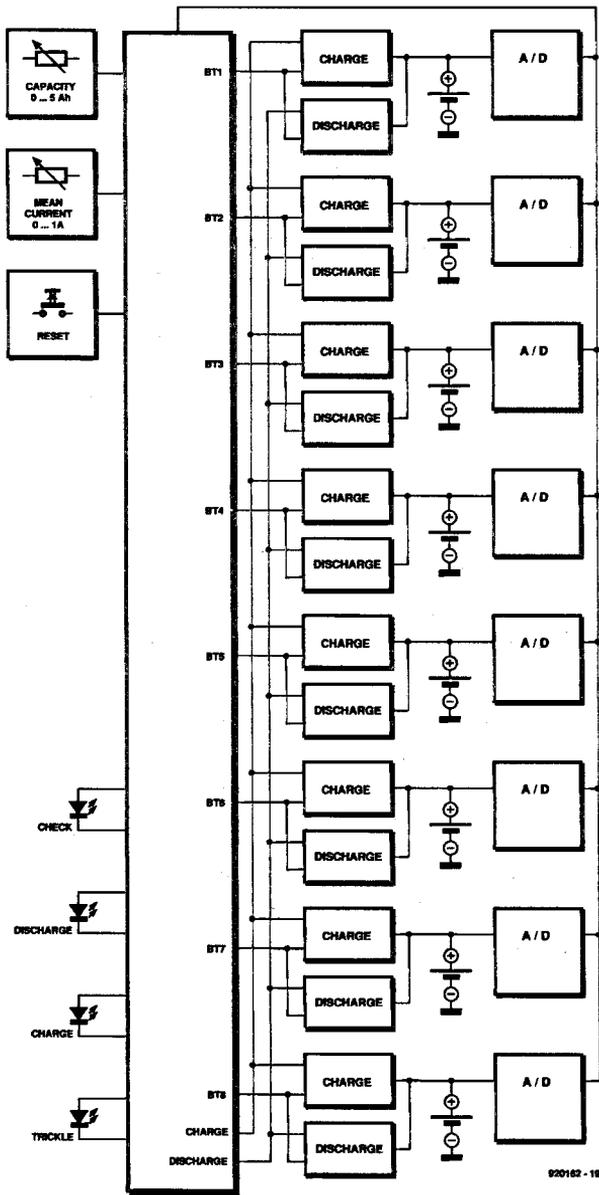


Bild 3.4.1. Blockschaltbild des Mikrocontroller-Nicad-Laders.

soll das Gerät nur noch mit einem geringen Strom weiterladen, um die Verluste durch Selbstentladung der Akkus zu kompensieren. Zusätzlich ist eine Spannungsüberwachung vorzusehen, um ein Überschreiten einer kritischen Zellenspannung von etwa 1,55 bis 1,6 V beim Laden (speziell bei niedrigen Temperaturen) zu verhindern. Dabei sollte nach Möglichkeit die tatsächliche Zellenspannung ohne die **Spannungsabfälle** an den Leitungen und an den Kontakten der **Akkualterung** gemessen werden.

Besonders die letzte Forderung bleibt bei den meisten Akkuladern unerfüllt. Aber auch bei den anderen Bedingungen kann man lange nach optimalen Lösungen suchen, insbesondere dann, wenn die Zellen nicht in Reihe geschaltet werden, sondern bei variabler Zellenzahl eine Einzelzellenladung möglich sein soll. Eine derartige Ladeschaltung, die einzelne Zellen individuell betreut, ist mit diskreter analoger Elektronik nur mit hohem Aufwand zu realisieren. Bei Verwendung eines speziellen **Lade-ICs** (U2400B) müßte man jeder einzelnen Zelle ein eigenes IC spendieren — inklusive externer **Beschaltung** natürlich. Im **Elektor-Labor** wurde daher der für den Entwickler aufwendigste, aber für den **Schaltungsumfang** günstigste Weg **beschritten**: Anstelle vieler analoger **Spezial-ICs** kommt ein einziger, universeller MikroController zum Einsatz, der speziell für diese Anwendung programmiert wurde. Der **Mikrocontroller** wird dadurch praktisch zum selbstentwickelten **Spezial-IC**, das alle gestellten Forderungen mit minimaler externer **Beschaltung** optimal erfüllt.

Das Konzept

Anhand des Blockschaltbilds in Bild 3.4.1 wird schnell deutlich, wie **modular** und übersichtlich der **Mikrocontroller-Nicadlader** aufgebaut ist. Für jede Zelle ist eine kombinierte Lade- und **Entladeschaltung** vorgesehen. Über die Steuerleitungen **Charge** (Laden) und **discharge** (Entladen) wählt der Mi-

krocontroller die Funktion Laden/Entladen für alle acht Zellen gemeinsam. Jede einzelne Ladeposition wird aber individuell über eine eigene Select-Leitung (BT1 bis BT8) vom Mikrocontroller ein- oder ausgeschaltet. Mittels A/D-Wandler kontrolliert der MikroController die Spannung jeder einzelnen Zelle und überwacht so den Entlade- und Ladezyklus. Die Bedienung des Laders erfolgt ebenso einfach wie komfortabel mit zwei Potis und einem Taster. Letzterer dient zum Starten und Zurücksetzen. Mit dem einen Poti wird die Kapazität der zu ladenden Zellen eingestellt, mit dem anderen der gewünschte (mittlere) Ladestrom. Aus diesen beiden Vorgaben ergibt sich dann die vom Controller errechnete Ladezeit.

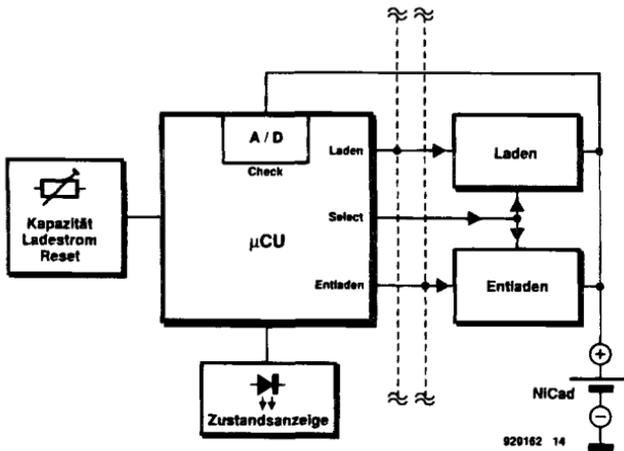


Bild 3.4.2. Die Verbindungen zwischen dem MikroController und einer der acht identischen Lade Schaltungen.

Zur Verdeutlichung sind in Bild 3.4.2 die Verbindungen zwischen Controller und Ladeschaltungen noch einmal für eine einzelne Ladeposition herausgezeichnet. Bei den in Bild 3.4.1 symbolisch angedeuteten acht A/D-Wandlern handelt es sich um die analogen Eingänge eines einzigen A/D-Wandlers, der

im Mikrocontroller enthalten ist. In Bild 3.4.2 ist dementsprechend eine Verbindung zwischen NiCd-Akku und einem der Analog-Eingänge des A/D-Wandlers zu sehen.

MCU und Software

Zunächst wollen wir erst einmal das zentrale IC, den Mikrocontroller ST62E15 von SGS-Thomson (Bild 3.4.3) vorstellen. Es handelt sich dabei um eine **MCU (Micro-Controlling-Unit)** in 8-bit-Architektur, die wie alle MCUs der 62XX-Serie aus einer 8-bit-Kerneinheit (Core) besteht, um die herum periphere Einheiten (macrocells) gruppiert sind. Beim hier verwendeten Modell sind dies:

- 8-bit-Zähler
- a programmierbarer 7-bit-Teiler
- 8-bit-A/D-Wandler mit
- 16 Analogeingängen und
- Watchdog-Timer mit Power-up-reset

Weiterhin besitzt die MCU ein 2 k breites EPROM, von dem 1828 Byte dem Benutzer zur Verfügung stehen. Der ST62E15 wird mit 8 MHz getaktet. Die wichtigsten IC-Anschlüsse für unsere Anwendung sind die drei I/O-Ports PAX, PBX und PCX. Die Leitungen sind teilweise als Eingänge für den A/D-Wandler, teilweise als digitale Ausgänge zum Selektieren der Akkuposition programmiert. Außerdem gibt es noch vier I/O-Leitungen, die für Sonderfunktionen eingesetzt werden, nämlich für das Umschalten von Entladen nach Laden sowie zum Einstellen von Akkukapazität und Ladestrom. Neben diesen insgesamt 20 I/O-Leitungen findet man noch Anschlüsse für den Quarz (OSCIN, OSCOUT), eine Test-Option, die wir allerdings genausowenig verwenden wie den externen Interrupt-Anschluß NMI und die Timer-I/O-Leitung. Unabdingbar für unsere Schaltung sind jedoch der Reset-Anschluß (aktiv Low) und die Versorgungsspannungsanschlüsse.

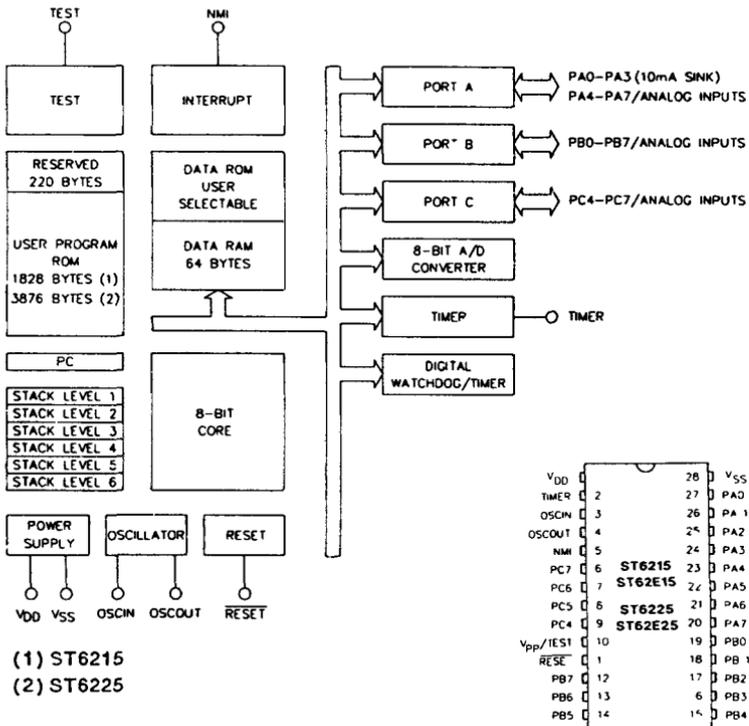


Bild 3.4.3. Interner Aufbau des Mikrocontrollers und seine Pinbelegung.

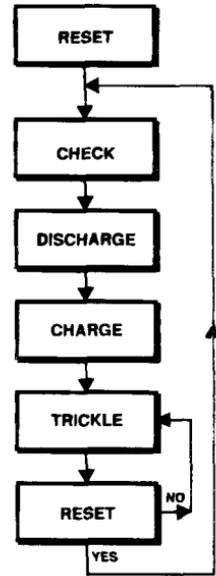
Die „Intelligenz“ dieses Ladegerätes sitzt im EPROM des Mikrocontrollers. Bild 3.4.4 zeigt den prinzipiellen

Ablauf des Ladevorgangs:

Nach einem Reset läuft zunächst eine Testroutine ab (CHECK), um festzustellen, ob und wie viele Akkus angeschlossen sind und welche Spannung diese aufweisen. Wenn nicht alle angeschlossenen Zellen schon vollständig entladen sind, schaltet der Controller in die Entladephase (DISCHARGE). Erst wenn alle Akkus entladen sind, wird auf Laden (CHARGE) umgeschaltet. Nach Ende der Ladezeit folgt Erhaltungsladung (TRICKLE) mit 1/20 des vorherigen Ladestroms. Ein Drücken von Reset setzt den Nicad-Lader komplett zurück.

Pulsen und Testen

Weder der Lade- noch der Entladestrom fließen kontinuierlich. Da die Lade- und Entladeschaltungen abgleichfrei mit festeingestellten Stromquellen bestückt sind, muß der Mikrocontroller den Strom pulsen, wobei die Impulsdauer (= mittlerer Ladestrom) von der Einstellung des Ladestrompotis bestimmt wird. Das Pulsen erfolgt einfach durch kurzzeitige Aktivierung der betreffenden Steuerleitung (CHARGE oder DISCHARGE). Der eigentliche Clou der Steuersoftware liegt darin, daß auf jeden Stromimpuls ein Test folgt. Während der Impulspause, wenn also kein Strom über die Akkuklemmen fließt, wird die Zellenspannung jeder einzelnen Zelle gemessen und ausgewertet. Der große Vorteil liegt darin, daß das Meßergebnis nicht durch Spannungsabfälle an Leitungen, Klemmen und selbst dem Innenwiderstand des Akkus verfälscht wird. Ein solcher Zyklus, besteht aus Stromimpuls und Strompause (mit Testphase), dauert etwa 2,5 Sekunden. Ein ausführliches Flußdiagramm der



920162 - 12

Bild 3.4.4. Prinzipieller Programmablauf nach Drücken des Resettasters.

Testroutine

zeigt Bild 3.4.5. Dieses Unterprogramm fragt während des gesamten Entlade- und Ladeverlaufs praktisch alle 2,5 Sekunden an allen acht (potentiellen) Ladepositionen die Zellenspannung ab. Die Variable BATCOUNT bezeichnet dabei die jeweilige Ladeposition. Zuerst werden die Variablen NOBAT und ALL DISCHARGED gesetzt. Nach dem Rücksetzen der Variablen DISCHARGED und OVERVOLTAGE beginnt die Messung der Akkuspannung. Liegt die Spannung zwischen 0,5 V und 1,8 V, wird angenommen, daß ein Akku vorhanden ist und des-

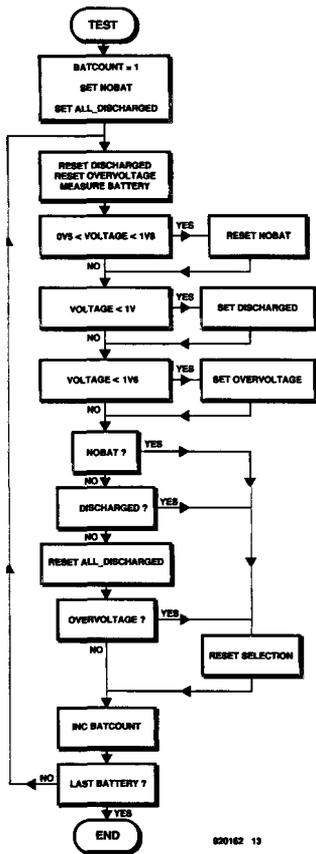


Bild 3.4.5. Während des gesamten Ladevorganges läuft ein Testprogramm, das etwa alle 2,5 Sekunden den Zustand des Akkus abfragt und auswertet.

Testzyklus kennt der Controller den Ladezustand jeder einzelnen Zelle und entscheidet, ob weiter entladen, geladen oder erhaltungsgeladen wird.

halb NOBAT für diese Ladeposition zurückgesetzt. Weiter wird überprüft, ob die Akkuspannung unter 1 V liegt. Wenn ja, wird die Variable DISCHARGED gesetzt, der Akku ist als entladen identifiziert. Beträgt die Akkuspannung mehr als 1,6 V, gilt er als überladen, es wird dann OVERVOLTAGE gesetzt.

Nun werden die Variablen ausgewertet. Wenn der Akku fehlt (NOBAT gesetzt) oder entladen ist (DISCHARGED gesetzt), setzt das Programm SELECTION zurück, die betreffende Ladeposition ist damit bis zum nächsten Testzyklus inaktiv. Nur wenn eine Spannung von 1...1,6 V ermittelt wird, kann die Variable ALL DISCHARGED zurückgesetzt werden. Wurde Überladung festgestellt (OVERVOLTAGE gesetzt), setzt die Software ebenfalls SELECTION zurück. Schließlich zählt der Positionszähler BATCOUNT um Eins hoch, das Flußdiagramm wird dann für die nächste Ladeposition durchlaufen. Nach Ablauf eines solchen

Die Hardware

Wie in Bild 3.4.1 und Bild 3.4.2 zu sehen, besteht die Hardware im wesentlichen aus dem Mikrocontroller und den acht identischen Lade-/Entladeschaltungen. Bild 3.4.6 verdeutlicht die Funktion einer solchen Lade-/Entladeeinheit. Man sieht die drei Steuerleitungen für Laden, Entladen und die Aktivierung der Schaltung (Select). Die Transistoren T25 für Laden und T27 für Entladen sind für mehrere Lade-/Entladeschaltungen gemeinsam, die anderen drei Transistoren T1, T2 und T3 bilden die Lade-/Entladeschaltung für die erste Ladeposition.

Der Ladekreis besteht aus einer Konstantstromquelle (LED D1, Transistor T2 mit R4 in der Emitterleitung). Laden ist nur möglich, wenn gleichzeitig die Leitungen Select und Laden aktiv (High) sind. Dann steuern beide Transistoren durch (T3 und T25) und schalten die Konstantstromquelle ein. Die Diode D2 dient als Rückstromsperre für den Akku. Der Ladestrom (der immer nur kurz, da über die Lade-Leitung impuls-gesteuert fließt) lässt sich leicht berechnen: An der LED fallen 1,6 V ab, an der Basis/Emitter-Strecke und am Emitterwiderstand ebensoviel. Bleibt für R4 etwa 1 V übrig, der Konstantstrom beträgt also $I = 1V/1 \Omega = 1 \text{ A}$. Bei Emitterwiderständen von 2Ω fließt ein maximaler Ladestrom von 500 mA (siehe Hinweis bei „Einstellbereiche“).

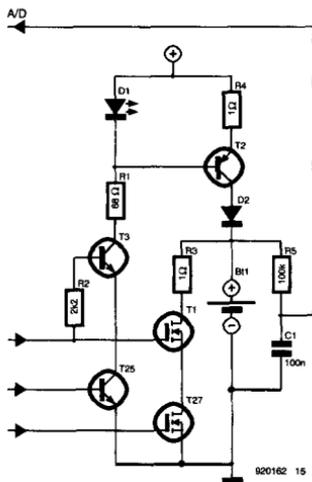


Bild 3.4.6. Lade- und Entladeschaltkreis sind diskret aufgebaut. Beide Funktionen werden durch jeweils zwei Schalttransistoren gesteuert.

Die LED hat übrigens gleichzeitig auch noch eine wichtige Anzeigefunktion: Sie leuchtet nur, wenn Select und Laden aktiv sind. Anhand der LEDs kann man also feststellen, welche Ladeschaltungen jeweils selektiert sind.

Der Entladekreis ist noch einfacher aufgebaut. Wenn Select und Entladen aktiv (High) sind, fließt der Entladestrom einfach über den 1- Ω -Widerstand R3 und die beide MOSFETs T1 und T27 nach Masse. Die MOSFETs garantieren niedrige Durchlaßwiderstände beim Entladen. Die Akkuspannung schließlich wird direkt an der Klemme abgegriffen und über R5 (100 k) und C1 (100 n) entkoppelt dem betreffenden Eingang des A/D-Wandlers im Controller zugeführt.

Alles zusammen präsentiert der Schaltplan in Bild 3.4.7. Neben dem Controller IC1 und den acht Lade/Entladeschaltungen gibt es noch zwei weitere ICs, den doppelten 2-nach-4-Demultiplexer 74HCT239 und den Spannungsregler IC3. Zur Ansteuerung der beiden parallelgeschalteten Multiplexer werden zwei I/O-Leitungen (SW0 und SW1) der MCU verwendet. Solange SW0 und SW1 Low sind, sperren die Schalttransistoren T25 ... T27, es wird weder ge- noch entladen. Dies ist während der Checkphase der Fall, D19 (CHECK) zeigt dies an. Wenn SW0 High und SW1 Low sind, ist der Ausgang 1 aktiv. Die beiden MOSFETs T26 und T27 leiten und verbinden jeweils vier Entladekreise mit Masse. D20 (DISCHARGE) leuchtet entsprechend. Bei allen anderen Eingangspegeln schaltet T25 alle acht Ladekreise ein, da die Signale der Ausgänge 2 und 3 über die als ODER-Schaltung funktionierenden Dioden D17 und D18 zur Basis von T25 gelangen. An den LEDs D21 (CHARGE) und D22 (TRICKLE) kann man aber unterscheiden, ob es sich um Laden oder Erhaltungsladen handelt.

*Bild 3.4.7. Die komplette Schaltung (Seite 114) des **Nicad-Laders**: ein Mikrocontroller, ein **Multiplexer**, acht Lade/Entladeschaltungen und ein Netzteil. Die effiziente Software befindet sich im internen **EPROM** des **Mikrocontrollers**.*

An die beiden analogen Eingänge 19 und 20 sind die Potis zur Einstellung der Kapazität (**P1/CAPACITY**) und des Ladestroms (**P2/CURRENT**) angeschlossen. Beide Leitungen arbeiten eng mit dem internen Timer zusammen. Wenn die Stromquellen der Ladeschaltungen wie angegeben mit 1- Ω -Emitterwiderständen für 1 A maximalen Ladestrom bestückt sind, ergeben sich folgende

Einstellbereiche:

P1 = Kapazität

0...5 Ah (Jumper **JP1** nicht gesetzt)

0...10 Ah (Jumper **JP1** gesetzt)

P2 = Ladestrom

0...1 A (**S1** geschlossen),

0...200 mA (**S1** offen)

Sollen vorwiegend kleinere Akkus geladen werden, für die ein maximaler Ladestrom von 1 A zu hoch erscheint, kann man die Stromquellen mit 2- Ω -Emitterwiderständen bestücken. Die Einstellbereiche sind dann:

P1 = 0...2,5 Ah (Jumper **JP1** nicht gesetzt)

0...5 Ah (Jumper **JP1** gesetzt)

P2 = 0...500 mA (**S1** geschlossen),

0...100mA (**S1** offen).

Die Ladezeit ergibt sich immer aus der eingestellten Kapazität, geteilt durch den gewählten Ladestrom. So lassen sich die beliebten **Sub-C-Fahrakkus** (1,2 Ah) bei 1 A Strom in einer Stunde und 12 Minuten laden, Mignonzellen mit 0,5 Ah sind schon nach 30 Minuten voll — vorausgesetzt, es handelt sich um Schnelladeakkus, die 1 A Ladestrom verkraften.

Der Reset-Taster **S2** setzt den internen Timer und alle Variablen auf Null. Wenn ein nicht vollständig entladener Akku angeschlossen ist, wird dieser erst entladen, bevor die Lade-

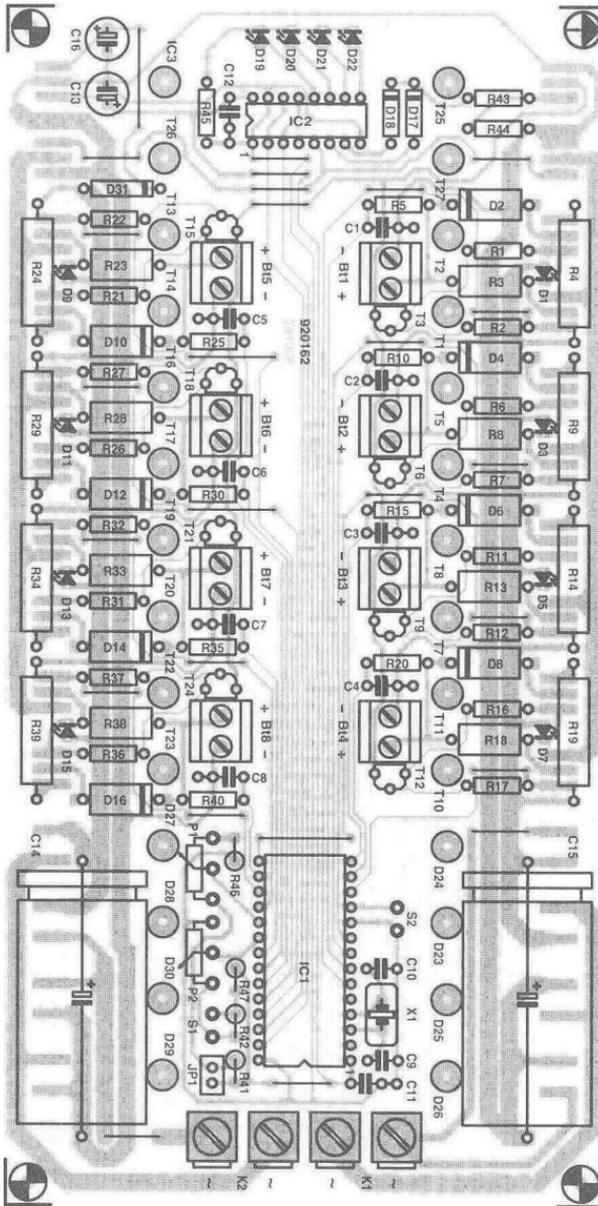
zeit läuft. Für die Stromversorgung benötigt der Nicad-Lader ein recht schweres Netzteil, da ja maximal ein Strom von über 8 A fließen kann. Für den Netztrafo sollte man unbedingt wegen der besseren Lastaufteilung einen Typ mit zwei **6-V-Sekundärwicklungen** verwenden, die jeweils einen Strom von 6...7 A liefern können. Dahinter folgen Hochleistungs-**Gleichrichterioden** vom Typ BYW29, natürlich getrennt für jede Wicklung. Die durch C14 und C15 geglättete Gleichspannungen werden auf die Akkupositionen 1...4 beziehungsweise 5...8 aufgeteilt. Aus der Gleichspannung an C14 wird die durch IC3 auf 5 V geregelte Betriebsspannung für die beiden ICs abgeleitet.

Aufbau und Verwendung

Die Ladeelektronik wird zusammen mit dem Kühlprofil als Sandwich montiert. Zunächst fertigt man das Kühlprofil an und versieht es mit **2,4- oder 2,5-mm-Bohrungen** für die Leistungstransistoren, Gleichrichterioden und die Befestigungen in den Ecken. In alle Bohrungen schneidet man dann ein 10 mm tiefes M3-Gewinde. Sie können die Platine gut als Schablone verwenden, um die 32 Löcher zu markieren.

Sind die Bohrarbeiten am Kühlprofil beendet, wird die Platine (Bild 3.4.8) mit allen Bauteilen bis auf die Leistungshalbleiter bestückt. Dabei ist wie gewohnt vorzugehen. Man beginnt mit den 26 Drahtbrücken, es folgen die Fassung für die MCU, Lötstifte (für Potis, LEDs und Schalter), Widerstände, Dioden, Kondensatoren, dann die **Platinenlüsterklemmen**, die Kleinsignaltransistoren, der Quarz und zu guter Letzt die Ladeelkos.

Wenn alles fertig bestückt und gut kontrolliert ist, können die Leistungshalbleiter montiert werden. Dazu biegt man alle **Anschlußbeinchen** der Bauteile in der in Bild 3.4.9 gezeigten Weise um. Da alle Lötstellen an der Außenseite der Platinen liegen, sollte man zunächst die Bauteile mechanisch fixieren. Dazu benötigen Sie pro Halbleiter: eine Schraube M3 x 10, eine



3.4.8 Bestückung der Platine des Laders Die Leistungshalbleiter werden auf der Unterseite verlötet und auf dem Kühlprofil isoliert befestigt

passende Isolierbuchse sowie ein Glimmer- oder Keramikplättchen. Dies wird in der gezeigten Weise zusammengefügt. Ziehen Sie die Schrauben erst richtig fest, dann verlöten Sie die Anschlußbeinchen. Sparen Sie dabei nicht mit Wärmeleitpaste. Nach sorgfältiger Kontrolle, insbesondere auf unerwünschte Verbindungen zwischen den Anschlußdrähten der auf dem Kühlkörper montierten Bauteile, kann der Trafo für einen ersten Funktionstest angeschlossen werden. D19 muß leuchten, sobald die **Betriebsspannung** anliegt. Nun schließt man einen (fast entladenen) Akku an eine beliebige **Platinenlüsterklemme** an und stellt mit P1 die Zellen-Nennkapazität und mit P2 den passenden Ladestrom ein. Nach Druck auf den Reset-Taster leuchtet D19 einen Augenblick weiter, danach zeigt D20, daß der Akku entladen wird. Nach einiger Zeit ist die untere Entladeschwelle erreicht, so daß das Ladegerät in den Lademodus wechselt. D20 verlischt und D21 leuchtet. Nun heißt es abwarten und kontrollieren, ob die korrekte Ladezeit abläuft. Danach zeigt D22, daß der Lader in den Erhaltungsmodus übergegangen ist.

Jetzt müssen nur noch die Akkuhalterungen angeschlossen werden. Leider sind gute Halterungen rar und im normalen Elektronikhandel nur als Gehäuseeinbau-Modelle zu rinden, und Typen, die für mehrere Zellenarten geeignet sind, schon gar nicht. Man kann aber beispielsweise einen gebrauchten Einfachst-Lader umrüsten oder sich mit zusammensteckbaren Akku-Halterungen von **Varta** (RSH4 für Mono-, **RSH1,8** für Baby- und **501RS** für Mignonzellen) behelfen, die zwar gut, aber auch entsprechend teuer sind. Wie auch immer, achten Sie auf kurze Kabelwege und gut leitende Verbindungen. Eine schlechte Steck- oder Kabelverbindung kann eine ordnungsgemäße Funktion des Ladegerätes verhindern.

Bei den linearen Potis lassen sich sehr gut entsprechende Skalenringe bzw. Drehknöpfe mit linearer Skalierung zur Einstellung der Kapazitäts- und Stromwerte verwenden. Stellen Sie immer die Akku-Nennkapazität und einen für die Akkus nach

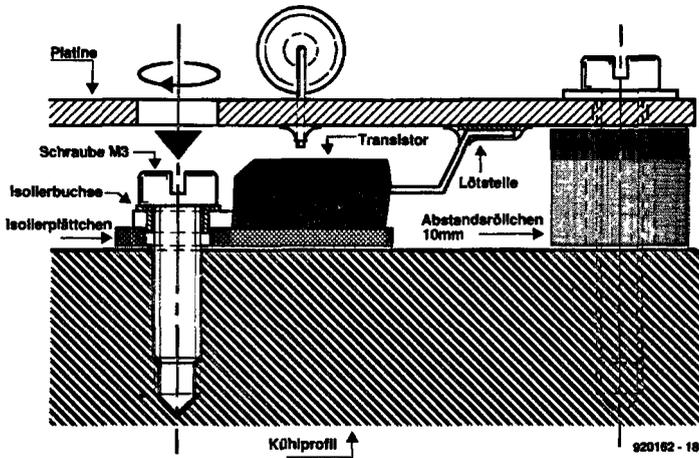


Bild 3.4.9. So werden die Leistungshalbleiter montiert. Achten Sie darauf, daß es keine unerwünschten Verbindungen zwischen den nicht isolierten Anschlußfahnen gibt.

Herstellerangaben günstigen Ladestromwert ein. Bei sehr niedrigen Temperaturen sollte man auf erhöhte Ladeströme besser verzichten. Bei normalen Raumtemperaturen gilt der Ladestrom im allgemeinen dann als zu hoch, wenn die Akkus beim Laden eine Temperatur von 40 °C überschreiten.

Da Ladestrom und Kapazität für alle angeschlossenen Akkus gemeinsam eingestellt werden, versteht es sich von selbst, daß nur Akkus gleicher Nennkapazität gleichzeitig geladen werden können. Unterschiedlicher Entladungszustand ist problemlos, kann aber den Ladevorgang unnötig verzögern. Lädt man nämlich eine nur teilentladene Zelle zusammen mit vollständig entladenen Zellen, so müssen die leeren Zellen erst das Entladen der einen teilentladenen Zelle abwarten, bevor sie geladen werden.

Stückliste

Widerstände:

R1, R6, R11, R16, R21, R26, R31,
R36, R45 = 68 Ω
R2, R7, R12, R17, R22, R27, R32,
R37 = 2k2
R3, R4, R8, R9, R13, R14, R18,
R19, R23, R24, R28, R29, R33,
R34, R38, R39 = 1 Ω /1 W
R5, R10, R15, R20, R25, R30, R35,
R40, R41, R42 = 100 k
R43, R44 = 1k
R45 = 470 Ω
R46, R47 = 1k5
P1 = Poti 100 k linear
P2 = Poti 25 k linear

Kondensatoren:

C1...C8, C11, C12 = 100 n
C9, C10 = 22 p
C14, C15 = 4700 μ /16 V
C13, C16 = 100 μ /16 V stehend

Halbleiter:

D1, D3, D5, D7, D9, D11, D13, D15,
D19, D21 = LED 3 mm rot
D2, D4, D6, D8, D10, D12, D14,
D16 = 1N5400, 1N5401...1N5408
D17, D18 = 1N4148
D20 = LED gelb 3 mm

D22 = LED grün 3 mm

D23...D30 = BYW29

D31 = 1N4001

T1, T4, T7, T10, T13, T16, T19, T22,

T26, T27 = BUZ 10

T2, T5, T8, T11, T14, T17, T20, T23
= BD240

T3, T6, T9, T12, T15, T18, T21, T24
» BC547B

T25 = BD239

IC1 = ST62E15 mit Software 7072

IC2 = 74HCT239

IC3 = 4805

außerdem:

JP1 = Jumper

K1, K2 = 4 AMP-Flachsteckschuhe
für Platinenmontage

S1 = Schalter 1 x UM

S2 = Taster 1 x AN

BT1...BT8 = 2-polige Platinen-
lüsterkernte RM5

X1 = Quarz 8 MHz

8 Batteriehalterungen (siehe Text)

Kühlprofil SK47/100/SA

Tr1 = Trafo 2 x 6 V/6...7 A

F1 = 0,63 A träge

3.5 Delta-Peak-Nicadlader

Werden NiCd-Akkus schnell mit hohem Strom geladen, spart man nicht nur Zeit. Auch ihre Eigenschaften können davon profitieren. Arbeitet das Ladegerät nach dem sogenannten **Delta-Peak-Prinzip**, werden die Akkus auch noch sicher und stets voll geladen.

Daß sich die Akkueigenschaften durch Laden mit hohen Strömen verbessern können, stimmt tatsächlich. In Anwendungen, bei denen NiCd-Akkus mit hohen Strömen entladen werden (z. B. bei Auto- und Flugmodellen mit E-Antrieb oder Akkuschraubern) bilden sich durch die hohen Entladeströme mit der Zeit freie Metallionen im Elektrolyten. Dadurch erhöht sich allmählich der Innenwiderstand des Akkus, er verliert zunehmend die Fähigkeit, sehr hohe Ströme zu liefern. Durch das Laden mit hohen Strömen werden die Ionen wieder beseitigt, die Akkus liefern wieder ihren maximalen Strom. Um es nochmals zu betonen: Dieser Effekt tritt sicherlich nicht in den zwei 500-mAh-Mignonzellen eines Walkmans auf, wohl aber bei den 7,2-V-Powerpacks mit 1,2 bis 1,8 Ah, wie sie für RC-Cars typisch sind. Für diesen Akkutyp ist die hier beschriebene Ladeschaltung deshalb auch ausgelegt.

Zum Thema schnelles Laden gibt es zunächst einmal folgendes zu sagen: Die Akkus, denen man das antun möchte, müssen für die hohen Ladeströme auch geeignet sein! Angaben hierzu gibt es beim Hersteller/Lieferanten. Selbstverständlich dürfen Akkusätze (Batterien), die aus unterschiedlichen Einzelzellen zusammengesetzt sind, nicht schnell geladen werden. Die schwächeren Zellen würden sonst deutlich überstrapaziert. Bei fertigen Akku-Packs braucht man das zwar nicht zu befürchten, doch auch hier sind Einschränkungen angebracht: Halbvolle Akku-Sets dürfen ebenfalls nicht schnell geladen werden, da der Ladezustand einzelner Zellen durch Toleranzen auch

hier unterschiedlich sein kann. Vor dem Hochstromladen muß ein Akku-Paket also voll entladen, aber nicht tiefentladen sein. Letzteres wäre der Lebensdauer abträglich. Im Interesse der Lebensdauer sollte man auch nach jeder fünften Schnellladung eine 14-stündige Normalladung einlegen.

Das Delta-Peak-Prinzip

Wie vielleicht bekannt ist, werden NiCd-Akkus normalerweise mit einem Zehntel der Nennkapazität etwa 14 Stunden lang geladen - also leicht überladen. Dann haben die Akkus ihre maximale Kapazität erreicht. Schnelles Laden - in einer Stunde oder weniger - erfordert etwas mehr Aufwand. Bei offenen Bleiakkus, wie z. B. Autobatterien, ist die Sache noch recht einfach: Hier wird einfach die Spannung überwacht und bei Überschreitung der sogenannten Lade-Schluß-Spannung der Ladevorgang abgebrochen. Bei den hermetisch gekapselten NiCd-Akkus funktioniert diese Strategie aber ganz und gar nicht.

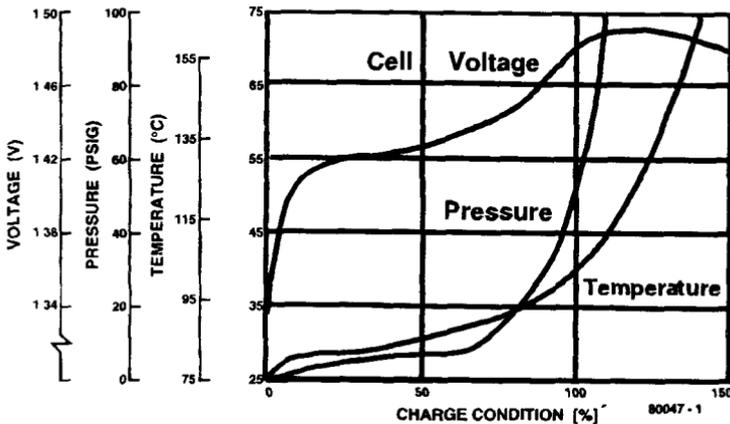


Bild 3.5.1. Das Verhalten einer NiCd-Zelle in Abhängigkeit vom Ladezustand.

Wie in Bild 3.5.1 zu sehen ist, steigt die Spannung eines NiCd-Akkus beim Laden zu Beginn recht schnell und dann

recht gemächlich. Ist der Akku fast voll, steigt die Spannung nochmals stärker an, um dann sogar wieder abzufallen. Dieses merkwürdige Verhalten ist so zu erklären:

Der Ladestrom bewirkt neben dem gewünschten Laden auch eine Zersetzung des Elektrolyten. Es entstehen also Gase (Sauerstoff), die nicht von den Elektroden gebunden werden können. Die Folge ist, daß der Druck in der (dichten) Zelle langsam steigt. Ist der Akku weitgehend voll geladen, wird das Verhältnis so ungünstig, daß der Ladestrom hauptsächlich Gasentwicklung und kaum noch Ladung bewirkt. Die Folge ist nun, daß der Druck in der Zelle und damit die Zellenspannung rapide ansteigt. Unter diesem Druck bindet sich ein Teil des Sauerstoffs unter Wärmeentwicklung an der negativen Elektrode. Da NiCd-Akkus einen negativen Temperaturkoeffizienten haben (etwa $-4\text{mV}/^\circ\text{C}$), sinkt deshalb kurz darauf die Zellenspannung wieder. Resultat ist das Spannungsmaximum - der Peak - bei etwa 100 % Kapazität. Der Effekt ist allerdings nur bei genügend hohen Ladeströmen so schön ausgeprägt, wie in Bild 3.5.1 dargestellt.

Was mit Peak gemeint ist, wäre geklärt. Nun zum Delta: Die naheliegendste Strategie wäre, die Ladespannung dauernd zu überwachen. Wenn sie zu sinken beginnt (oberhalb der 100%-Marke), ist der Akku leicht überladen. Der richtige Zeitpunkt also, um den Ladevorgang abubrechen. Zu diesem Zeitpunkt ist der Akku mit Sicherheit voll und noch nicht gefährdet. Da diese Methode auf der Auswertung von Spannungsänderungen beruht, ist das Delta an der Bezeichnung **Delta-Peak-Prinzip** wohl treffend.

Delta-Peak-Schaltung

Die Umsetzung des Prinzips in Elektronik ist gar nicht so schwierig, wie man vermuten könnte. Bild 3.5.2 zeigt eine aktuelle Schaltung: Zentraler Punkt der Schaltung ist die Erfassung der Spannungsänderungen des Akkus **Bt1**. Hierzu gelangt

gesperrt ist. Über den Relaiskontakt und R6 wird seine Basis-Emitter-Spannung noch auf etwa Null Volt gehalten. Mit einem Druck auf S1 wird T1 jedoch leitend, Re1 zieht an und T1 bleibt über R7 durchgeschaltet. Der Ladevorgang über die Lastwiderstände R11 und R12 hat begonnen.

Nach Überschreitung des Maximums der Akkuspannung wird die Spannung an Pin 3 von IC1 niedriger sein als an Pin 2. Folglich schaltet der Ausgang von IC1 nach Masse und T2 sperrt. Das Relais fällt ab und T1 sperrt wieder zuverlässig. Der Ladevorgang ist beendet.

Die Angelegenheit wäre eigentlich an diesem Punkt zu Ende - wenn da nicht noch die real existierenden Eigenschaften von Opamps hinzukämen. Diese ICs schalten nämlich nicht bei exakt null Volt. Sie haben Exemplarstreuungen von einigen Millivolt: Die sogenannte Offset-Spannung der Eingänge. Mit P1 kann diese Offsetspannung so eingestellt werden, daß das IC dann schaltet, wenn die Spannung an Pin 2 etwa 2mV über der an Pin 3 liegt. Für einen besonders einfachen Abgleich wurden auf der Platine extra 2 Anschlüsse zum Messen der Offsetspannung V_{offset} mit dem DVM herausgeführt, aus dem gleichen Grund ist mit JP1 eine steckbare Brücke vorgesehen.

Wie aus Bild 3.5.2 außerdem noch zu entnehmen ist, wird die Ladeschaltung von einem 12-V-(Auto-)Akkuverorgt. Das ist wegen der hohen Ladeströme (fast 4 A bei einem 1,2-Ah-NiCd-Akku) und der Mobilität ideal für das Laden von E-Modellakkus. Soll die Ladeschaltung aber am 230-V-Netz betrieben werden, ist ein starkes Netzgerät erforderlich, dessen Ausgangsspannung von typ. 12 bis 14 V bei den zu erwartenden Ladeströmen nicht einbricht.

Bau und Abgleich

Für ein möglichst kompaktes Schnelladegerät wurde eine besonders kleine und deshalb dicht gepackte Platine (Bild 3.5.3) entworfen. Alle Bauteile bis auf das Relais und P1 werden ste-

hend montiert. Aus diesem Grund sollte man zuerst die sieben Lötnägel und dann den Rest bestücken. Die beiden Hochlastwiderstände R11 und R12 kommen nicht auf die Platine, da sie hierfür zu heiß werden. Am besten montiert man die fertige Platine in ein kleines Metallgehäuse und verschraubt die beiden Lastwiderstände mit einer Gehäusewand zur besseren Wärmeabfuhr. Ein- und Ausgänge kann man z. B. mit den preiswerten 4-mm-Bananenbuchsen versehen oder die Kabel direkt an die Klemmen K1 und K2 anschließen und über passende Kabeldurchführungen nach draußen führen.

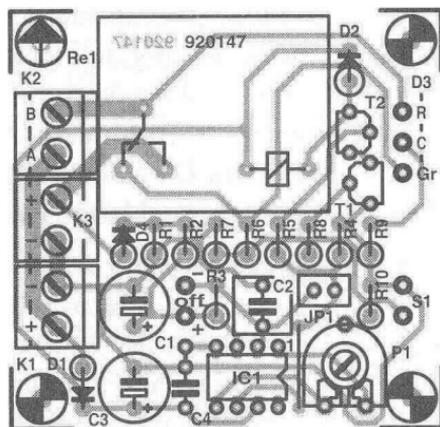


Bild 3.5.3. Für ein möglichst kompaktes Ladegerät ist die Platine klein und dicht gepackt gehalten. Die meisten Bauteile werden stehend montiert.

Stückliste

Widerstände:

R1, R2, R5 = 5k6
R3 = 2M2
R4 = 47 k
R6, R9 = 1 k
R7 = 10 k
R8 = 100 Ω
R10 = 1k5
R11, R12 = 0 Ω 33/25 W (gekuhlt,
Wert je nach Akku, siehe Text)
P1 = 100-k-Trimpoti

Kondensatoren:

C1, C3 = 100 μ /16 V radial
C2 = 2 μ 2 MKT
C4 = 100 n

Halbleiter: D1, D2 = 1N4004

D3 = 2-Farben-LED mit drei An-
schlüssen
D4 = 1N4148
T1 = BC557B
T2 = BC547B
IC1 = TL081

außerdem:

K1, K2, K3 = Lusterklennen für
Platinenmontage, 2-polig, 5-mm-
Rastermaß
Re1 = Relais 12 V, 8 A; z.B.
GBR10.1-11.12
S1 = Taster, 1-poliger Schließer

Der Abgleich der Schaltung ist sehr einfach. Hierzu muß die Ladeschaltung aber nicht nur mit 12 V versorgt werden, sondern auch noch ein zu ladender Akku angeschlossen sein. Der Akku braucht aber während des Abgleichs nicht unbedingt geladen zu werden. Wenn man S1 nicht betätigt, fließt kein Ladestrom, man kann dann für den Abgleich die 12-V-Betriebsspannung auch aus einem kleinen (Labor-) Netzteil mit weniger als 500 mA Ausgangsstrom beziehen. Die Steckbrücke JP1 muß gesetzt und ein Digitalmultimeter an plus und minus der Offsetspannung angeschlossen sein. Hierzu sind extra zwei Meßpunkte auf der Platine an Lötnägel herausgeführt, + „off“ wird mit der positiven DC-Meßbuchse sowie - „off“ mit der negativen Buchse („Common“) des Multimeters verbunden. Damit sich eine Spannung im mV-Bereich gut messen läßt, wird der kleinste DC-Spannungsmessbereich gewählt. Bei richtiger Einstellung von P1 muß das DMM eine Spannung von -2,0 mV anzeigen. Nach Entfernen von Meßgerät und Steckbrücke ist die Schaltung schon einsatzbereit.

Eine kleine Verfeinerung besteht in einer Ladestromanzeige. Wenn man ein passendes Drehspul- oder Dreheiseninstrument (5-A-Meßbereich) mit einbaut und in die +12-V-Leitung schaltet, hat man den Ladestrom jederzeit optisch unter Kontrolle.

Betrieb

Aufgefallen ist sicherlich die Zweifarben-LED. Mit dieser Funktionsanzeige hat es folgendes auf sich: Liegt die Schaltung an 12 V und befindet sie sich nicht im Ladezustand, dann sind beide LED-Hälften stromdurchflossen und D3 leuchtet orange. Das ist der Bereitschaftsmodus. Beginnt nach Betätigung von S1 ein Ladezyklus, leuchtet D3 während der Ladezeit rot. Anschließend, wenn das Relais beim Ladeschluß wieder abgefallen ist, leuchtet D3 wieder orange. D3 bleibt selbstverständlich dunkel, wenn die Verbindung mit den beiden Lastwiderständen oder dem Autoakku nicht in Ordnung ist. Sollte aus Versehen der zu ladende Akku verpolt angeschlossen sein, dann klappert nach Druck auf S1 das Relais deutlich hörbar und man weiß, was man jetzt zu tun hat.

Nachdem ein Akku geladen wurde, sollte man eine kurze Pause von mindestens etwa 15 Sekunden einlegen, bevor man den nächsten Akku anschließt. Die Schaltung läßt sich nämlich mit S1 erst dann wieder starten, wenn sich C2 entladen hat - und das dauert etwa 10 bis 20 Sekunden.

Andere Akkus

Die angegebene Schaltungsdimensionierung ist auf ein 7,2-V-Powerpack mit 1,2 Ah zugeschnitten. Für andere Akkuspannungen und Kapazitäten muß der Widerstand von R11 und R12 angepaßt werden und dazu ist etwas Rechnerei notwendig:

Als Rechenbeispiel dient ein typisches Powerpack 7,2 V/1,5 Ah. Geladen wird mit der dreifachen Kapazität - etwa 3,5 bis 4 A. Bei diesem hohen Strom liegt die Ladespannung einer NiCd-Zelle bei gut 1,6 V. Unser Akku verfügt über sechs Zel-

len. Inclusive der Spannungsabfälle über Kabel und Klemmen ergibt sich eine Spannung von etwa 10 V. Der speisende Autoakku liefert eine Spannung von 12...13 V. Kalkuliert man mit einer Spannungsdifferenz von 2,5 V, ergibt sich für einen Gesamtwiderstand von $0,66 \Omega$ für $R1 + R12$ ein Strom von etwa 3,8 A. Die $0,66 \Omega$ lassen sich schön durch eine Serienschaltung aus zwei **0,33- Ω -Widerständen** erreichen. Für einen anderen Akkusatz aus z.B. fünf **NiCd-Hochstromzellen** ergeben sich 6 V/0,6 Ah. Die Ladespannung dürfte bei einem Ladestrom von knapp 2 A etwa bei 8 V liegen. Die Spannungsdifferenz beträgt also 4,5 V. Der geeignete Widerstand von $2,4 \Omega$ ließe sich demgemäß einfach aus zwei (schwächeren) $1,2\text{-}\Omega$ -Widerständen zusammensetzen.

Generell ist zu sagen, daß sich Akkus bis zu einer Nennspannung von 7,2 V noch vernünftig aus einem Autoakku laden lassen. Kleinere Nennspannungen machen keine Probleme. Für Akkus mit 8,4 V oder gar 9,6 V Nennspannung sollte die Versorgungsspannung auf mindestens 15 V erhöht werden - Autoakkus sind hier also nicht mehr geeignet.

3.6 ICS-1700-Reflexlader

nach einem Entwurf von M. Greve

Mit dem ICS-1700 steht erstmals ein digitales Lade-IC zur Verfügung, das nach dem ebenfalls neuen Reflexprinzip akkuschonendes Schnellladen ermöglicht. Die hier vorgestellte Bauanleitung mit Platinenlayout sorgt für die unkomplizierte Anwendung in der Praxis.

Technische Daten:

- Digitale Ladekontrolle
- Automatische Schnellladung nach dem Reflexprinzip
- Automatische Umschaltung auf Erhaltungsladen nach Ladeende
- 1 bis 7 Zellen einstellbar
- Ladestrom 1A oder 3A
- Entladestrom 2,5 A oder 7,5 A
- Max. Zellenkapazität bis 3,5 Ah oder 10,5 Ah

Im Gegensatz zu bisherigen integrierten Ladeschaltungen in analoger Technik zeichnet sich das ICS-1700 durch ein voll digitales Konzept mit einem schnellen RISC-Controller aus, der es ermöglicht, NiCd-Akkus besonders schnell und schonend nach dem neuartigen Reflexprinzip zu laden. Automatische Vorentladung und Umschaltung auf Erhaltungsladung nach dem Laden sind dabei schon fast selbstverständlich.

Bei der Konzeption einer Schaltung mit Platinenlayout für den Nachbau haben wir praktische Erfahrungen mit früheren Ladeschaltungen besonders berücksichtigt. So wurde die Schaltung von **vorneherein** fest für die am häufigsten vorkommenden Zellenzahlen und Akkukapazitäten dimensioniert. Das Ziel war es dabei, den Nachbau so einfach und unkompliziert wie möglich zu gestalten, da Nicadlader häufig gerade von den Lesern nachgebaut werden, die in der Elektronik weniger erfahren und deshalb auch nicht in der Lage sind, Dimensionierungen selbständig festzulegen oder anzupassen. So wurde auch bei der Auslegung der Platine darauf geachtet, den Verdrahtungsaufwand gering zu halten. Aus diesem Grund befindet sich bei der Standardversion für 1 A Ladestrom auch der Trafo mit auf der Platine. Da das IC nach anfänglichen Testproblemen des Herstellers inzwischen auch problemlos lieferbar sein sollte, steht dem erfolgreichen Nachbau des ultimativen Reflexladers nun nichts mehr im **Wege!**

Das Reflex-Prinzip

Das wesentliche Element des von **Christie Electric Corp.** 1988 patentierten **Reflex-Verfahrens** liegt darin, daß während des Ladevorgangs (mit hohem Strom) periodisch für eine kurze Zeit (mit einem noch höheren Strom) entladen wird. Bild 3.6.1 veranschaulicht den zeitlichen Ablauf des Verfahrens: Während einer Periodendauer von einer Sekunde wird für 983 ms mit dem Ladestrom (hier 1C) geladen. Nach einer kurzen Pause von 2 ms wird der Akku mit dem 2,5-fachen Strom (also 2,5C) entladen. Nach einer weiteren Phase von 10 ms beginnt die nächste Ladephase von 983 ms.

Der Sinn der Prozedur ist: Während des Ladens mit hohem Strom entstehen durch Elektrolyseprozesse kleine Sauerstoffbläschen an den Elektroden. Dadurch wird die effektive Elektrodenfläche reduziert und so die Impedanz der Zelle erhöht. Eine erhöhte **Zellenimpedanz** aber hat eine geringere

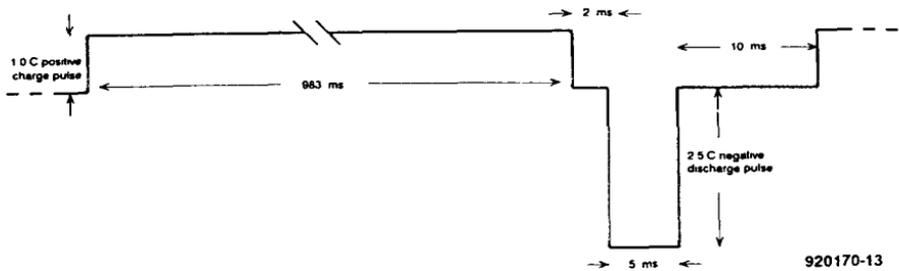


Bild 3.6.1. Das Impulsdiagramm für den Lademodus am Beispiel eines IC-Ladestroms.

Ladeeffektivität und zudem eine höhere Temperatur zur Folge. Um dies zu vermeiden, ist der periodische Entladepuls vorgesehen. Dieser Entladepuls löst die Bläschen von den Elektroden ab und fördert durch den nun umgekehrten Stromfluß die Rekombination des Sauerstoffs an der negativen Elektrode. Die Strategie arbeitet aber nur dann zuverlässig, wenn die Gasbläschen noch sehr klein sind. Aus diesem Grunde erfolgt der Entladepuls jede Sekunde. Der Vorteil des Verfahrens liegt nun nicht nur im höheren zulässigen Ladestrom. Die Effektivität des Ladevorgangs steigert sich nämlich auch noch dadurch, daß (NiCd-typisch) allein schon durch die Hochstromladung eine zusätzlich höhere Effektivität erzielt wird. Während die Effektivität beim Reflex-Prinzip mehr als 95 % (bei minimaler Zellenerwärmung) erreicht, liegt die Effektivität bei konventioneller C/3-Ladung bei nur etwa 70 %. Das Reflex-Prinzip setzt also mehr Energie in Ladung statt in Gasentwicklung um. Außerdem verhindert das Verfahren den Gedächtniseffekt, indem größere Kristalle durch den hohen Entladepuls in kleinere Strukturen zerbrechen.

Ladeschluß

Das IC beendet den Ladevorgang dann, wenn die Ladespannung zu fallen beginnt. Das ist die akkufreundlichste Methode, da die Ladung beendet wird, bevor Überladung beginnt. Da es

sich beim ICS-1700 um einen speziellen RISC-Prozessor mit integriertem 10-bit-A/D-Umsetzer handelt, erfolgt die Steuerung der Lade- und Entladevorgänge ebenso wie die Erfassung und Auswertung der Ladespannung digital. Hierzu mißt das IC mit seinem A/D-Umsetzer jede Sekunde während der 10-ms-Pause in Bild 3.6.1 die Akkuspannung. Es wird vorteilhafterweise also die Leerlaufspannung gemessen. Aus den einzelnen aufeinanderfolgenden Meßwerten werden zunächst Mittelwerte gebildet (um kleine zufällige Spannungsänderung und das Rauschen des A/D-Umsetzers zu beseitigen), diese dann intern gespeichert und dann daraus die Steigung der Spannungskurve per linearer Regression ermittelt. Das Resultat ist die erste Ableitung der Spannungskurve aus Bild 3.6.2. Wenn die so ermittelte Kurve um einen bestimmten Betrag gefallen ist, dann wird der sogenannte Cutoff Point erreicht und die Ladung wird beendet. Das IC schaltet anschließend in den Ladeerhaltungsmodus. Neben diesem Normalfall erkennt das IC noch eine ganze Reihe möglicher

Abweichungen und Fehler

O Wenn ein Akku aus Zellen mit ungleichen Eigenschaften zusammengesetzt ist, können die einzelnen Zellen zu unterschiedlichen Zeiten kleine Spannungspeaks produzieren. Ein definierter großer **Peak**, in Bild 3.6.2 eingezeichnet, bleibt dann aus. Es erscheinen mehrere kleinere Peaks hintereinander, die den Ladevorgang ebenfalls beenden und Umschalten auf Erhaltungsladung bewirken.

O Wird ein bereits voll geladener Akku erneut geladen, dann steigt die Ladespannung schnell weiter. Schließlich wird die Energie jetzt nur noch in Gasentwicklung umgesetzt. Bei (zu) schnellem Spannungsanstieg bei Ladebeginn schaltet das IC zur Vermeidung von Überladung ebenfalls auf Ladeerhaltung um.

O Überladene Akkus, die sofort ein zweites Mal geladen werden, zeigen direkt einen deutlichen Abfall ihrer Spannungs-

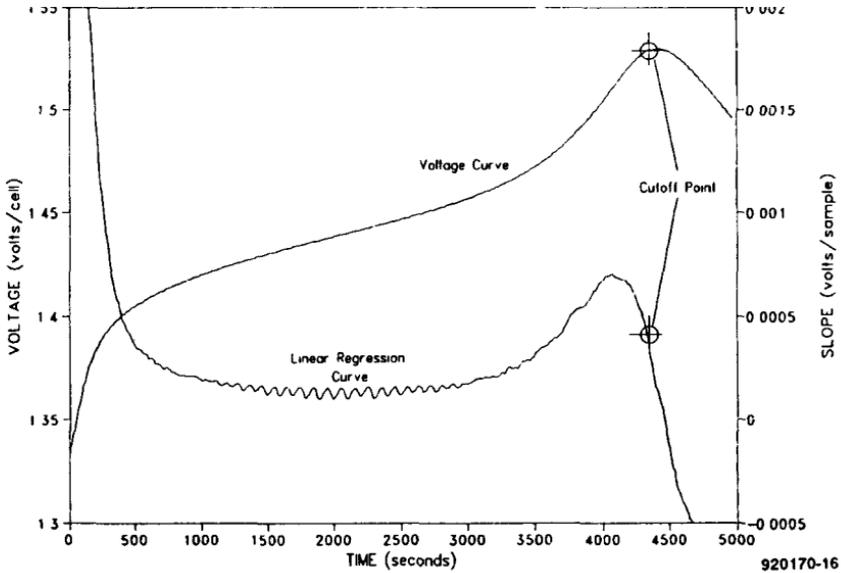


Bild 3.6.2. Das Diagramm zeigt den typischen Verlauf der Ladespannung an einer Zelle bei IC-Ladung und die daraus vom ICS-1700 berechnete Kurve der ersten Ableitung. Als letzterer ermittelt der Laderegler den Abschalt-punkt (Cutoff Point), der das Laden beendet.

kurve. Auch dieses Verhalten wird entdeckt und führt zum Umschalten auf Ladeerhaltung.

O Werden leere NiCd-Akkus längere Zeit unbenutzt gelagert, können sie in einen Zustand erhöhter Impedanz geraten. Das ICS-1700 erkennt solche Akkus, beendet dann die Lade-phase und meldet einen Fehler.

O Falls einzelne Zellen eines Akkus einmal Schlüsse aufweisen, erreicht der Akku nicht seine Nominalspannung, wenn der Ladestrom fließt. Dies erkennt das IC, meldet einen Fehler und beendet den Ladevorgang. Dies funktioniert in der Praxis aber nicht immer zuverlässig.

O Als weitere Sicherheitsmaßnahme meldet das IC einen Fehler und stoppt die Ladung dann, wenn es ein Überschreiten der (voreingestellten) maximalen Ladezeit feststellt.

O Letzte Sicherheit bietet ein **anschließbarer Thermoschalter**, der dann öffnen sollte, wenn die Batterie zu warm wird (45 ... 50°C). Selbstverständlich überwacht **der ICS-1700** auch die Anschlüsse zum Akku und vermutet bei viel zu großer Spannung während eines Ladepulses einen Kabelbruch oder einen nicht angeschlossenen Akku als Fehler. Steigt die Spannung während des Ladepulses überhaupt nicht, wird ein Kurzschluß diagnostiziert.

Erhaltungsladung und Ladeströme

Nach dem Umschalten auf Erhaltungsladung wird konsequenterweise, ähnlich wie beim Lademodus, mit Pulsen gearbeitet. Abhängig vom Ladestrom wird einfach die Ladepause so verlängert, daß sich ein mittlerer Ladestrom von $C/30$ ergibt. Bei **1C-Ladestrom** wird während einer Periodendauer von 30 s ein **1C-Ladestromimpuls** mit 983 ms gefolgt von einem **2,5C-Entladestrompuls** mit 5 ms generiert. Auch während der Laderhaltung wird so ein Anwachsen der Kristalle und damit eine Verminderung der Kapazität zuverlässig verhindert.

Das IC verfügt über zwei Anschlüsse, an denen die maximale Ladezeit durch die logischen Pegel an diesen Eingängen programmiert wird. Für den Basiszeittakt sorgt ein interner Oszillator mit einem frequenzbestimmenden externen **RC-Glied**.

Diese Ladezeitprogrammierung dient lediglich der bereits erwähnten Zeitbegrenzung als letztes Mittel zur Beendigung des Ladens, wenn alle anderen Abschaltkriterien (Spannungsverlauf, Temperatur) aufgrund eines ungewöhnlichen Fehlers nicht vorher erreicht werden. Mit dieser Ladezeitprogrammierung wird gleichzeitig auch die Periodendauer für die Laderhaltung mit einer Laderate von $C/30$ eingestellt.

Anschlüsse für die Ladezeitprogrammierung. Offene Pins sind logisch 1, für logisch 0 stellt ein Jumper die Verbindung nach Masse her.

Pin 10 ist der **Reseteingang**, der Reset erfolgt beim Einschalten über C4/D5 automatisch und kann mit Taster S2 jederzeit manuell betätigt werden.

An Pin 11 befindet sich das **RC-Glied R2/C1** für den internen Taktoszillator. Pin 15 ist ein Testpin und liegt in der Anwendungsschaltung immer an Masse. An Pin 13 erhält der A/D-Wandler des ICs seine Referenzspannung, die über einen LM385 (D4) ausreichend genau erzeugt wird. An Pin 14, direkt daneben, liegt der Eingang des A/D-Wandlers, der über einen Spannungsteiler R7/R8 mit dem zu ladenden Akku verbunden ist.

Der Ausgang CHARGE des ICs (Pin 1) schaltet über S3 die Stromquelle mit T2 und T3, die den Ladestromimpuls für den Akku liefert. Der Ausgang DISCHARGE (Pin 2) steuert über R4 den Entlade-Transistor T1, einen BUZIO, für den Entladestromimpuls.

An Pin 12 kann ein **Thermoschalter (S1)** angeschlossen werden, der am Akkupack befestigt wird und bei einer Temperatur von über 45 °C seinen Kontakt öffnet. Wenn kein Temperaturschalter angeschlossen wird, ist Pin 12 auf Masse zu legen.

Bleiben noch drei mit Anzeige-LEDs beschaltete Ausgänge: Pin 3 mit D1 für „**Batteriefehler**“, Pin 4 mit D3 für „**Laden**“ und Pin 5 mit D2 für „**Übertemperatur**“.

Die Stromversorgung besteht aus Trafo mit Brückengleichrichter (D6 bis D9) für den Ladestrom. Zur Versorgung des Lade-ICs ist ein 7805 (IC2) vorgesehen, der seine Eingangsspannung über D10 vom Brückengleichrichter bezieht.

Dimensionierungen

Für den Nachbau sind keinerlei Berechnungen erforderlich, da in den Tabellen 3.6.1 bis 3.6.4 alle benötigten Angaben zu **finden** sind. Zu einer vollständigen Schaltungsbeschreibung gehören aber auch Informationen zur Dimensionierung, um interessierten Lesern diese wichtigen Hinweise für eigene Entwicklungen nicht vorzuenthalten.

Der Ladestrom I_L wird durch die Stromquelle mit T3 wie folgt festgelegt: $I_L = (U_{D11} - U_{BE})/R11$

Eingesetzt ergibt sich: $(1,8 \text{ V} - 0,6 \text{ V})/1,2 \Omega = 1 \text{ A}$

Bei zu großen Toleranzen von U_{D11} und U_{BE} muß man R11 eventuell anpassen: größerer Widerstand ergibt kleineren Strom (und umgekehrt). Ladestrom wie folgt messen: IC1 nicht bestücken, R3 mit +5 V verbinden, anstelle des Akkus Amperemeter kurzzeitig an die Ladeklemmen anschließen und Strom ablesen.

Für das Entladen wurde ein **SIPMOS-Power-FET** eingesetzt, um den Spannungsabfall beim Entladen einzelner Zellen gering zu halten. Der Entladestrom I_{EL} soll etwa 2,5 mal so groß wie der Ladestrom sein, er wird durch die Akkuspannung und R9 bestimmt:

$$I_{EL} = U_{\text{Akku}}/R9$$

Eingesetzt für $U_{\text{Akku}} = 7,2 \text{ V}$ und $R9 = 2,7 \Omega$ ergibt sich:

$$I_{EL} = 7,2 \text{ V}/2,7 \Omega = 2,7 \text{ A}$$

Eine Belastbarkeit von 1 W reicht aus, da der Entladestrom gepulst wird und daher nur kurzzeitig fließt.

Die Ladespannung wird über den Spannungsteiler **R7/R8** gemessen, dessen Dimensionierung sich nach der Anzahl der Zellen richtet.

Tabelle 3.6.1. Dimensionierung für 1 A Ladestrom und 2,5 A Entladestrom $\pm 10\%$).

Zellenzahl	R11	R7	R8	R9
1	1,2 $\Omega/2$ W	0	3k9	0,47 $\Omega/1$ W
2	1,2 $\Omega/2$ W	3k9	3k9	1 $\Omega/1$ W
3	1,2 $\Omega/2$ W	8k2	3k9	1,5 $\Omega/1$ W
4	1,2 $\Omega/2$ W	12 k	3k9	2,2 $\Omega/1$ W
5	1,2 $\Omega/2$ W	15 k	3k9	2,4 $\Omega/1$ W
6	1,2 $\Omega/2$ W	20 k	3k9	2,7 $\Omega/1$ W
7	1,2 $\Omega/2$ W	20 k	3k9	3,3 $\Omega/1$ W

Tabelle 3.6.2. Timerprogrammierung mit den Jumpern für die Ladezeitbegrenzung in Abhängigkeit von der Zellenkapazität. Jumper an den Anschlüssen S1 (Pin 9) und S0 (Pin 6) von IC1 (J = Jumper gesetzt; N = nicht gesetzt).

S1	S0	Timer-Zeit	Zellenkapazität bis max
J	J	30 min	500 mAh
N	J	60 min	1000 mAh
J	N	90 min	1500 mAh
N	N	210 min	3500 mAh

Tabelle 3.6.3. Dimensionierung für 3 A Ladestrom und 7,5 A Entladestrom $\pm 10\%$).

Zellenzahl	R11	R7	R8	R9
1	0,39 $\Omega/5$ W	0	3k9	0,15 $\Omega/1$ W
2	0,39 $\Omega/5$ W	3k9	3k9	0,3 $\Omega/1$ W
3	0,39 $\Omega/5$ W	8k2	3k9	0,5 $\Omega/1$ W
4	0,39 $\Omega/5$ W	12 k	3k9	0,65 $\Omega/1$ W
5	0,39 $\Omega/5$ W	15 k	3k9	0,824 $\Omega/1$ W
6	0,39 $\Omega/5$ W	20 k	3k9	1 $\Omega/1$ W
7	0,39 $\Omega/5$ W	20 k	3k9	1 $\Omega/1$ W

Tabelle 3.6.4. Timerprogrammierung für die Ladezeitbegrenzung bei 3 A Ladestrom/7,5 A Entladestrom. Jumper an den Anschlüssen S1 (Pin 9) und SO (Pin 6) von IC1 (J = Jumper gesetzt, N = nicht gesetzt)

S1	SO	Maximale Ladezeit	Zellenkapazität bis max.
J	J	30 min	500 mAh
N	J	60 min	1000 mAh
J	N	90 min	1500 mAh
N	N	210 min	3500 mAh

Für die Berechnung gilt:

$$R7 = (n - 1) \cdot R8$$

worin n die Anzahl der angeschlossenen Zellen angibt. Bei Ladung von nur einer Zelle wird R7 daher 0 (Drahtbrücke).

Die Ladezeit wird durch die Voreinstellung entsprechend Tabelle 3.6.2 mit den Jumpfern (oder wahlweise Schaltern) an den IC-Anschlüssen SO und S1 (Pin 6 und 9) begrenzt. Die Logikpegel an diesen Pins legen die Zeitintervalle als Vielfaches (x2, x3, x7) des Grundintervalls fest. Die Dauer des Grundintervalls (JP1 und JP2 gesetzt) hängt von der mit dem externen RC-Glied R2/C1 eingestellten Taktfrequenz ab und beträgt in der angegebenen Dimensionierung etwa 30 Minuten. Wegen der hohen Ladeeffektivität wird man den Timer immer auf eine Zeit einstellen, die deutlich über der tatsächlichen Ladezeit bei normalem Ladeverlauf liegt. Praktisches Beispiel: Beim Laden von Mignons mit 600 oder 650 mAh ist JP1 offen und JP2 geschlossen, so daß eine Notabschaltung nach etwa 1 h erfolgen würde. Die tatsächliche Ladezeit bis zum Umschalten auf Erhaltungsladung liegt bei 1 A Ladestrom dank des Reflexverfahrens aber in der Größenordnung von nur 40 Minuten.

Aufbau und Inbetriebnahme

In Bild 3.6.4 ist die Bestückung der sehr kompakten Platine angegeben, die alle Bauteile inklusive Trafo aufnimmt. Achten Sie bei Test und Einbau darauf, daß die netzspannungsführenden Teile der Platine (K1, F1 und darunterliegende Leiterbahnen) vor Berührung geschützt werden. Für IC1 sollte man eine qualitativ hochwertige Fassung verwenden und das IC erst unmittelbar vor der Inbetriebnahme (richtig herum!) einsetzen.

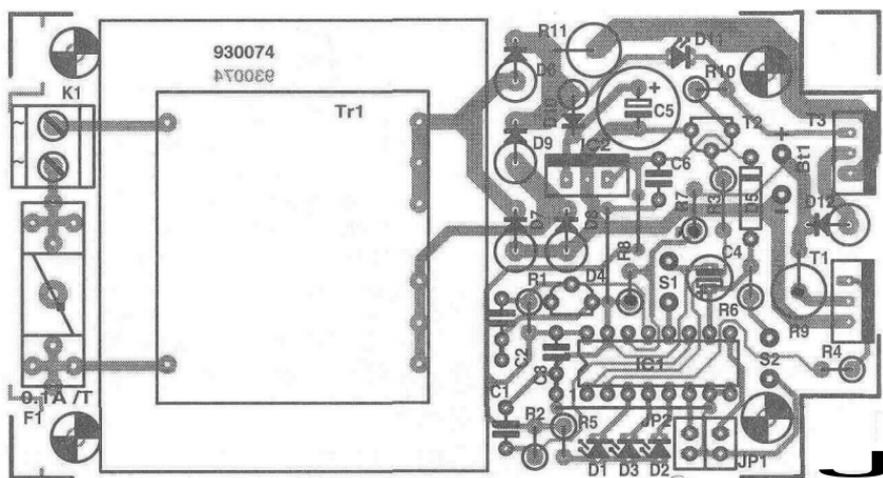


Bild 3.6.4. Die Platine des ICS-1700-Reflexladers ist sehr kompakt gehalten, deshalb ist bei der Bestückung entsprechende Sorgfalt vonnoten.

Noch ein Hinweis zum ICS-1700:

Nach einer Mitteilung des Herstellers sind vor Mitte Februar 1993 einige ICs (sämtliche mit Datumscode G92xx) versehentlich nicht 100-prozentig getestet worden, was zu einem vorzeitigen Beenden des Ladezyklus (bei A/D-Wandlerfehlern) führen kann. Die seit Mitte Februar 93 nach geändertem Prüfzyklus gelieferten ICs sind mit einem grünen Punkt auf der Gehäuseoberfläche als Unterscheidungsmerkmal (zusätzlich zum Datumscode) gekennzeichnet. Sollten Sie also ein

IC mit **Datumscode** G92xx und ohne grünen Punkt besitzen, können Sie es bei Ihrem Lieferanten umtauschen.

Stückliste

Widerstände:

R1 = 4k7

R2 = 15 k

R3 = 33 k

R4 = 1k5

R5 = 470 Ω

R6 = 100 Ω

R7 = * 20 K

R8 = * 2,9 K

R9 = * 2,1 - 1

R10 = 220 Ω

R11 = 1 Ω 2/2 W

* je nach Zellenzahl, siehe Tabelle
3 6 1

Kondensatoren: C1 = 100 p

C2, C3, C6 = 100 n

C4 = 1 μ /16 V stehend

C5 = 100 μ /25 V stehend

Halbleiter: D1, D2 = LED 3 mm rot

D3 = LED 3 mm grün

D4 = LM 385/1 2

D5 = 1N4148

D6 D9, D12 = 1N5408 D10 =
1N4001

D11 = LED 3 mm rot

T1 = BUZ10

T2 = BC547B

T3 = BD240C

IC1 = ICS-1700

IC2 = 7805

außerdem:

K1 = 2-polige Platinenlusterklemmen, Rastermaß 5 mm

S1 = Thermoschalter, Öffner, Schaltpunkt 45 °C

S2 = 1-poliger Taster (Schleßer)

Tr1 = Netztrafo für Platinenmontage 12V/1A (z.B. VTR12112 von Monacor)

F1 = Sicherung 100 mA träge mit Halter für Platinenmontage

Kühlkörper für T1 und T3 mit Isoliermaterial

Kontrollieren Sie vor dem Einbau und der Inbetriebnahme die Bestückung - insbesondere die richtige Polarität der Dioden und Elkos und die korrekte Dimensionierung entsprechend der gewünschten Zellenzahl und Kapazität anhand der Tabellen 3.6.1 und 3.6.2. Angesichts der gedrängten Bestückung sollte man sowohl auf der Lötseite die Lötstellen als auch auf der Bestückungsseite die Bauteilanschlüsse auf unbeabsichtigte Verbindungen (Schlüsse) untersuchen. Die beiden Transistoren befinden sich mit den Kühlflächen nach außen auf einer Platinenseite, so daß man sie leicht - aber isoliert

(Glimmer- oder Keramikscheiben und Wärmeleitpaste) - auf einem gemeinsamen Kühlkörper montieren kann. Beim Einbau in ein nicht schutzisoliertes Gehäuse (Metallgehäuse) ist auf den sicheren Anschluß des Schutzleiters zu achten.

Bei der Inbetriebnahme mit nicht angeschlossenem Akku dauert es nach dem Einschalten (oder Reset) etwa 14 Sekunden, bis die Fehler-LED D1 (Batteriefehler) aufleuchtet, LED D3 bleibt dunkel. Bei angeschlossenem Akku **wird** nach dem Einschalten (oder Reset mit S2) die LED D3 leuchten. Wenn sofort D2 aufleuchtet, ist der Anschluß des **Thermoschalters** zu überprüfen (Schalter defekt oder Leitung unterbrochen). Nach dem Ladeende wird der Übergang auf Erhaltungsladung durch Blinken von D3 (im 0,5-s-Rhythmus) angezeigt.

3A/7,5A

Die Auslegung der Schaltung erlaubt es, den Ladestrom bis auf 3 A und den Entladestrom bis auf 7,5 A zu erhöhen. Dazu müssen allerdings die Leiterbahnen von den Batterieanschlüssen der Platine zu R9 und T1 durch zusätzlichen (**parallelgeschaltet** oder aufgelöteten) Schaltdraht verstärkt werden. Das gilt auch für die Leiterbahnen der Diodenbrücke D6 bis D9 und die folgenden Leiterbahnen der Ladeschaltung: **D6/D9-R11-T3-D12-Bt1+** und die Massebahn vom Akkuananschluß Bt1- nach **D8/D9**. Beim Anschluß des Akkus ist ebenfalls auf besonders niedrige Übergangswiderstände (Klemmen und Kabel) zu **achten!**

Natürlich paßt ein 12-V/3-A-Trafonicht mehr auf die Platine, er ist daher getrennt zu montieren und primär- und sekundärseitig mit den entsprechenden Platinenanschlüssen zu verbinden. Netzanschluß und Sicherung bleiben dann auf der Platine, allerdings ist der Sicherungshalter mit 0,3 A/T zu bestücken.

Bei den höheren Strömen ist auch ein entsprechender größerer Kühlkörper für T1 und T3 zu verwenden. Die Bauteilwerte

für **R7...R9** und **R11** sind in Tabelle 3.6.3 angegeben, die Timereinstellung ist in Tabelle 3.6.4 zu finden.

Abschließend noch ein Hinweis für versierte Elektroniker, die noch mehr Zellen laden möchten: Dies ist in der **1-A-Ausführung** möglich, indem man einen Trafo mit entsprechend höherer Sekundärspannung einlötet. Ohne Schutzmaßnahmen für den 7805 ist dies allenfalls bis **15 V** möglich, da seine maximale Eingangsspannung 20 V nicht überschreiten darf. Vorsichtshalber wäre ein 7810 oder 7812 als Vorregler angebracht, der sich zwischen **D10** und **IC2** einschleifen ließe. Die Werte für **R7**, **R8** und **R9** sind für die gewünschte Zellenzahl wie bei „**Dimensionierungen**“ angegeben zu berechnen, **R11** kann unverändert **1,2 n/2 W** bleiben.

3.7 U2400-Unilader

U. Bangert und W. Ernst †

Mit dem Spezial-IC U2400B sind bereits zwei Ladeschaltungen beschrieben. Die hier vorgestellte Schaltung ist eine weitere Variante mit den Vorteilen der universellen Anwendung mit einfachem Aufbau sowie unkritischem Abgleich.

Technische Daten

- Ladestrom in zwei Bereichen (0...100 mA und 0...2 A) stufenlos einstellbar
- Ladezeit in sechs Stufen (30 min., 1 h, 2 h, 4 h, 8 h und 16 h) schaltbar
- Zellenzahl in zwölf Stufen wählbar für Akkus von 1,2 bis 14,4 V (1 bis 12 Zellen) wählbar
- nur ein einziger Abgleichpunkt
- Abschaltbare Vorentladung vor Ladebeginn
- Automatische Erhaltungsladung nach Vollladung
- Überhitzungs- und Überspannungsschutz
- LED-Anzeigen und Amperemeter zur Ladungsüberwachung

U2400B

Herz der Schaltung ist der Ladeprozessor U2400B von Telefunken. Das IC wurde speziell für NiCd-Lader entwickelt und verfügt daher über eine Menge spezifischer Einrichtungen. Das IC steuert die Ladung mit vorgegebener Ladezeit und konstantem Ladestrom. Dieses Verfahren setzt allerdings voraus, daß der Akku am Beginn der Ladung vollständig entladen ist. Um

dies unter allen Umständen sicherzustellen, beginnt das Laden zuerst einmal mit einer Entladephase. Das IC legt als erste Maßnahme seinen **Entladeausgang** Pin 10 (Bild 3.7.1) auf **High-Pegel**. An diesen Ausgang ist eine Entladestufe angeschlossen, die den Akku so lange entlädt, bis am **Entlade-Stop-Eingang** Pin 6 eine Spannung von 0,525 V unterschritten wird. Dann startet sofort die eigentliche Ladephase. Hierzu legt das IC Pin 10 wieder auf **Low-Pegel** und dann seinen Ladeausgang Pin 12 (der zu Beginn High-Pegel führt) ebenfalls auf Low-Pegel. Low an Pin 12 muß dann eine externe Ladeschaltung aktivieren. Ist die Ladezeit überschritten, beginnt die Phase der unbegrenzten Erhaltungsladung. Hierzu steuert interne Logik den Ladeausgang für 100ms in einem Zeitraum von 16,8s nach Low. Es fließen also nur noch effektiv etwa 0,6 % des vollen Ladestroms.

Die Vorentladung läßt sich abschalten, wenn Pin 6 mit Masse verbunden wird (siehe „**Modifikationen**“ am Beitragsende).

Die Ladezeit läßt sich über ein externes Taktsignal an Pin 16 oder über einen internen Taktgenerator festlegen. Der im IC enthaltene Timer generiert drei Ladezeiten (30 min, 1 h und 12 h), die Auswahl erfolgt über die Beschaltung von Pin 13. Bei der Schnellladung (30 und 60 min) wird mit vollem Strom geladen. Im **12-h-Betrieb** wird der Ladestrom gepulst (ähnlich wie bei der Erhaltungsladung), alle 1,2 s wird der Ladeausgang für nur 100 ms Low. Effektiv wird also mit 1/12 des vollen Stroms geladen. Der Ladestrom selbst kann durch eine einstellbare Spannung an Pin 2 variiert werden. Mit dieser Spannung verändert ein interner Pulsbreitenmodulator (PWM, mit 200 Hz getaktet) sein **Puls/Pausenverhältnis** und steuert damit den Ladeausgang. Auf diese Weise — und davon wird in dieser Schaltung Gebrauch gemacht - läßt sich der Effektivwert des Ladestroms bequem stufenlos einstellen.

Da es beim schnellen Laden von **NiCd-Akkus** zu Problemen kommen kann, verfügt das IC über zwei Schutzmechanismen

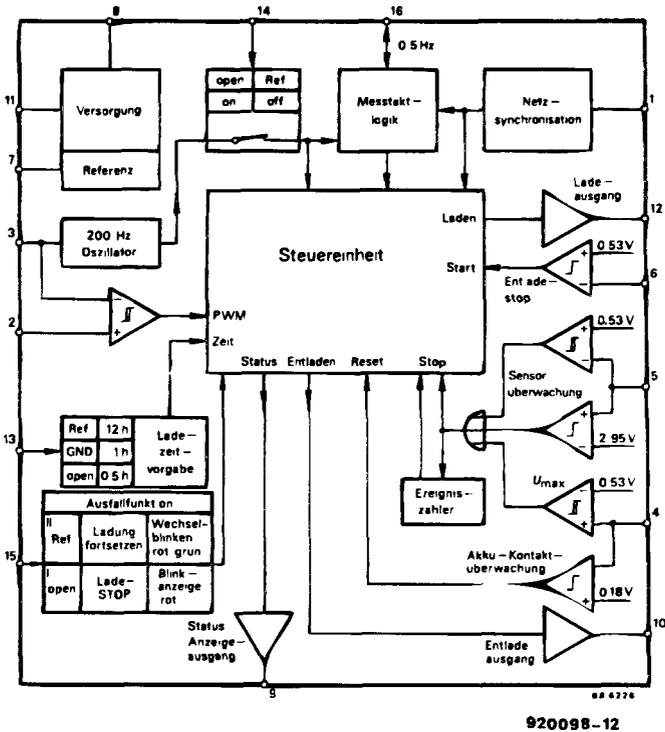


Bild 3.7.1. Das Innenleben des Ladeprozessor-ICs U2400B.

und eine Fehlerlogik, die eine Beschädigung der Akkus verhindern sollen. Zum einen wird mit Pin 5 die Spannung an einem Temperatursensor (NT) überwacht. Sinkt sie durch Überschreitung einer kritischen Temperatur (40°C) unter $0,525\text{ V}$, dann wird ein Fehler registriert. Der NT muß dazu selbstverständlich in gutem thermischen Kontakt mit dem Akku stehen. Falls die Anschlußdrähte zum NT oder dieser selbst defekt sind (Wackelkontakt etc.), wird das durch Überschreitung einer Spannung von $2,95\text{ V}$ an Pin 5 ebenfalls als Fehler gewertet. Der andere Schutzmechanismus besteht in einer Überwachung der Ladespannung. Überschreitet die Spannung an Pin 4 einen Wert von $0,525\text{ V}$, gilt dies auch als Fehler. Diese Span-

nung sollte über geeignete Spannungsteiler so eingestellt sein, daß auf Überspannung bei Zellenspannungen ab etwa 1,6 V erkannt wird. Hat die Fehlerlogik einen Fehler registriert, so macht das IC während des Fehlers Pause und fährt nach dessen Beendigung mit der Aktion fort, mit der es vor der Fehlerbedingung beschäftigt war. Wird aber ein zweiter Fehler registriert, so hängt das weitere Vorgehen von der Beschaltung von Pin 15 ab: Ist Pin 15 offen, dann wird der Lademodus abgebrochen und in den Erhaltungsmodus geschaltet. Von den an Pin 9 anzuschließenden LEDs leuchtet dann die rote dauernd. Liegt an Pin 15 aber die Referenzspannung (3 V, Pin 7), dann blinken die rote und die grüne LED im Wechsel und nach Wegfallen des Fehlers wird versucht, die restliche Ladezeit unter weiterem Blinken an den Akku zu bringen. In der vorliegenden Schaltung ist der zweite Fall aktiv. Bleibt noch die Frage, wie das IC feststellt, daß es mit seiner Arbeit beginnen soll. Nach Einschalten der Versorgungsspannung versetzt sich das IC in einen Bereitschaftsmodus und läßt die rote LED dann leuchten, wenn kein Akku angeschlossen ist. Wird ein Akku angeschlossen, bemerkt dies das IC dadurch, daß an Pin 4 eine Spannung zwischen 200 mV und 525 mV anliegt. Für eine per Spannungsteiler eingestellte Überspannungsgrenze von 1,6 V bedeutet dies, daß die einzelnen Akkuzellen eine Restspannung von mindestens 0,6 V haben müssen. Dann legt das IC nach einer Pause von ungefähr 2 s (während der die LEDs dunkel bleiben) endlich los. Die Akkus dürfen also nicht völlig entladen sein. Was man tun kann, wenn dies trotzdem einmal vorkommen sollte, wird später erläutert.

Während der Entladephase läßt das IC die rote LED blinken, während der Ladephase blinkt die grüne LED. In der anschließenden zeitlich unbegrenzten Phase der Ladungserhaltung leuchtet die grüne LED dauernd.

Universelle Schaltung

Nach der Darstellung der Funktionen des U2400B beschränkt sich die Schaltungsbeschreibung auf die externe Beschaltung und die Peripherie. Dazu zählt zuerst einmal die Stromversorgung. Der Netztrafo ist in Bild 3.7.2 nicht eingezeichnet. Er liefert eine Wechselspannung von 18 V bei einer Belastbarkeit von 3 A. Nach Gleichrichtung und Siebung regelt IC4 die 8-V-Betriebsspannung für die Steuerelektronik (IC1 . . . IC3) und das Amperemeter. Der Ladestrom für die Akkus wird der un-stabilisierten Spannung über R36 und R37 entnommen. Da die unbelastete Trafospaltung nach Gleichrichtung und Siebung locker 30 V erreichen kann, sollte IC4 sicherheitshalber mit einem kleinen Winkelkühlkörper ausgestattet werden. Aus dem gleichen Grund ist D1 in die Leitung zum Ladeteil eingefügt. Die Spannung an Pin 12 darf nämlich 27 V nicht überschreiten. Der Ladeteil selbst ist eine einfache Konstantstromquelle. Schaltet Pin 12 auf Low, fließt Strom über die Z-Diode D6, an der Diode fällt dann eine konstante (Z-)Spannung von 3,3 V ab. Bei ebenfalls weitgehend konstantem Spannungsabfall an den Basis-Emitter-Strecken der Transistoren T2 und T3 liegt damit auch die Spannung an den Emitterwiderständen R36/R37 fest. An den in Darlingtonkonfiguration hintereinandergeschalteten Basis-Emitterstrecken fallen etwa 1,5 V ab, so daß an den Widerständen 1,8 V anliegen. Bei offenem S1 macht das einen Strom von 100 mA. Ist S1 geschlossen, so sind R36 und R37 parallelgeschaltet und es fließen 2 A. D7 sorgt noch dafür, daß sich ein eventuell angeschlossener Akku auch bei ausgeschaltetem Ladegerät nicht entladen kann. T2 muß wegen der möglichen hohen Verlustleistung (maximal ungefähr 35 W bei einer Zelle und einem Ladestrom von 2 A) sehr gut gekühlt werden. Der Entladeteil ist bewußt einfach gehalten. Da auch der Entladeausgang vom Pulsbreitenmodulator gesteuert wird, laden die positiven Pulse an Pin 10 den Speicherkondensator C8. Die

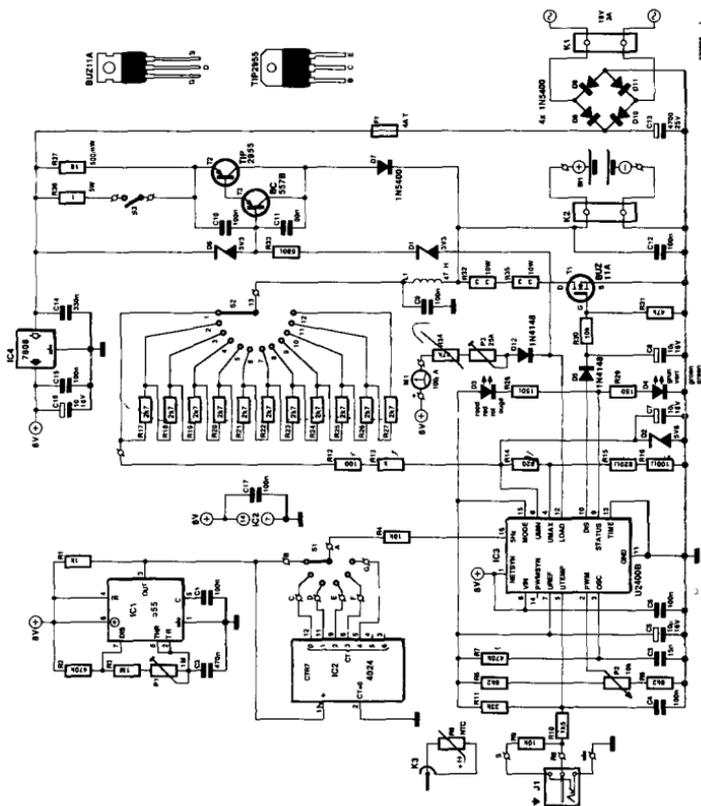


Bild 3.7.2. Die komplette Schaltung des Ladegerätes mit unversetzten Einsatzmöglichkeiten.

daran entstehende Spannung schaltet T1 durch. Voraussetzung ist allerdings, daß überhaupt ein Strom von $> 0 \text{ mA}$ eingestellt ist. Da es sich hier um einen Leistungs-MOSFET mit sehr niedrigem On-Widerstand handelt, fällt nahezu die gesamte Verlustleistung beim Entladen über R32 und R35 ab. T1 braucht also nicht besonders intensiv gekühlt zu werden. Daß der Entla-

destrom von der Akkuspannung abhängt, ist übrigens kein Problem. Die Akkus werden dank U2400B immer korrekt entladen und die Widerstände sind so gewählt, daß der resultierende Entladestrom praktisch von allen Akkutypen verkräftet wird — sogar von Knopfzellen, wenn man sie einzeln anschließt.

Der zwölfstufige Drehschalter S2 mit seinen vielen Widerständen im Zentrum des Schaltbilds sorgt dafür, daß die Überspannungserkennung an die jeweilige Zellenzahl angepaßt wird. D2 schützt Pin 6 und damit auch gleich Pin 4 vor zu hoher Spannung, die dann entstehen kann, wenn bei einer Einstellung von S2 auf eine einzige Zelle versehentlich doch ein Akku aus zwölf Zellen angeschlossen wird. Die kritische Grenze für diese beiden Pins liegt nämlich schon bei 6 V.

Über den zweiten Drehschalter wird das IC mit externem Zeittakt versorgt. Zeitbasis ist ein mit dem bekannten Timer-IC NE555 aufgebauter AMV. Sein Zeittakt wird mit P1 auf 1 Hz bzw. eine Periodendauer von 1 s eingestellt. Das ist übrigens der erwähnte einzige Abgleichpunkt. Um sechs verschiedene Ladezeiten zu erreichen, ist noch der Teiler IC2 vorgesehen. Seine Ausgänge liefern durch Zweierpotenzen geteilte Frequenzen.

Die an P2 eingestellte Spannung steuert den Pulsbreitenmodulator und damit den Ladestrom. Mit R6 und R5 ist der überstrichene Spannungsbereich so groß gewählt, daß in beiden Endstellungen von P2 je ein kleines Stück „toter Bereich“ existiert. Der Bereich von Null bis Maximalstrom kann so sicher eingestellt werden.

Der NTC zur Temperaturüberwachung wird über eine Klinkebuchse mit Schaltkontakt angeschlossen. Diese Vorgehensweise hat folgenden Vorteil: Bei manchen geschlossenen Akku-Packs bekommt man den NTC kaum in guten thermischen Kontakt mit den Akkuzellen. Die Temperaturüberwachung macht also dort keinen Sinn und man kann sie auch bleiben lassen. Zieht man den Stecker mit dem NTC, dann simu-

liert der nun aktive Widerstand R9 einen kühlen NTC und die Ladung kann ungestört begonnen werden.

Die Anwesenheit der vielen Block-Kondensatoren (100 nF) und von L1 ist leicht zu erklären: Sie verhindern die störenden Auswirkungen von HF-Einstrahlungen und netzbedingten Spannungsspitzen.

Noch ein Wort zu den Stufenschaltern: Für S2 wäre ein Typ mit sogenanntem **Make-Before-Break-Verhalten** nicht schlecht. Er würde die großen Spannungsveränderungen beim Umschalten zuverlässig minimieren. Für S1 wäre ein solcher Schalter aber schlecht gewählt, da er beim Umschalten IC-Ausgänge kurzschließen würde. Für S1 kommt also nur ein **Break-Before-Make-Schalter** in Frage.

Aufbau, Test und Abgleich

Die Platine (Bild 3.7.3) wurde so konzipiert, daß die Bedienungselemente (bis auf S1 und S3) und die LEDs auf einer Platinenseite und die beiden zu kühlenden Transistoren auf der gegenüberliegenden Seite platziert sind. Die fertig bestückte Platine kann also prima zwischen Vorder- und Rückwand eines passenden Metallgehäuses angeordnet werden. Die beiden Leistungstransistoren werden dann unter Zuhilfenahme von Wärmeleitpaste und unbedingt erforderlichen Isoliernipeln und Isolierscheiben auf die Rückwand geschraubt. Auf die Rückseite (Außenseite) der Rückwand kommt dann noch ein Kühlkörper mit höchstens 1,5 K/W, der auch mit Wärmeleitpaste versehen werden muß. Man kann die Transistoren selbstverständlich auch direkt (isoliert) am Kühlkörper befestigen und den Kühlkörper mit Platine im Gehäuse unterbringen. In diesem Fall muß das Gehäuse aber gut belüftet sein. Also entsprechend viele Löcher anbringen und/oder einen Ventilator verwenden.

Bei der Bestückung beginnt man nach der Regel „von niedrigen zu hohen Bauteilen“ zuerst mit den Drahtbrücken (fehlende

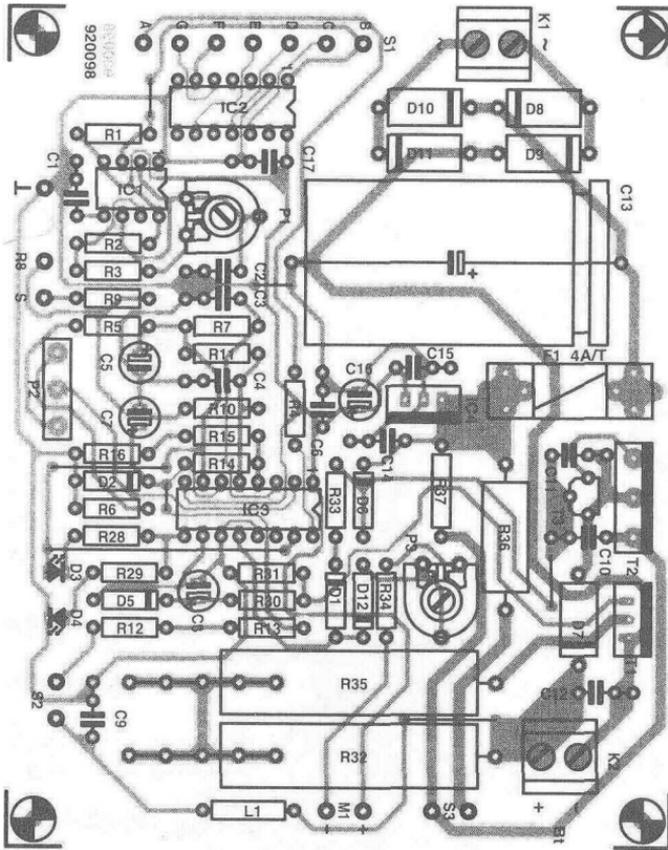


Bild 3.7.3. Die Platine ist so konzipiert, daß fast alle Bedienungs- und Anzeigeelemente auf einer Platinenseite und die beiden zu kühlenden Leistungstransistoren auf der gegenüberliegenden Seite angeordnet sind.

Drahtbrücken sind eine häufige Fehlerursache!). Weiter ist zu beachten, daß die Lastwiderstände mit einem Abstand von mindestens 10 mm von der Platine eingelötet werden. Die 2k7-Widerstände R17 bis R27 werden entsprechend dem Schaltplan direkt an die Anschlüsse des Schalters S2 gelötet (siehe Bild 3.7.2). Von dem derart bestückten Schalter führen nur zwei Drähte zu den Anschlußpunkten der Platine.

Stückliste

Widerstände: R1, R13 = 1 k

R2, R7 = 470 k

R3 = 1 M

R4, R9, R30 = 10 k

R5, R6 = 8k2

R8 = NTC 10 k

R10 = 1k5

R14 = 33 k

R12, R16 = 100 Ω

R14, R15 = 820 Ω

R17...R27 = 12k7

R28, R29 = 150 Ω

R31, R34 = 47 k

R32, R35 = 3 Ω /3/9 W

R33 = 680 Ω

R36 = 1 Ω /5 W

R37 = 18 Ω /0,5 W

P1 = 1-M-Trimmpoti

P2 = Potentiometer 10 k, lin.

P3 = 25-k-Trimmpoti

Kondensatoren:

C1, C4, C6, C9 . C12, C15, C17 = 100 n

C2 = 470 n

C3 = 15 n

C5, C7, C8, C16 = 10 μ /16 V radial

C13 = 4700 μ /25 V

C14 = 330 n

Festinduktivität:

L1 = 47 μ H

Halbleiter:

D1, D6 = Z-Diode 3V3/400 mW

D2 = Z-Diode 5V6/400 mW

D3 = LED rot 3 mm

D4 = LED grün 3 mm

D5, D12 = 1N4148

D7...D11 = 1N5400

T1 = BUZ11A

T2 = TIP2955

T3 = BC557B

IC1 = 555

IC2 = 4024

IC3 = U2400B

IC4 = 7808

außerdem:

F1 = Sicherung 4 A träge mit Halter für Platinenmontage

K1, K2 = Platinenlüsterklemmen

RM 5 mm, 2-polig

M1 = Drehspulinstrument 100 μ A

S1 = Drehschalter 6 Stellungen, 1

Mutterkontakt

S2 = Drehschalter 12 Stellungen, 1

Mutterkontakt

S3 = Kippschalter 1-polig

Kühlkörper SK81

Nach Kontrolle der Bestückung kommt der Abgleich. Hierzu mißt man an Punkt B von S1 (gegen Masse) entweder mit einem Oszillokop die Periodendauer und stellt sie mit P1 auf 1 s ein oder man mißt die Frequenz und stellt sie auf 1,0 Hz ein. Wenn man keines der beiden Hilfsmittel zur Verfügung hat oder die kleinste ablesbare Einheit des Frequenzzählers 1 Hz beträgt, kann man auch einfacher vorgehen: P1 kommt dann in Mittelstellung und S1 in Stellung B (entspricht einer Ladedauer

von 30 min). Nach Einstellung der richtigen Zellenzahl mit S2 und des korrekten Ladestroms mit P2 bzw. S3 wird das Ladegerät eingeschaltet. Leuchtet jetzt die rote LED, dann kann man einen Testakku anschließen (der NTC muß nicht gesteckt sein). Nach zwei Sekunden muß die rote LED anfangen zu blinken und die Entladung beginnt. Anschließend schaltet das Ladegerät auf Ladung um und läßt die grüne LED blinken. Man stoppt nun die Zeit, während der die grüne LED blinkt. Bei Abweichungen von den gewünschten 30 Minuten wird P1 nachjustiert. Das Ganze muß eventuell mehrmals wiederholt werden.

Zur Kalibrierung des Amperemeters mißt man einfach die Spannung über R37. Am besten ist hierzu ein gewöhnliches analoges Voltmeter geeignet. Erreicht die Spannung über R37 genau 1,8 V (hierzu bei angeschlossenem Akku S3 auf 100 mA schalten und P2 etwa auf maximalen Strom einstellen), dann wird mit P3 Vollausschlag von M1 eingestellt. Die Kalibrierung funktioniert selbstverständlich nur während der Ladephase.

Tips und Modifikationen

Bevor man den Akku ans Ladegerät anschließt, sollte man alle Einstellungen vorgenommen haben. Während der Betätigung der Schalter kann es nämlich unter ungünstigen Umständen zu undefinierten Bedingungen an den IC-Eingängen kommen. Sollte das Ladegerät einmal nicht richtig anlaufen, kann man es einfach kurz aus- und wieder einschalten.

Als Laderichtlinie empfiehlt es sich, den Akku etwa 20 % zu überladen. Bei einem 500 mAh-Akku heißt das, daß ihm etwa 600 mAh eingeflößt werden sollten. Diese Ladung dividiert man nun einfach durch die gewünschte Ladezeit und heraus kommt der einzustellende Ladestrom. Beim Beispielakku und einer Ladezeit von 30 min ergibt das 1,2 A. Selbstverständlich

muß man darauf achten, daß so schnell geladene Akkus die Schnellladung auch verkraften.

Der Akkulader erkennt erst ab 0,6 V pro Zelle, daß ein Akku angeschlossen ist. Bei tiefentladenen Akkus mit niedriger Restspannung läuft die Ladeschaltung daher nicht an. Durch kurzes Anschließen (unter 1 min) an ein Netzgerät mit Strombegrenzung kann man die Akkuspannung so weit aufpäppeln, daß der Lader startet. Bei häufigem Laden tiefentladener Akkus ist die in Bild 4 gezeigte Lösung praktischer: Ein zusätzlicher Taster S4 (Schließer) schaltet einen 10-k-Widerstand zwischen U_{ref} und U_{max} von IC3 und täuscht so dem IC auf jeden Fall eine genügend hohe Restspannung vor, um einen Start zu erzwingen. Der Anschluß der beiden Bauteile auf der Platine erfolgt am besten am Knotenpunkt R14/R15 (bei Pin 4 von IC3) und am Pluspol von C5. Um versehentliche Betätigung auszuschließen, empfiehlt es sich, für S4 einen Taster mit versenktem Knopf zu verwenden.

Gleiches gilt auch für einen zusätzlichen Taster (S5, Schließer) parallel zu C7, mit dem sich die Vorentladung bei Bedarf beenden läßt. Nach Drücken dieses Tasters geht die Schaltung sofort zum Laden über. Falls man nur kleine Akkus bis Mignonzellenformat (500 . . . 600 mAh) lädt, kann man den Maximalstrom auch auf 1,2 A begrenzen. Dann braucht man bloß einen Kühlkörper mit ca. 2,5 K/W, R36 kann einen Wert von 1,8 $\Omega/4W$ erhalten und der Trafo braucht sekundärseitig nur etwa 1,8 A zu liefern. Die Beschriftung von M1 sollte man dann auch entsprechend anpassen.

Falls man es nie mit einem 12-Zellen-Akku zu tun hat, kann man die maximale Zellenzahl selbstverständlich ebenfalls reduzieren. Für maximal zehn Zellen (Nennspannung 12 V) braucht man nur einen zehnstufigen Umschalter für S2, R26 wie R27 entfallen und die Trafospaltung kann auf 15 V sekundär reduziert werden. Für maximal sechs Zellen wird auch nur ein sechsstufiger Umschalter für S2 benötigt, R22 . . . R27

entfallen und die Trafospannung kann auf 10...12 V sekundär reduziert werden. Im letzten Fall kann auch ein etwas kleinerer Kühlkörper gewählt werden.

3.8 Einfacher 9-V-NiCad-Lader

H. Moser

Der Lader (Bild 3.8.1 auf Seite 159) besteht aus einer Spannungsquelle und vier identischen Stromquellen, die in der angegebenen Dimensionierung vier 9-V-Nicad-Akkus mit 10...20 mA laden können.

Die Spannungsquelle mit B 1, C1, IC1 und C2 sorgt nicht für die 15-V-Betriebsspannung der Stromquellen, sondern auch durch den Spannungssteiler R17, R18 und P1 für eine einstellbare Referenzspannung von 8,5 ... 10,5 V. Diese Spannung liegt über 100-k Ω -Widerstände an den nichtinvertierenden Eingängen der vier Operationsverstärker in IC2. Die Opamps sorgen dafür, daß die Spannung über den Nicads nicht höher wird als die Referenzspannung. Der Ladestrom resultiert aus der Spannungsdifferenz zwischen Netzteil- und Akkuspannung und wird durch den Kollektorwiderstand bestimmt. Die Spannung über die Kollektorwiderstände der Transistoren T1...T4 beträgt etwa 3 V, über die Transistoren 0,6 V und über die LEDs sind es 1,5 V. Verringert man die Widerstände auf 100 Ω , steigt der Ladestrom auf etwa 35 mA.

Eine Besonderheit stellt der Kondensator im Mitkopplungs-zweig des Opamps dar. Wenn die Spannung an der Plusklemme des Akkus kleiner ist als die Referenzspannung, wird der Ausgang „high“. Der Kondensator lädt sich auf, die Akkuspannung steigt. Übersteigt sie die Referenzspannung, kippt der Opampausgang und die Spannung am Plus-Eingang fällt durch C3, bis der Opamp abermals kippt. Im gleichen Takt (etwa 10 Hz) blinkt die LED. Bei leeren Nicads erreicht die Akkuspannung niemals die Referenzspannung; die LED leuchtet permanent.

Wenn aber der Akku beinahe vollständig geladen ist, oszilliert der Opamp viel langsamer. Bei einer Blinkfrequenz von etwa 1 Hz ist der Akku voll.

Zur Spannungsversorgung kommt die Schaltung mit einem 15...18 V/150 mA-Trafo aus. Zum **Schnell-Laden** sind 200 mA notwendig, auch benötigt der Spannungsregler in diesem Fall (und bei höheren Trafospannungen) einen kleinen Kühlkörper.

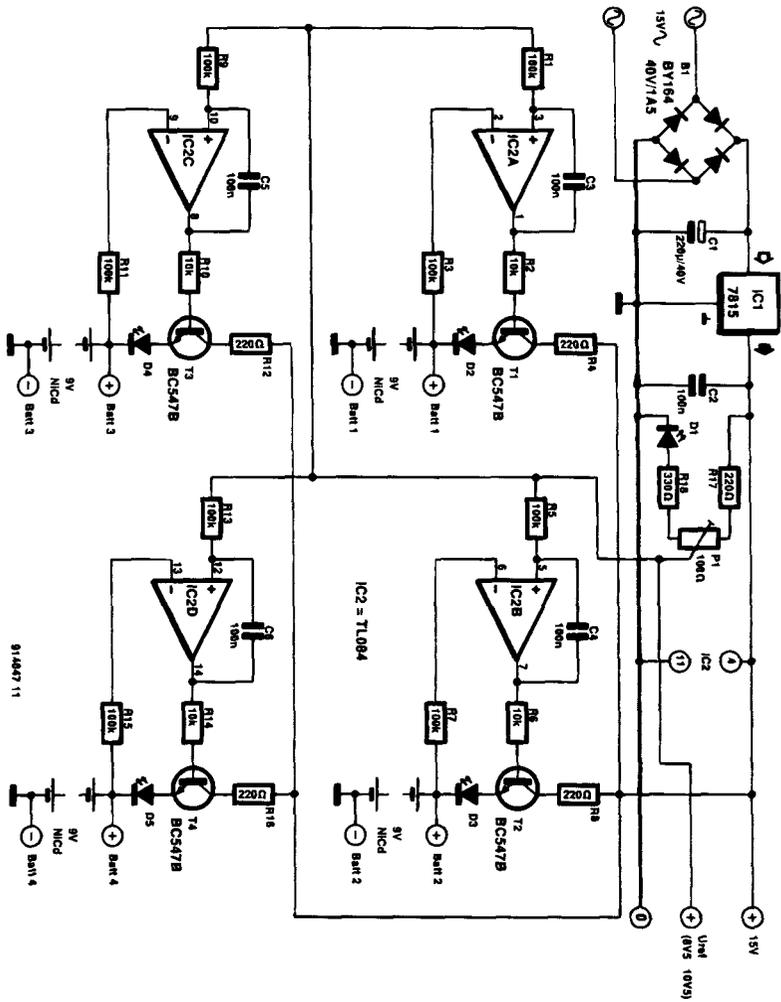


Bild 3.8.1. Einfache Ladeschaltung.

4. Blei- und Autoakku-Lader

4.1 Blei-Akku-Lader

Technische Daten

Laden von 6-V- und 12-V-Blei-Gel-Akkus mit Nennkapazitäten bis 10 Ah in drei Phasen:

Phase 1: Formatieren und Laden

Überprüfung und Formatierung der Akkus mit kleinem Konstantstrom

Laden mit einstellbarem Maximalstrom 0,1 ... 1 A (1/10 der Nennkapazität)

Phase 2: Überladung

Laden mit konstanter Spannung

Phase 3: Erhaltungsladen

Ausgleich der Selbstentladung und kleinerer Entladeströme und automatischer Übergang in Ladephase

Obwohl ein NiCad-Akku nur noch wenig mehr als eine Primärbatterie kostet, haben Blei-Akkus in vielen Anwendungen die Nase vorn. Nicht nur, daß sie durch ihre hohe Strom-

dichte deutliche Vorteile bei größerem Strombedarf bieten, sie sind auch wesentlich wartungsfreundlicher, da sie permanent am Ladegerät verbleiben können.

Die kompakten Bleiakkus erfreuen sich nicht nur in Modellbaukreisen nach wie vor großer Beliebtheit. Auch in Alarm- und Telefonzentralen, tragbaren Audio- und Videogeräten versehen sie ihren Dienst. Bleiakkus weisen gegenüber NiCads eine Vielzahl von Vorteilen auf:

- Die Zellenspannung liegt mit 2 V erheblich höher.
- Der Ladevorgang läßt sich über die Ladespannung steuern.
- Der Ladestrom gibt Aufschluß über den Ladezustand.
- Besseres Verhalten bei extremen Temperaturen.
- Sehr geringe Selbstentladung.
- ☐ Keine Schädigung durch (kurzfristige) Tiefentladung.
- ☐ Höhere Strombelastbarkeit.

Der größte Vorteil ist, daß sie zum Laden nicht aus dem Gerät herausgenommen und an ein separates Ladegerät gekoppelt werden müssen. Der Bleiakkulader kann einfach die Spannungsversorgung des Gerätes übernehmen und gleichzeitig den Akku automatisch nachladen. Sobald man den Netzstecker des Akkuladers herauszieht, übernimmt ohne Umschaltung der Akku die Spannungsversorgung (Bereitschaftsbetrieb). Bei Bleigelakkus sind einige Kennwerte nach den Angaben des Herstellers zu beachten:

- Maximale Ladespannung: Spannung, mit der der Akku geladen werden darf, ohne daß eine Gasentwicklung stattfindet und der Akku Schaden nimmt (2,3 ... 2,5 V/Zelle).
- Erhaltungsspannung: Spannung, mit der der Akku im Bereitschaftsbetrieb geladen wird (2,25 ... 2,30 V/Zelle).
- Nennspannung: Klemmenspannung, die der Akku während des größten Teils des 20-stündigen Entladens mit Entladestrom abgibt.

- Entladeschlußspannung: Die Klemmenspannung ist kleiner als etwa 1,75 V/Zelle. Bei höheren **Entladeströmen** sind auch tiefere Spannungen zulässig.
- Nennkapazität: Kapazität des Akkus, angegeben in Ah, die eine 20- stündige Entladung mit Entladenennstrom ermöglicht.
- Ladestrom: Der für die Lebensdauer des Akkus optimale Ladestrom liegt bei einem Zehntel der **Nennkapazität/h**.
- Entladenennstrom: Der Entladenennstrom fließt durch die angeschlossene Last und erschöpft die Nennkapazität des Akkus in 20 Stunden, beträgt also ein Zwanzigstel der Nennkapazität.
- Selbstentladestrom: Strom, der dem Akku (ohne Last) zugeführt werden muß, damit seine Kapazität erhalten bleibt.

Die Werte sind von Hersteller zu Hersteller leicht unterschiedlich und ändern sich auch mit der Umgebungsemperatur. So muß die maximale Ladespannung bei -30 °C um fast 20 % gegenüber Zimmertemperatur angehoben werden.

Lade-IC mit „Hirn“

Anders als bei NiCad-Ladern (wie dem mittlerweile schon legendären U2400B) lädt der UC3906 (Pinbelegung in Bild 4.1.1) nicht mit einem konstanten Strom, sondern mit einer Konstantspannung. Allerdings spielt auch die Ladestrombegrenzung eine zentrale Rolle. Der UC 3906 steuert den Ladeprozeß von Bleigel-Akkus in drei verschiedenen Phasen.

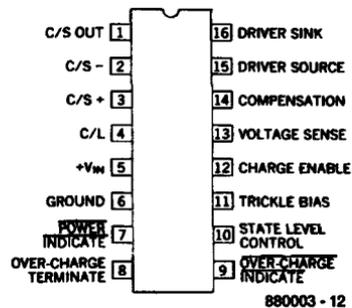


Bild 4.1.1. Pinbelegung des Ladeprozessors UC3906.

Formatierung und Laden bis zur Ladeendspannung

Der Ladeprozeß beginnt mit einer Überprüfung und der Formatierung tiefentladener Zellen. Ein kleiner Strom soll den Akku bis zu einer bestimmten Minimalspannung V_T aufladen. Bei defekten Zellen funktioniert das nicht, der eigentliche Ladevorgang kann nicht beginnen. In Bild 4.1.2 ist dieser Abschnitt zwischen den Punkten A und B zu sehen.

Nach Erreichen von V_T wird der Akku auf 95 % der maximalen Ladespannung aufgeladen. Währenddessen wird zwar die konstante Ladeschlusspannung V_{OC} angeboten, wegen des niedrigen Innenwiderstandes des leeren Akkus ist allerdings der Ladestrom so groß, daß die Strombegrenzung I_{MAX} anspricht und die Ladespannung herunterzieht. Dadurch ergibt sich eine Ladespannungskurve wie zwischen den Punkten B und C.

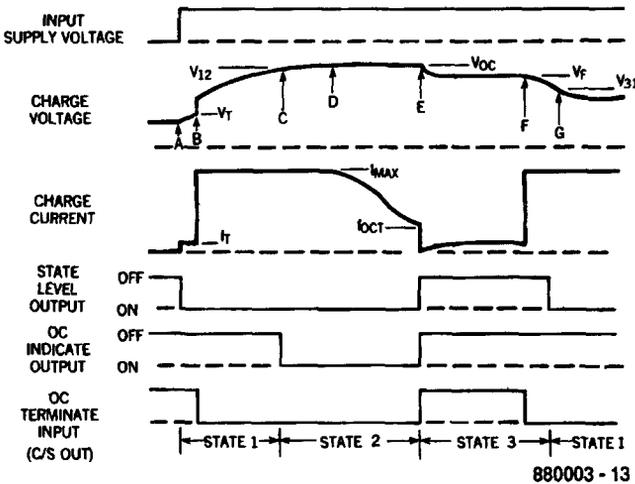


Bild 4.1.2. Spannungs- und Stromverlauf während der drei Ladephasen.

Überladungsphase

Erreicht die Akkuspannung V_{12} (95 % der Ladeschlußspannung V_{OC}), beginnt die (Überlade-)Phase 2. Zunächst, zwischen den Punkten C und D, ändert sich herzlich wenig gegenüber der ersten Phase. Erst an Punkt D erreicht die Akkuspannung V_{OC} , einhergehend mit einem Abfall des Ladestroms. Das bedeutet: In dem Augenblick, in dem der Innenwiderstand des Akkus so groß ist, daß die Strombegrenzung nicht mehr anspricht, liegt auch die volle (maximale) Ladespannung an den Zellen an.

Die Spannung bleibt zwischen D und E konstant, während der Strom von I_{MAX} auf $I_{OCT} = 0,1 \times I_{MAX}$ sinkt. Dann, an Punkt E, vollzieht sich der Wechsel zum

Erhaltungsladen,

der dritten Phase, das die Selbstentladung der Zellen ausgleichen soll. In Bild 4.1.2 ist dies zwischen den Punkten E und F eingezeichnet. Die Konstanzspannung wird von V_{OC} auf die Zellen-Erhaltungsspannung V_F gesenkt. Im ersten Augenblick ist die Akkuspannung höher als V_F (es fließt kein Ladestrom), dann pendelt sich der Selbstentladestrom ein.

In Punkt F beginnt die Entladung durch eine angeschlossene Last. Der Strom, den der Akku liefert, ist größer als der Erhaltungsladestrom; somit entlädt sich der Akku. Die Akkuspannung sinkt, bis der Grenzwert V_{31} (entspricht 90 % der Zellen-nennspannung) erreicht ist. Dann schaltet der UC3906 wieder in die erste Phase um, wobei allerdings eine erneute Formatierungsladung entfällt.

Bild 4.1.3 zeigt den inneren Aufbau des Ladeprozessors UC3906. Das IC besteht im wesentlichen aus mehreren Operationsverstärkern, die den Zustand des Akkus überprüfen. Zum Teil steuern sie den Treiber-Transistor zwischen den Pins 15 und 16, zum Teil geben sie die gewonnenen Informationen an eine Ladekontroll-Logik weiter.

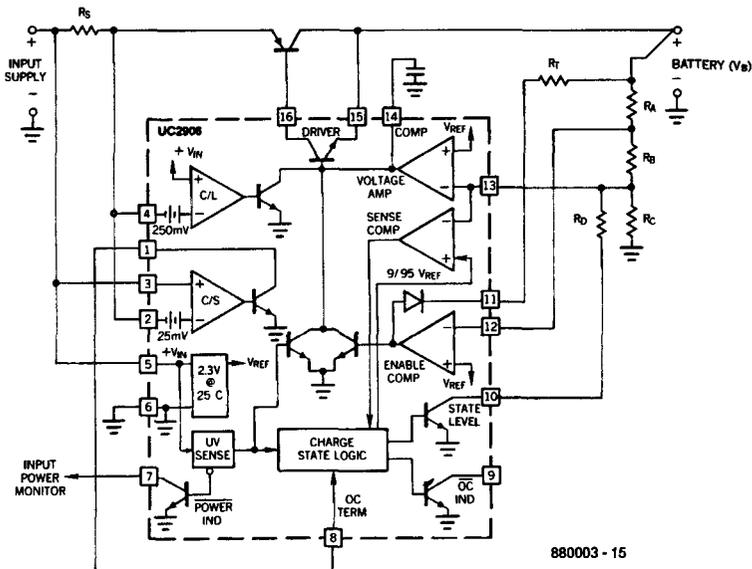


Bild 4.1.3. Blockdiagramm des UC3906 mit Minimalbeschaltung.

Der Ladeprozess beginnt damit, daß nach dem Einschalten der Treiber-Transistor sperrt und der Akku den geringen Strom I_T nur über den internen Komparator „Enable Comp“ und die Diode an Pin 11 erhält. Der Strom ist so auch nur von der Differenz zwischen Ein- und Ausgangsspannung sowie R_T abhängig (Bild 4.1.4, Formel 8). Ist die Spannung V_T (Formel 1) erreicht, schaltet die Kontroll-Logik auf Laden um und „EnableComp“ gibt den Treibertransistor frei. Dem gegenüber ist auf der linken Seite mit C/L ein Komparator zu erkennen, der den Spannungsabfall über den Stromfühler-Widerstand R_S mit einer internen 250-MV-Referenzspannung vergleicht. C/L wirkt dem „Enable Comp“ entgegen und legt so die Strombegrenzung I_{MAX} (Formel 6) fest. Während des Ladens kontrolliert ein weiterer Komparator „Sense Comp“ die Akkuspannung und meldet der Kontroll-Logik, wenn die 95 %-Marke (Formel 4) überschritten ist. Stimmt die Spannung an Pin 13 mit der Referenzspan-

nung überein, ist V_{OC} (Formel 2) erreicht. Der Komparator „Voltage Amp“ begrenzt nun die Ladespannung auf V_{OC} . Jetzt kommt ein weiterer Komparator C/S zum Tragen. Er mißt genau wie C/L die Spannung über dem Stromfühlerwiderstand R_S , vergleicht diese Spannung aber mit nur 25 mV. Ist der Ladestrom auf I_{OCT} abgesunken, schaltet C/S über Pin 1 ... Pin 8 die **Kontroll-Logik** um. Dann wird der Ausgang State Level (Pin 10) **hochohmig** und stellt die neue Spannung V_F (Formel 3) für den „Voltage Amp“ ein. Die Akkuladung wird jetzt erhalten, und erst wenn die Spannung unter V_{31} sinkt (Formel 5), schaltet die Ladekontroll-Logik über „Sense Comp“ wieder in die erste Phase um.

Bild 4 1 4 Formeln zur Berechnung der verschiedenen Spannungs- und Stromwerte

$$V_T = V_{REF} \left(1 + \frac{R_A}{R_B + R_X} \right) \quad R_X = \frac{R_D \cdot R_C}{R_D + R_C} \quad (1)$$

$$V_{OC} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_A + R_B}{R_C} + \frac{R_A + R_B}{R_D} \right) \quad (2)$$

$$V_F = V_{REF} \left(1 + \frac{R_A + R_B}{R_C} \right) \quad (3)$$

$$V_{12} = 0,95 \cdot V_{OC} \quad (4)$$

$$V_{31} = 0,9 \cdot V_F \quad (5)$$

$$I_{MAX} = \frac{0,25 \text{ V}}{R_S} \quad (6)$$

$$I_{OCT} = \frac{0,025 \text{ V}}{R_S} \quad (7)$$

$$I_T = \frac{V_{IN} - V_B - 2,5 \text{ V}}{R_T} \quad (8)$$

Der UC3906 besitzt mehrere **Open-Collector-Schaltausgänge**, an denen LEDs die jeweilige Phase anzeigen können. Solange

der Akkulader in Betrieb ist, leuchtet D1 (Bild 4.1.5). Beginnt die eigentliche Ladephase mit I_{MAX} , signalisiert dies D2. Für das Erreichen der 95 %-Marke, der Überladungsphase, ist D3 zuständig. D4 zeigt an, daß das Laden beendet ist und die Erhaltungsladungsphase aktiv ist. Tabelle 4.1.1 faßt übersichtlich den Sachverhalt zusammen.

Tabelle 4.1.1 LED-Zustandsanzeige

Phase Bild 1	LED				Bedeutung
	1	2	3	4	
A...B	1	0	0	0	Zustandsabfrage, Formatieren
B...C	1	1	0	0	Ladephase mit I_{max}
C...D	1	1	1	0	Überladephase mit I_{max}
D...E	1	1	1	0	Überladephase mit V_{OC}
E...F	1	0	0	1	Erhaltungsladen
F...G	1	1	0	1	Erhaltungsladen

Dimensionierung und Aufbau

Die Dimensionierung des Akkuladers in Bild 4.1.5 geht jetzt wie von selbst. Man erhält durch Einsetzen der konkreten Widerstandswerte die Spannungs- und Stromwerte, wie sie in Tabelle 4.1.2 zu finden sind. Der einzige Unterschied zu Bild 4.1.3 besteht in der Umschaltmöglichkeit zwischen 6-V- und 12-V-Akkus und einen durch S2 veränderbaren Stromfühlerwiderstand R8...R13, mit dem Ladeströme mit einem Zehntel der Nennkapazität gewählt werden können.

Der Aufbau des Blei-Gel-Akkuladers ist dank der vorbereiteten Platine ziemlich einfach. Achten Sie beim Einkauf der Bauteile darauf, daß Sie den richtigen (rechteckigen) Gleichrichter und auch einen passenden Netztrafo wählen. T1 wird mit Wärmeleitpaste versehen und isoliert an ein ausreichend großes Kühlprofil geschraubt. Die Widerstände R9 . . . R13 finden direkt am Umschalter S2 Platz. In vielen Fällen wird der Lader in eine bestehende Anlage integriert, dann ist kein Gehäuse notwendig. Bei der Montage ist besonders gut auf isolierten Einbau zu achten. Auf der Frontplatte werden neben dem Netzschalter auch der Kapazitätsschalter, der Umschalter für die Nennspannung, die Bananenbuchsen für die Akkuklemmen und die vier Leuchtdioden angebracht. Vergessen Sie nicht die Netzeingangsbuchse, die mit einer integrierten Sicherung (200 mA/träge) ausgestattet sein sollte. Der Blei-Gel-Akkulader kann ohne besonderen Abgleich in Betrieb gehen.

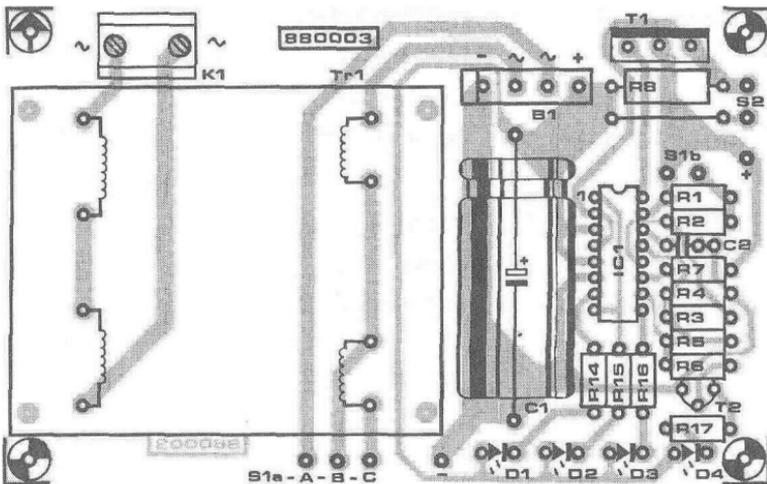


Bild 4.1.6. Bestückungsplan des Akku-Laders.

Stückliste

Widerstände:

R1 = 3650 Ω /1 %

R2 = 2210 Ω /1 %

R3 = 270 Ω /1 %

R4 = 1240 Ω /1 %

R5 = 11 k/1 %

R6 = 220 k

R8 = 2 Ω 7/0,5 W

R9 = 2 Ω 2/0,5 W

R10 = 0 Ω 82/0,5 W

R11 = 0 Ω 47/0,5 W

R12 = 0 Ω 39/0,5 W

R13 = 0027/0,5 W

R14

Kondensatoren:

C1 = 4700 μ /40 V

C2 = 1 n

Halbleiter:

D1 .. D4 =

B1 =

B80C5000

T1 = TIP147

T2 = BC517

IC1 * UC3906 (Unitrode)

außerdem:

Kühlkörper für T1

TrT * Printtrafo 2 x 9 V/15 VA (bei-

K1 = 2polige Platinenlusterklemme

RM 5

K2 a Netzeingangsbuchse mit integrenem Sicherungshalter

F1 = Feinsicherung 200 mA träge

S1 = Kippschalter 1 X UM

S2 = Drehschalter 2 x 6

K3, K4 = Bananenbuchsen (rot und schwarz)

S3 = doppelpoliger Netzschalter mit Anzeige

4.2 Ladekraftprotz für Autobatterien

H. Kreis

Technische Daten

a hohe Ladeleistung (6 A)

verpolungssicher

kurzschlußsicher

keine Batterieüberladung

6 und 12 V

schonendes Laden

Standardbauteile

einfacher Abgleich

Folgen Sie den Werbesprüchen von Batterieherstellern wie „Wartungsfrei“, „Nie mehr laden“ und so weiter, dann benötigen Sie dieses Ladegerät natürlich nicht. Aber ein anderer Spruch ist garantiert richtig: Der nächste Winter kommt bestimmt!

So ein richtig komfortables Autobatterie-Ladegerät fehlte bislang noch. Einer der Gründe sind die Ladetrafos, die bestimmten Sicherheitsanforderungen wie Kurzschlußfestigkeit und gute Isolation genügen müssen.

Prinzipielles

Wenn Sie auf das Schaltbild schauen, sieht es echt einfach aus. Alles normale Bauteile, kein exotischer Halbleiter (von den ersparten Kosten besorgen Sie sich natürlich ein stabiles Metallgehäuse).

Ladung steigt die Ladespannung langsam an. Ab ungefähr 7 V Spannung wird die Zenerdiode D1 leitend, mit zunehmender Akkuspannung sinkt die Spannung an R3, wodurch T1 immer mehr leiten wird.

Das geht so weiter, bis der Strom auf etwa 6 A angestiegen ist. Jetzt wird über den Widerstand R11 (Spannungsabfall) der Transistor T4 durchgesteuert. Das Ziel an Basisstrom für T5 wird nach Masse abgeleitet, der Ladestrom bleibt konstant, die Ladespannung erhöht sich aber weiterhin. Ist der Akku voll geladen (rund 14,4 V), wird die Parallelschaltung zum Akku (R9, D4 bis D7) aktiv, die LED D5 leuchtet auf und signalisiert, daß der Akku gesättigt ist. Über den Spannungsabfall an R9 leitet nun T2. Damit schaltet auch T3 durch, es wird nochmals Basisstrom von T5 entzogen: der Ladestrom wird zurückgeregelt. Ab etwa 15 V Ladespannung fließt schließlich kein Strom mehr, eine Überladung ist daher nicht möglich.

Als wirksamer Verpolungsschutz und als Sicherung für einen Dauerkurzschluß dienen D2 und D3. Kommen die Batterieklemmen also aus irgendeinem Grunde aneinander, leitet diese Diodenstrecke, T3 schaltet voll durch und T5/T6 lassen keine Elektronen mehr passieren. Für den Schutz der Elektronik sorgt übrigens D7. Bei verpolter Batterie schützt diese Diode die anderen Komponenten vor der Auflösung in Qualm und Rauch. Bei falscher Polung leuchtet LED D9 auf, diese Warnung sollte eigentlich genügen.

Bleibt beim Schaltungsprinzip nur noch der Schalter S1 übrig. An Hand der überbrückten Z-Diode D4 kann man schon erraten, wozu dieser Schalter dient: es können auch 6-V-Akkus geladen werden. Nach Schließen dieses Schalters wird der Akku mit 1,2 A konstant aufgeladen. Der Ladestrom bleibt unter 6 A, da D1 nicht leitend wird. Bei ansteigender Spannung am Akku wird aber über T2 und T3 der Ladestrom entsprechend zurückgeregelt. Tiefentladene 6-V-Akkus können allerdings nicht langsam aufgeladen werden.

Einstellung und Aufbau

Wie Sie schon aus der bisherigen Beschreibung wissen, muß mit **P1** der anfängliche Ladestrom auf 1,2 A eingestellt werden. Ein tiefenentladener 12-V-Akku läßt sich beispielsweise durch einen 6-V-Akku simulieren. Ein geeignetes Amperemeter (bis 10 A) schaltet man mit dem Akku in Serie. Natürlich haben Sie momentan wieder mal keinen 6-V-Akku zur Hand. Macht nichts, zur Not können Sie die Batterieanschlüsse einfach kurzschließen und dann den Strom mit **P1** auf 1,2 A einstellen. Während der Einstellerei muß Schalter **S1** auf 12 V stehen, also offen sein. Nun zum Aufbau: Bei der Bauelementauswahl sollte man auf die Qualität der Z-Dioden **D1**, **D4** und **D6** achten. Die Toleranz sollte nicht größer als 5 % sein. Bekommt man diese nicht oder sind sie einfach zu teuer, kann man auch solche mit 10 % ausmessen. Wichtig sind besonders **D4** und **D6**, diese sorgen ja dafür, daß der Akku nicht überladen wird. Aber keine Bange, ist die Abweichung nicht größer als insgesamt 100 mV, können Sie getrost ein Auge zudrücken.

Beim Einstellen mit **P1** kann es je nach Transistorwahl zu Einstellschwierigkeiten kommen. In diesem Fall verändern Sie den Widerstand **R4**, bis 1,2 A eingeregelt werden können.

Beschaffungsprobleme kann es auch für die Heizquelle **R11** geben. Abhilfe: Man schaltet zwei Widerstände zu je 0,18 0/3 W parallel. Achten Sie dabei aber darauf, daß auf der Printplatte **T1** und **T2** nicht unnötig beheizt werden. Selbst im Winter mögen die Transistoren diese Zusatzheizung nicht. Für die Transistoren **T5** und **T6**, ebenso für den **Brückengleichrichter** (muß wärmeleitend montiert werden können) ist, wie schon im Schaltbild angedeutet, ein Kühlkörper notwendig.

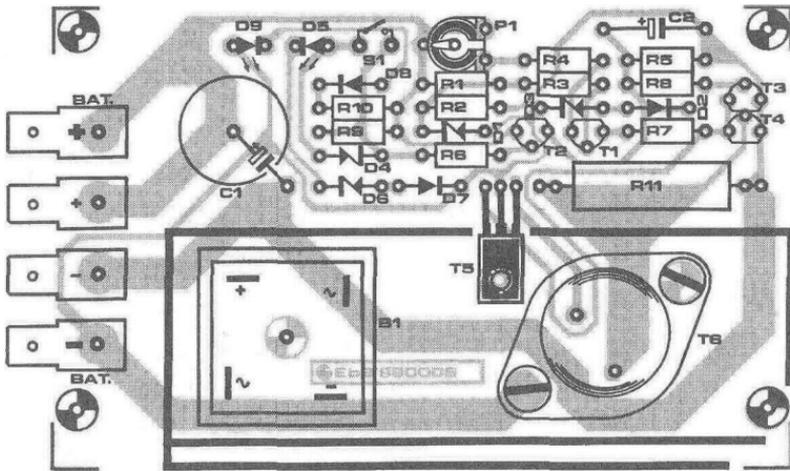


Bild 4.2.2. Der Bestückungsplan des Akkuladers.

Stückliste

Widerstände:

R1, R10 = 1 k
 R2 = 22 k
 R3, R6, R8 = 10 k
 R4 = 2k2
 R5 = 100 k
 R7 = 470 Ω
 R9 = 100 Ω
 R11 = 0,09 Ω (2 x 0,18 Ω parallel/je 3 W)
 P1 = 5-k-Trimpoti

Kondensatoren:

C1 = 4700 μ /25 V
 C2 = 1 μ /25 V

Halbleiter:

B1 = Metall-Brückengleichrichter 10 A/40 V, viereckig
 D1, D4 = Z-Diode 6,8 V/0,4 W

D7, D8 = 1N4148
 D3 = Z-Diode 18 V/0,4 W
 D5 = LED gelb
 D6 = Z-Diode 4,7 V/0,4 W
 D9 = LED rot
 T1, T2 = BC557
 T3, T4 = BC547
 T5 = BD139
 T6 = 2N3055

außerdem: Tr1 = Netztrafo 15V/8A sek, kurzschlußfest
 F1 = Feinsicherung 1 A träge mit Halter
 S1 = Einschalter
 S2 = doppelpoliger Einschalter
 Kühlkörper für B1, T5 und T6
 Metallgehäuse

Selbstverständlich montieren Sie alle Teile sauber isoliert. Der Kühlkörper wird mit der Rückseite des anfangs erwähnten Metallgehäuses wärmeleitend verbunden, damit vergrößert sich die Kühlfläche (für den Sommer wichtig!). Der Brückengleichrichter wird über kurze Drahtstückchen und Kabelsteckschuhe mit den Anschlußklemmen der Platine verbunden.

Weiterer Ausbau

Wenn Ihnen der Ladestrom noch nicht ausreicht, müssen Sie mehrere Leistungsendstufen T5/T6/R11 parallel schalten. Treiben Sie das Spielchen aber nicht zu weit, bei 3 mal 6 A = 18 A Ladestrom sollten Sie spätestens aufhören. Selbst „dickste“ LKW-Batterien werden damit in vernünftiger Zeit geladen. Nehmen Sie diese Änderungen vor, müssen natürlich Trafo, Brückengleichrichter, Siebelko und R4 ebenfalls angepaßt werden. Die weiteren Leistungsstufen gehören selbstverständlich auch auf eigene Kühlkörper!

Vielleicht ist der Einbau einer Einschaltkontrolle mit einer grünen LED sinnvoller. Diese wird mit einem 1k5-Widerstand in Serie parallel zu C1 geschaltet. Und noch etwas: Bauen Sie gleich ein preisgünstiges Amperemeter (10 A) in Serie mit den Batterieanschlüssen ein. So haben Sie den Ladeverlauf am Akku jederzeit „4m Auge“. Startprobleme im Winter dürften damit für Sie keine Schwierigkeit mehr darstellen.

5. Undsoweiter

5.1 Solar-Laderegler

Der Solar-Laderegler bildet zusammen mit einem Solargenerator und einem 12-V-(Solar-)Akku eine vollständige netzunabhängige Stromversorgung fürs Boot, den Caravan oder das Wochenendhaus in der Wildnis. Eine wohldurchdachte Regelschaltung mit umfassenden Sicherungsmaßnahmen garantiert dem Akku eine lange Lebensdauer und dem System einen guten Wirkungsgrad.

Technische Daten

- Geeignet für 12-V-Akkus von 1 Ah bis über 100 Ah
- Überladeschutz mit Ladespannungsbegrenzung
- Tiefentladeschutz für den Akku
- Elektronische Kurzschlußsicherung
- Maximaler Ladestrom 10 A
- Verpolschutz für Akku und Solargenerator
- Ladeanzeige
- Geringer Eigenstromverbrauch, typ. 1,7 mA
- Guter Wirkungsgrad

Eine „wirklich gute **Solar-Ladeschaltung**“ ist für viele Leser ein wichtiges Thema. Erfreulicherweise ist bei dieser Lösung des Problems der Schaltungsaufwand gemessen an den Eigenschaften noch relativ gering. Bei den noch immer hohen Kosten für die Solarzellen sind die Ausgaben für einen guten Laderegler nur ein kleiner Teil der Systemkosten, sie stellen im Hinblick auf Wirkungsgrad und Akkulebensdauer eine ausgesprochen lohnende Investition dar.

Mit **BUZ** und **Schottky**

Von der Schaltungsfunktion her kann man drei Teile unterscheiden: Die Spannungsregelung mit **A1**, der Tiefentladeschutz mit **A2** und die elektronische Sicherung mit **A4**. Die eigentliche Regelschaltung erhält über die **Verpolschutz-Diode D2** Strom aus dem Akku und nicht vom Solargenerator; die Funktionen Kurzschluß- und Tiefentladeschutz müssen auch in dunklen Zeiten erhalten bleiben. Bei dem geringen Eigenstromverbrauch des Reglers gibt es kein Problem mit der „Selbstentladung“. Die Leistungs-FETs benötigen bei Gleichstrom praktisch keine Steuerleistung und weisen dank des niedrigen R_{DS} auch geringe Verluste auf. Diode **D5** ist eigentlich ein dreibeiniges IC (**LM336**) mit sehr stabiler Spannung von 2,5 V, die sowohl für die Spannungsregelung als auch für den Tiefentladeschutz und die Kurzschlußsicherung als Referenz dient. Der „**Adjust**“-**Anschluß** des ICs wird nicht verwendet.

Die Laderegelung funktioniert folgendermaßen:

Die Akkuspannung wird über den Spannungsteiler **R5**, **P1** und **R6** an den **Regel Verstärker A1** gelegt, am anderen Eingang liegt die Referenzspannung. Ist die Akkuspannung zu niedrig, wird auch die Ausgangsspannung von **A1** niedriger, die Basisspannung von **T3** nimmt ebenfalls ab, sein **Emitterstrom** nimmt zu. Dadurch steigt auch der Spannungsabfall am Kollektorwiderstand **R4**, der den FET **T1** so weit **aufsteuert**, bis die Ladespannung ihren Sollwert erreicht. Der FET liegt in der Minuslei-

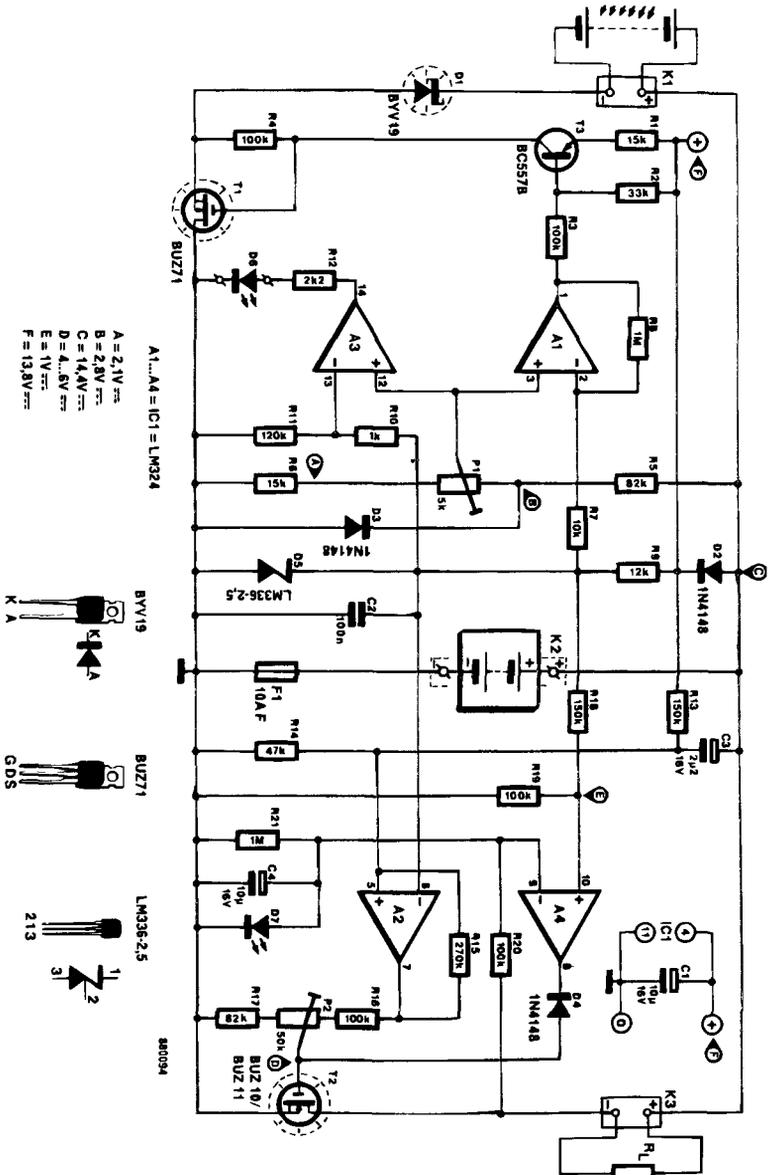


Bild 5.1.1. Schaltung des Solar-Ladereglers. SIPMOS-FETs mit $0,1 \Omega$ ON-Widerstand und eine Schottky-Diode halten die Verluste sehr niedrig.

tung zum Akku, damit eine gegenüber der Source positive Gatespannung von ein paar Volt angelegt werden kann. Läge T1 in der Plus-Leitung, müßte man mit einem Spannungswandler eine Hilfsspannung erzeugen, die um die U_{GS} positiver (höher) ist als die Akkuspannung.

Die Schottkydiode D1 hat zwei Aufgaben: Sie verhindert einen Rückstrom, wenn die Solargeneratorspannung unter den Wert der Akkuspannung absinkt und bietet gleichzeitig Schutz beim Verpolen des Solargenerators. T1 reicht als Rückstromschutz nicht aus, da von Source nach Drain ein parasitärer Diodenstrom fließen kann. Im Interesse eines guten Wirkungsgrades ist für D1 eine Schottkydiode vorgesehen, die bei 5 A noch weniger als 0,5 V Spannungsabfall aufweist.

A3 und D1 bilden auf einfachste Weise eine Ladekontrolle: D6 leuchtet, sobald die Akkuspannung 13,1 V übersteigt, also Spannungsladung stattfindet. Sobald die LED aufleuchtet, steigt der Stromverbrauch des Reglers schlagartig von 1,7 auf fast 7 mA an — ein „Problem“, das sich durch Weglassen der Diode vermeiden läßt. Andererseits kein Problem, da der LED-Strom ja nicht von der wertvollen Akkukapazität abgeht, sondern nur den Solarladestrom unwesentlich verringert.

Schutzmaßnahmen

Den Tiefentladeschutz garantiert Komparator A2: Sobald die Akkuspannung unter etwa 9 V absinkt, sperrt A2 den FET T2 und damit die Stromabgabe. Da die Akkuspannung nach der Lastabschaltung wieder ansteigt, wurde dem Komparator eine Hysterese von 3 V gegeben. Erst bei einem Nachladen des Akkus auf eine Spannung von 12 V wird die Last wieder angeschaltet. Kondensator C3 sorgt beim Anschließen des Akkus automatisch für ein Zurücksetzen der Stromabschaltung und verhindert auch, daß ein kurzzeitiges Absinken der Akkuspannung durch Einschaltstromspitzen von Verbrauchern (Glühlampen!) schon den Tiefentladeschutz aktiviert.

Bleibt noch die elektronische Sicherung, die einem so manche Schmelzsicherung ersparen kann, die es auf hoher See oder in der Wildnis nicht so ohne weiteres zu kaufen gibt. Außerdem bietet sich der **Leistungs-FET T2** als reversibler Unterbrecher direkt an, der Spannungsabfall an seiner **Drain-Source-Strecke** kann auch gleich zum Strommessen herhalten. Die Auswertung übernimmt A4: D5 liefert über Spannungsteiler R18/R19 eine Spannung von 1 V zum Vergleichen, BUZens Spannungsabfall liegt über R20 am anderen Eingang. Damit der BUZ auch bei einem bestimmten Strom eine bestimmte Spannung (1V) abfallen läßt, ist die U_{GS} mit P2 zwischen etwa 4 und 6 V einstellbar. Erreicht der Ausgangsstrom den eingestellten Wert, steigt der Spannungsabfall schnell an und **triggert den Komparator A4**, der nun über D4 den FET vollends sperrt. Über C4 und R21 ist eine Zeitkonstante realisiert, die ein zu flinkes Ansprechen der Sicherung (z. B. beim Einschalten von Glühlampen) verhindert. Die LED D7 ist hier als **1,6-V-Z-Diodemißbraucht** und sorgt dafür, daß sich C4 nur bis auf diesen — definierten — Wert auflädt. Nach Beseitigung des Kurzschlusses entlädt sich C4 über R21, so daß A4 sehr schnell den Ausgangsstrom freigibt. Die „Trägheit“ der Sicherung bedeutet aber nicht, daß der Ausgangsstrom kurzzeitig sehr hohe Werte annehmen kann — T2 sorgt dank der U_{GS} -Einstellung bis zum Ansprechen der Sicherung für eine Begrenzung des Ausgangsstroms auf den mit P2 eingestellten Maximalwert.

Die Schmelzsicherung **F1** ist eine letzte Rückversicherung für den Fall, daß durch einen Defekt von T2 oder **Elektronik-GAA** (Größter Anzunehmender Ausfall) ein ungehemmter Kurzschlußstrom aufzeigt, wozu ein Bleiakku fähig ist. Die noch nicht erwähnte D3 rundet den **Verpolschutz** ab. D2 schützt zwar die Regelschaltung vor **Akkuverpolung**, nicht jedoch die Plus-Eingänge der Opamps A1 und A3. Dafür gibts also D3.

Solargenerator

Die Auswahl des Solargenerators hängt natürlich von der Kapazität des zu ladenden Akkus ab. An Spannung pro Zelle kann man mit 0,4 bis maximal 0,5 V rechnen, ein realistischer Wert liegt bei 0,45 ... 0,46 V (bei 25 °C!). Für einen 12-V-Auto- oder Solarakku benötigt man 34 bis 38 Zellen, am häufigsten findet man Module mit 36 Zellen, es gibt aber auch welche mit bis zu 40 Zellen. Entgegen der „landläufigen“ Meinung benötigt man gerade bei starker Sonneneinstrahlung am meisten Zellen, um eine Ladespannung von wenigstens 14 V zu erreichen. Der Grund: Mit der Sonneneinstrahlung nimmt zwar die Stromdichte zu, gleichzeitig steigt aber auch die Zelltemperatur, wodurch die Spannung abnimmt. Eine Zelltemperatur von 70 °C ist im Sommer schnell erreicht, das entspricht einem **Spannungsverlust** von etwa 12 ... 15 %. Gut Kühlen lohnt sich! Die Zellenzahl stellt einen Kompromiß dar, der sich an mittlerer Einstrahlung bei mittleren Temperaturen orientiert. Der Solarregler eignet sich gut für **Solarmodule** mit 16 V bis 18 V Nennspannung im Leistungsbereich 10 ... 40 W, die üblicherweise mit Akkus von 36 ... 100 Ah kombiniert werden. Bei dem maximalen Reglerstrom von 10 A können auch Generatoren bis zu 150 W angeschlossen werden. Natürlich kann man die Schaltung auch als Laderegler in Verbindung mit einem Windgenerator oder als „normales“ Ladegerät verwenden, wenn die Eingangsspannung im Bereich von 15 ... 18 V liegt.

Bauhinweise und Optionen

Die größte Verlustleistung fällt bei T1 an, der die Spannungsdifferenz zwischen Generator- und Ladespannung multipliziert mit dem Ladestrom (ergibt Watts) zu verkräften hat. Je nach verwendetem Solargenerator ist die Kühlung des Transistors zu dimensionieren. Liefert z. B. ein (recht großes) **45-W-Modul**

mit 36 Zellen unter den „Nennbedingungen“ (25 °C) bei einer Spannung von 16,5 V einen Strom von 2,73 A und ist die Akku-Ladespannung auf 13,5V eingestellt, so beträgt die Verlustleistung an T1 immer noch bescheidene 8,2 W (bei einer maximalen Verlustleistung von 40 W bei BUZ71 und 75 W bei BUZ10). Bei leistungsstarken Solarmodulen kann man daher auch BUZ10 verwenden.

Bei T2 fällt noch weniger an: Da die U_{DS} auf 1 V begrenzt ist, treten selbst bei 10 A nur etwa 10 W Verlustleistung auf ($R_{DS-ON} = 0,08 \Omega$), beim BUZ11 mit einem R_{DS-ON} von nur $0,04 \Omega$ sind es nochmals weniger. Bei Lastströmen über 5 A ist der BUZ11 daher vorzuziehen. Bei Inkaufnahme eines etwas höheren Spannungsabfalls ist für D1 auch die Si-Diode BYV79 verwendbar.

T1, T2 und D1 (alle im TO220-Gehäuse) sind an der gleichen Platinenseite angeordnet, so daß man sie (isoliert!) auf einen gemeinsamen Kühlkörper schrauben kann. Verwendet man ein Metallgehäuse, so kann man auch die Gehäusewand als Kühlfläche nutzen. Unser Mustergerät wurde in einem spritzwassergeschützten Kunststoffgehäuse mit seitlich angeschraubtem Kühlkörper untergebracht.

Die etwas einfache Ladeanzeige mit LED D6 kann natürlich leicht mit einem richtigen Amperemeter ergänzt werden. Ein normales Gleichstrominstrument läßt sich in die Verbindung zwischen Solarmodul und Laderegler schalten, Meßbereich je nach maximalem Modulstrom. Am besten eignet sich ein Amperemeter mit Mittenanzeige (Nullpunkt in Mittellage), das in der Leitung zum Akku sowohl Lade- als auch Entladestrom anzeigt. Derartige „Ladeanzeiger“ gibt es auch als Einbauminstrumente für PKWs.

Stückliste

Widerstände:

R1 = 15 k
R2 = 33 k
R3, R4, R16, R19, R20 = 100 k
R5 = 82 k
R6 = 22 k
R7 = 10 k
R8, R21 = 1 M
R9 = 12 k
R10 = 1 k
R11 = 120 k
R12 = 2k2
R13 = 150 k
R14 = 47 k
R15 = 270 k
R17 = 82 k
R18 = 150 k

Trimpotis:

P1 = 5 k
P2 = 50 k (47 k)

Kondensatoren:

C1, C4 = 10 μ /16 V
C2 = 100 n
C3 = 2 μ 2/16 V

Halbleiter:

D1 = BYV19 (BYV79, wenn Ladestrom < 2 A)
D2, D3, D4 = 1N4148
D5 = LM336-2,5
D6, D7 = LED, rot/3 mm
T1 = BUZ71
T2 = BUZ10 (bis 5 A), BUZ11 (bis 10 A)
T3 = BC557B
IC1 = LM324

außerdem:

F1 = Feinsicherung 10 A flink mit Halter für Platinenmontage
k1, k2, k3 = 2-poliger Stecker für Platinenmontage

Für die Einstellung der Sicherung braucht man eine Belastung (Lastwiderstand), die den gewünschten Sicherungsauslösestrom fließen läßt, beispielsweise etwa 2 n/70 W für 6 A oder eine Autolampe 45/50 W für etwa 4 A (2 Lampen = 8 A). P2 stellt man zuerst auf Anschlag (bei R16) und dreht dann langsam so lange zurück, bis die Sicherung auslöst und den Strom abschaltet. Nach Abklemmen der Last muß die Ausgangsspannung innerhalb von Sekunden wieder anliegen.

Noch ein paar Hinweise zum praktischen Betrieb: Da die gesamte Regelschaltung vom Akku gespeist wird, reicht die Spannung bei Tiefentladung des Akkus (unter 6...7 V) nicht mehr aus, um T1 aufzusteuern. In diesem Fall T1 kurzzeitig überbrücken oder Akku für einige Minuten direkt laden, bis sich die Spannung wieder aufbaut.

Der wirksame Tiefentladeschutz des Reglers verhindert aber, daß Sie in diese Situation geraten, so daß der Trick nur für neue (ungeladene) und defekte Akkus gebraucht wird.

Nach Auslösen der Sicherung muß die Last vollständig abgetrennt werden, um die Stromsperre wieder aufzuheben. Ein fest angeschlossenes Voltmeter (Drehspulinstrumente) verhindert mit seinem Eigenverbrauch schon eine Entriegelung und muß dann auch kurzzeitig abgeschaltet werden, am besten durch einen Trennschalter, der auch die Last abtrennt. Die Rücksetzung der Sicherung erfordert etwa 6 bis 7 Sekunden ohne Last, so lange dauert es, bis sich C4 über R21 von 1,6 V bis auf unter 1 V entlädt.

Bei völlig unbelastetem Akku kann die Ladekontroll-LED auch dann noch leuchten, wenn der **Solargenerator** keinen Strom mehr liefert. Ohne Last bleibt die Akkuspannung nämlich eine Weile auf 14 V oder höher stehen. Bei Belastung geht die Spannung aber schnell auf rund 12 V zurück.

Bleibt uns nur noch ausreichend Sonne zu wünschen, damit Ihnen der Solarstrom so schnell nicht ausgeht. An unserem Laderegler soll es jedenfalls nicht **liegen!**

5.2 Akku-Ladekontrolle

Obwohl beim schnellen Laden von NiCd-Akkus die Temperatur eine entscheidende Rolle spielt, wird sie von den wenigsten Ladegeräten angezeigt. Drei wichtige Temperaturwerte müssen dabei unterschieden werden:

Zu 50 % geladen: Temperatur = 30 °C

Zu 100 % geladen: Temperatur = 37 °C

Bei Überladung auf 120 %: Temperatur = 48 °C.

Die Ladekontroll-Elektronik enthält drei **Komparatoren** und eine Relaisreiberstufe. Zwischen Ladegerät und Akku eingeschleift, zeigt sie den aktuellen Akku-Temperaturbereich mit Leuchtdioden an und unterbricht notfalls den Ladevorgang. Eine grüne LED leuchtet **auf**, solange die Akku-Temperatur unter 20 °C liegt. Temperaturen über 20 °C, aber noch unter 38 °C meldet eine gelbe **Warn-LED**. Bei noch höheren Temperaturen signalisiert eine rote LED Gefahr.

Der Anschluß K1 wird mit dem Ladegerät verbunden. Über den Jumper JP1 kann man festlegen, ob die Schaltung ihre Versorgungsspannung direkt vom Ladegerät oder extern erhält.

Vom **Vierfach-Komparator** LM339 werden nur drei Komparatoren verwendet. An jedem der invertierenden Eingänge von IC1b . . . d liegt über einen separaten Spannungsteiler eine Referenzspannung. Wenn die Spannungen an den **nichtinvertierenden** Eingängen den Wert der jeweiligen Referenzspannung überschreitet, dann schaltet der betreffende **Komparator** um, und die an seinem Ausgang angeschlossene LED leuchtet. An den Ausgang von IC1b ist nicht nur die rote Alarm-LED, sondern über R11/R12 auch der Transistor T1 angeschlossen. T1 steuert das Schaltrelais, das den Ladestrom für die Akkus unterbricht.

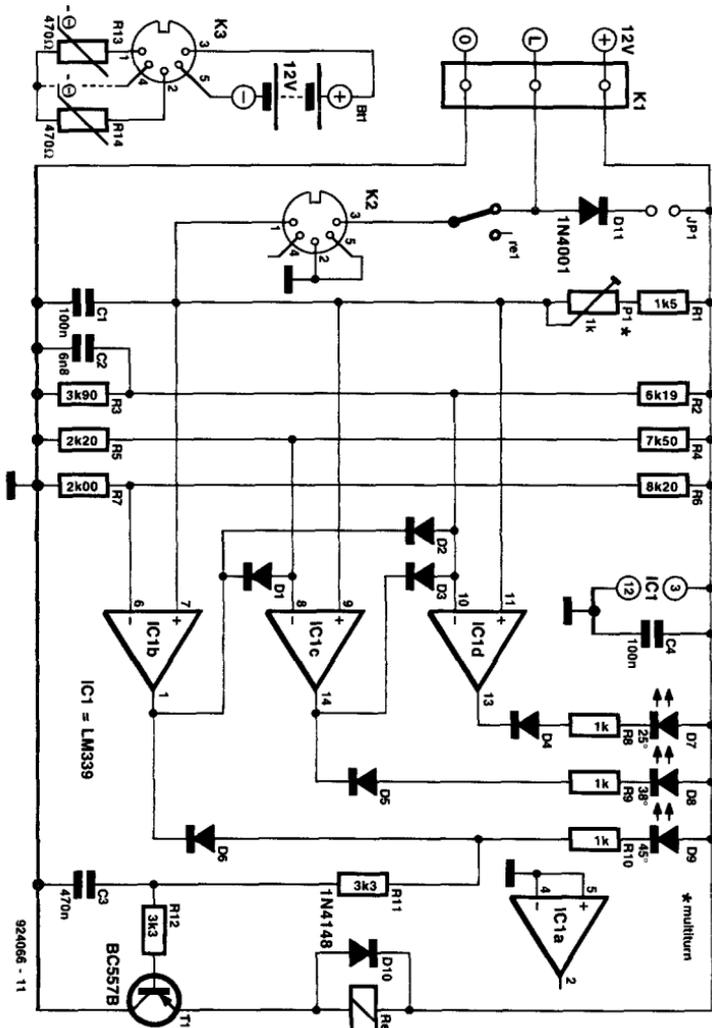


Bild 5.2.1. Schaltung der Akku-Ladekontrolle.

Durch die Verknüpfung der Ausgänge von IC1b und IC1c mit den Referenzeingängen der jeweils nachfolgenden Komparato-

ren über D1 ... D3 leuchtet immer nur jeweils eine LED. Das reduziert die Stromaufnahme der Schaltung auf etwa 50 mA.

Auf einen Stabilisator für die Versorgungsspannung kann man verzichten, da sich die Referenzspannung und die Versorgungsspannung der NTCs im gleichen Maße ändern.

Möchte man diese Schaltung in Verbindung mit 6-V-Akkus verwenden, braucht nur ein einziges Bauteil ausgetauscht zu werden: Für das Relais R1 muß man dann eine 6-V-Version verwenden.

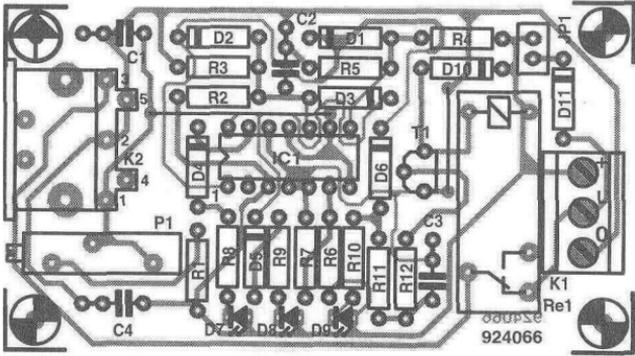


Bild 5.2.2. Bestückungsplan der Ladekontrolle.

Stückliste

Widerstände:

R1 = 1k5
R2 = 6k19
R3 = 3k9
R4 = 7k50
R5 = 2k20
R6 = 8k20
R7 = 2k00
R8, R9, R10 = 1k
R11, R12 = 3k3
R13, R14 = NTC 470 Ω
P1 = 1-k-Wendeltrimmer

Kondensatoren:

C1, C4 = 100 n
C2 = 6n8
C3 = 470 n

Halbleiter:

D1 D6, D10 = 1N4148
D7 = LED grün
D8 = LED gelb
D9 = LED rot
D11 = 1N4001
IC1 = LM339

außerdem:

K1 = Platinenlusterklemme 3-polig,
5 mm Rastermaß
K2 = DIN-Buchse 5-polig, für Platinenmontage
Re1 = 12-V-Relais,
max. 50 mA Erregerstrom
(Spulenwiderstand min 240 Ω)

5.3 Power-Converter

Ob der **24-V-LötKolben** auf der grünen Wiese betrieben werden soll oder das NiCd-Pack fürs **Elektroflugmodell** aus der Autobatterie geladen werden muß: Der Power-Converter ist ein Leistungsnetzteil für alle Gelegenheiten, bei denen **12 V** aus dem Autoakku einfach zu wenig sind.

Technische Daten

- **Step-up-Converter (Fly-Back-Prinzip)**
- keine Spezialdrossel, einfache Luftspule **genügt**
- ☐ Eingangsspannung **12-V-DC**
- ☐ Ausgangsspannung einstellbar **zwischen 20 ... 30 V**
- maximale Ausgangsleistung **75 Watt**
- maximaler Strom **3 A bei 24 V**
- Wirkungsgrad bis zu **72 % (lastabhängig)**
- Spannungsdifferenz zwischen Leerlauf und Vollast **< 200 mV**
- Brummspannung kleiner **500 mV Spitze-Spitze**

Der Gleichspannungstrafo, der aus **12-V-DC** mal eben **20-** oder **40-V-DC** macht, ist leider immer noch nicht erfunden. Im Moment bietet sich für derartige Gleichspannungswandlungen nur ein **Leistungsmultivibrator** mit nachgeschaltetem Trafo oder ein Schaltnetzteil an. Beide Lösungen haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Der Power-Converter ist mit dem bewährten Schaltregler **TI497** von Texas Instruments aufgebaut, der eine gute Spannungsstabilisierung bei geringer Restwelligkeit und gleichzeitig hohem Wirkungsgrad ermöglicht.

Die Theorie ...

Unsere Umformerschaltung arbeitet nach dem Fly-back-Prinzip, der einzigen Methode, um ohne Transformator eine Ausgangsspannung zu erzeugen, die höher ist als die Eingangsspannung (Step-up-Converter). Die Funktionsweise ist zwar schnell erklärt, die Feinheiten stecken aber wie immer in den Details.

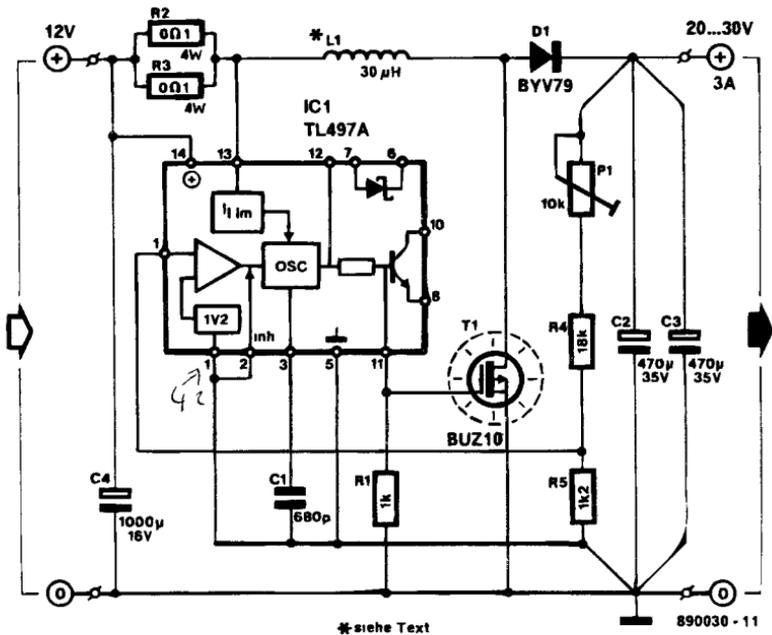


Bild 5 3.1 Das Schaltbild des Converters

Der Simos-Transistor T1 ist das zentrale Schaltelement. Während T1 leitet, speichert die Luftspule L1 elektrische Energie in Form eines elektromagnetischen Felds. Während der Sperrphase von T1 arbeitet die Spule als Stromquelle und gibt ihre Energie an den Verbraucher ab. Der Schaltregler TL497

mißt die heruntergeteilte Ausgangsspannung, die Stromaufnahme der gesamten Schaltung und steuert den Leistungs-FET so, daß die eingestellte Spannung konstant bleibt. Das ist im wesentlichen schon alles. Im Gegensatz zu anderen Schaltreglern steuert der TL497 den Leistungstransistor nicht mit konstanter Frequenz und variablem Tastverhältnis an. Hier wird eine konstante Einschaltzeit, aber eine variable Frequenz verwendet. Die Vorteile: Einfacher Aufbau, gute technische Daten. Einziger Nachteil ist eigentlich die Tatsache, daß man die Schaltfrequenz nicht auf einen Wert oberhalb des hörbaren Bereichs festlegen kann.

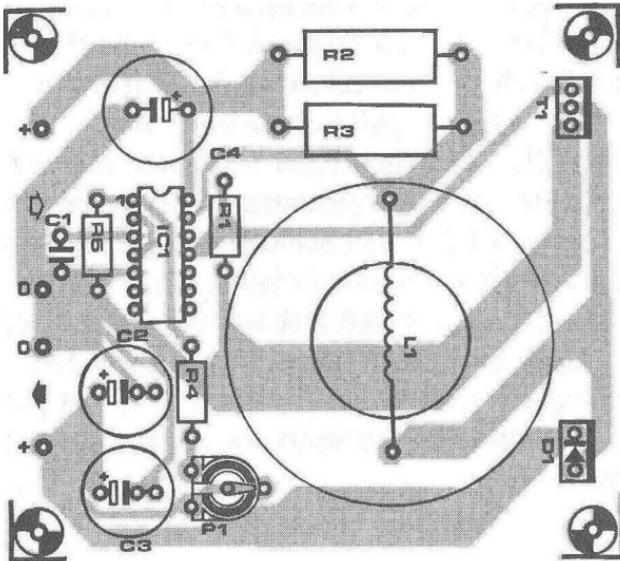


Bild 5.3.2. Alle Elkos sind stehend montiert, also entweder radiale Ausführungen kaufen oder die Anschlußdrähte zurechtbiegen. Dafür ist aber auch die Platine schön klein.

Stückliste

Widerstände:

R1 = 1 k
R2, R3 = 0,1 Ω /4 W
R4 = 18 k
R5 = 1k2
P1 = 10-k-Trimpotentiometer

Kondensatoren:

C1 = 680 p
C2, C3 = 470 μ /35 V stehend
C4 = 1000 μ /16 V, stehend

Halbleiter:

D1 = BYV 79 (Valvo)
T1 = BUZ 10 (Siemens)
IC1 = TL 497A (Texas Instruments)

außerdem:

L1 = 30 μ H Luftspule,
33 1/2 Windungen aus 2 x CuI
1 mm Durchmesser parallel
oder 3 x CuI 0,8 mm parallel

In Bild 5.3.3 ist der Spannungsverlauf an den wichtigsten Schaltungspunkten gezeichnet. Der zentrale Oszillator im TL 497 arbeitet auf einer sehr niedrigen Frequenz (im Leerlauf unter 1 Hz), die Einschaltdauer (Bild 5.3.3a) der Rechteckimpulse ist mit C1 festgelegt. Die Stromaufnahme des Lastwiderstands bestimmt die Ausschaltzeit. In der Anlaufphase (Einschaltmoment) leitet T1 und der Stromfluß durch die Spule (Bild 5.3.3b) steigt an. In der ersten Impulspause arbeitet die Spule schon als Spannungsquelle, der Schaltregler vergleicht die an Pin 1 anliegende geteilte Ausgangsspannung mit einer internen Referenzspannung von 1,2 V und schaltet, wenn die Spannung an Pin 1 kleiner ist als 1,2 V, den Leistungstransistor wieder ein. Der ganze Vorgang wiederholt sich und die Ausgangsspannung pendelt sich auf den eingestellten Wert ein (Bild 5.3.3c). Die Oszillatorfrequenz nimmt eine Größe an, mit der gerade alle auftretenden Verluste kompensiert und die Ausgangsspannung gehalten wird.

...und die Praxis

Ein Schaltnetzteil wird natürlich nicht für Leerlauf, sondern für eine maximale Stromentnahme dimensioniert. Außerdem sollte der Wirkungsgrad natürlich so hoch wie möglich und

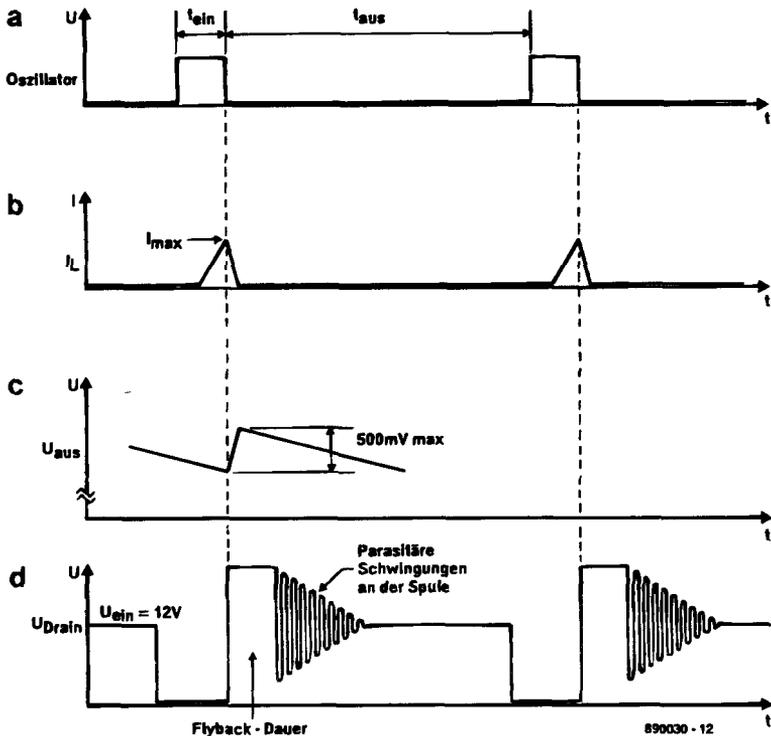


Bild 5.3.3. Der Spannungsverlauf an den wichtigsten Punkten.

die Ausgangsspannung so stabil und brummfrei wie möglich sein. Über die Lastregelung braucht man sich bei einem **Flyback-Converter** nicht viele Gedanken zu machen: da das Tastverhältnis von Einschaltperiode zu Ausschaltperiode nachgeregelt wird, ergibt sich automatisch eine sehr stabile Ausgangsspannung. Anders sieht das schon beim Wirkungsgrad aus. Das gewählte Umformerprinzip erfordert relativ große Spitzenströme mit entsprechend großem Spannungsabfall an allen schaltenden Bauteilen und große Ausgangskondensatoren. Als Schaltnetzteilentwickler ist man von dem Ehrgeiz getrieben, die Induktivität so klein wie möglich zu halten, also die Schaltfrequenz bei Vollast so hoch wie möglich zu legen. Mit unserer

Dimensionierung reicht für L1 sogar eine simple Luftspule, die Ummagnetisierungsverluste einer Ferritkernspule fallen also von vorneherein weg. Problematisch ist das schnelle Abschalten eines bipolaren Steuertransistors. In Hinblick auf den Wirkungsgrad muß der Transistor im Schaltbetrieb arbeiten, das heißt, er wird zum Durchschalten in die Sättigung gesteuert. Daraus ergibt sich eine relativ lange Abschaltzeit, die den Wirkungsgrad der Schaltung wieder vermindert. Im Gegensatz zur Standardapplikation von Texas Instruments ist hier ein Sipmos-Leistungstransistor eingesetzt und dieser wird nicht mit dem internen Transistor des Chips angesteuert, sondern über Pin 11 (eigentlich nur ein Test-Anschluß) direkt mit dem Oszillator verbunden. Ein bipolarer (Darlington-) Transistor scheidet als Schaltelement aufgrund seiner hohen Restspannung (Verlustleistung!) im durchgeschalteten Zustand aus. D1 ist ein weiteres kritisches Bauteil der Schaltung. Hier sind schnelles Schalten und geringer Spannungsabfall im leitenden Zustand gefragt.

Die BYV79 darf auf keinen Fall durch eine beliebige Siliziumdiode ersetzt werden.

Alle anderen Bauteile der Schaltung sind unkritisch.

Der 1000- μ F-Kondensator C4 puffert die Versorgungsspannung und beugt Spannungseinbrüchen an den Anschlußklemmen vor. Die parallelgeschalteten Widerstände R2/R3 begrenzen den maximalen Strom und dienen gleichzeitig als Stromfühler für die Strombegrenzung im Schaltregler TL 497. Der Spannungsteiler aus P1/R4/R5 sorgt für einen Ausgangsspannungsbereich von etwa 20 V ... 30 V und C2/C3 dienen als Ladekondensatoren. Die Parallelschaltung aus zwei Einzelkondensatoren hat zwar die gleiche Kapazität, wie ein einzelner, doppelt so großer Kondensator, die Eigeninduktivität ist aber um 75 % geringer.

Bild 5.3.4 zeigt die Spannungsverläufe eines falsch abgestimmten Converters. Der in Bild 5.3.4b gezeichnete Stromverlauf

durch die Induktivität entsteht nur, wenn die Widerstände R_2/R_3 oder der Kondensator C_1 zu klein dimensioniert sind. Die steigende Flanke des Sägezahns erhält durch das ständige Nachregeln des Schaltreglers einen **treppenförmigen** Verlauf. Mit dem Oszilloskop ist also leicht zu erkennen, ob C_1 korrekt bemessen ist. Wer also unbedingt eine andere Spule als die vorgeschlagene verwenden will, muß man C_1 eben solange anpassen, daß der Spulenstrom innerhalb einer Einschaltperiode den Maximalwert erreichen kann. Der zeitliche Verlauf der Spannung sieht dann wieder aus wie in Bild 5.3.3b. Wenn die Sollausgangsspannung erreicht ist, schaltet der Oszillator ab und der Strom durch die Spule ist kurzzeitig Null. Die Oszillatorfrequenz steigt unter Vollast bis auf einige kHz an. Abhängig von der Last liegt zwischen den Impulsen eine mehr oder weniger lange Impulspause (Oszillatorfrequenz niedrig). Dieser Zeitraum nimmt mit ansteigendem Laststrom immer weiter ab (Oszillatorfrequenz steigt).

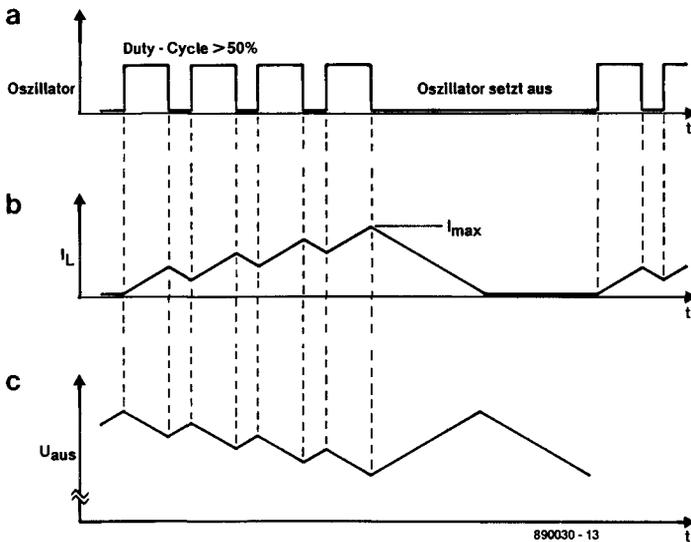


Bild 5.3.4. Wenn die **Bauteildimensionierung** nicht optimal ist, sieht der Stromverlauf durch die Spule schon ganz anders aus. Der Wirkungsgrad verschlechtert sich **natürlich** auch.

Selberwickeln

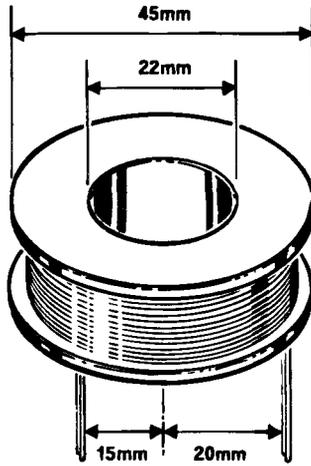
Spule L1 besteht aus 33 1/2 Windungen Kupferlackdraht, in Bild 5.3.5 finden sich die erforderlichen Abmessungen. Einige Hersteller liefern den Draht auf einem Spulenkörper, den man auch zur Herstellung der Spule verwenden kann. Dicker Draht oder nicht ist hier allerdings anders als bei Lautsprecherkabeln nicht die Frage. Der **Skin-Effekt** (Verdrängung der Ladungsträger an die Leiteroberfläche) macht sich bei **Schaltfrequenzen/-strömen** im kHz-Bereich schon bemerkbar. Um die Induktivität mit so wenig **ohmschem** Widerstand wie möglich aufzubauen, wickelt man zwei Drähte mit 1-mm-Durchmesser, oder noch besser 3 Drähte mit 0,8-mm-Durchmesser parallel.

Mit dreimal 0,8 mm Draht ist der Kupferquerschnitt (wichtig für den maximalen Strom) fast genauso groß wie mit zweimal 1-mm-Draht, die Drahtoberfläche ist aber etwa 20 % größer.

Aufbau und Abgleich

Die einzigen Halbleiter, die im Betrieb ordentlich heizen, sind T1 und die Diode D1. Sie sitzen deshalb beide am Rand der Platine und können leicht gegen einen Kühlkörper geschraubt werden, der gleichzeitig die Rückwand eines Gehäuses bildet. Die Widerstände R2/R3 nicht bündig, sondern mit einigen Millimetern Abstand zur **Platinenoberfläche** festlöten (Spitzenstrom 15 A!). Außer einer stabilen Steckverbindung (oder mehreren Polklemmen) sollte man am Gehäuse auch zwei Sicherungshalter anbringen, einen vor- und einen hinter der Wandlerschaltung. Kurzschlüsse an der Autobatterie sind auf jeden Fall zu vermeiden. Die Schaltung selbst ist auch nicht kurzschlußfest.

Abzugleichen gibt's nicht viel: unter Last mit P1 die gewünschte Ausgangsspannung einstellen, fertig.



890030 - 14

Bild 5.3.5. Spule L1 ist zwar nicht handelsüblich, selbstwickeln ist aber kein Problem.

5.4 Verpolungs- und Tiefentladeschutz

G. Kleine

Mit dieser Schaltung können Stromverbraucher vor falsch gepolter oder zu niedriger Batteriespannung geschützt werden, ohne daß an der Sicherung ein Spannungsabfall auftritt. Auch in Solaranlagen findet sie ihren Einsatz als Tiefentladeschutz.

Die einfachste Methode, ein Gerät gegen ein Verpolen zu schützen, ist in Bild 5.4.1 (links) zu sehen. Eine Diode in der Plusleitung leitet bei korrekt gepolter Spannung und sperrt, wenn die Betriebsspannung verpolt angelegt wird. In Bild 5.4.1 (mitte) erhält das Gerät die Betriebsspannung über eine Graetz-Brücke, die automatisch für die korrekte Polarität sorgt, egal, wie man die Betriebsspannung auch anschließt. Damit dies auch funktioniert, darf aber beispielsweise die Minusleitung von der Niederspannungsbuchse zur Elektronik nicht über das Metallgehäuse verlaufen. Beide Varianten haben einen großen Nachteil: Der Spannungsverlust aufgrund der Diodenschwellspannung von $0,6 \dots 0,7$ V (bei der Graetz-Brücke das Doppelte) macht sich gerade in batteriebetriebenen Geräten unangenehm bemerkbar.

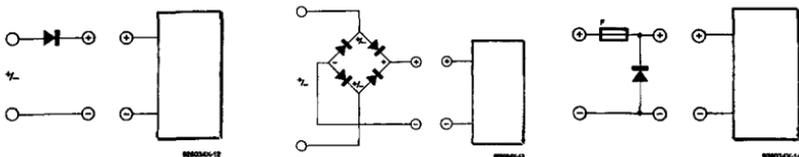


Bild 5.4.1. Drei Varianten eines Verpolungsschutzes.

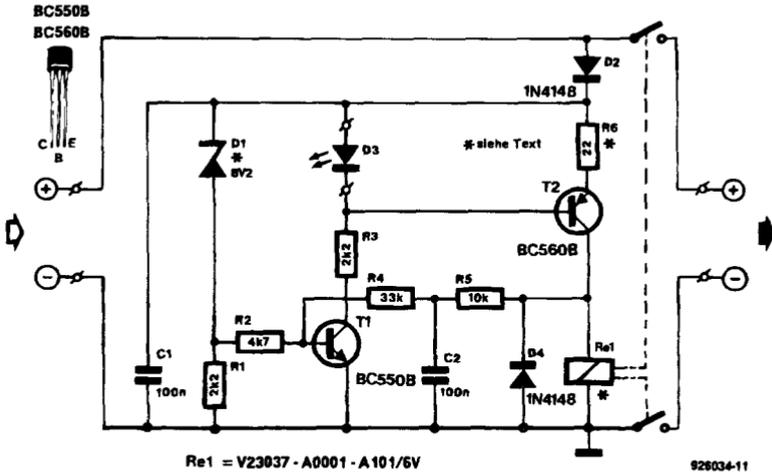
Eine Lösung ohne Spannungsverlust stellt Bild 5.4.1 (rechts) dar. Bei korrektem Anschluß sperrt die Diode, der Laststrom liegt unter dem Auslösewert der schnellen Sicherung. Wird die Versorgung falsch angeschlossen, schließt die nun leitende Diode die Spannungsquelle kurz. Der hohe, nur vom Durchlaßwiderstand der Diode begrenzte Strom löst sofort die Sicherung aus.

Verpolungsschutz

Diese doch etwas brachiale Methode läßt sich wesentlich eleganter auf elektronischem Wege nachvollziehen. An die Schaltung in Bild 5.4.2 wird links der Akku oder das Steckernetzteil angeschlossen, am Ausgang auf der rechten Seite der Verbraucher. Als Sicherung dient ein Relais, das beide Versorgungsspannungsleitungen im Bedarfsfall unterbricht. Während des normalen Betriebs fällt an den Relaiskontakten praktisch keine Spannung ab.

Die Elektronik ist über D2 an die Spannungsquelle angeschlossen. Ist diese falsch gepolt, sperrt 2 und die Elektronik bleibt funktionslos. Das Relais zieht nicht an und die Last bleibt von der Spannungsquelle getrennt. Die Elektronik hat nicht nur die Aufgabe, das Relais anzusteuern, sondern verhindert durch die Hysterese Relaisklappern und ermöglicht außerdem einen großen Eingangsspannungsbereich und den Anschluß verschiedener Relais Typen.

Doch nicht nur bei falsch gepolter, sondern auch bei zu niedriger Spannung wird die Schaltung aktiv. Ist die Spannungsquelle (hier der Akku) korrekt angeschlossen und die Spannung höher als die Z-Spannung von D1 plus der Schwellenspannungen von T1 und D2 ($8,2 \text{ V} + 0,7 \text{ V} + 0,7 \text{ V} = 9,6 \text{ V}$), fließt ein Basisstrom über R2, so daß T1 durchschaltet. Die Kollektorspannung sinkt nahezu auf Massenniveau, so daß D3 leuchtet. Gleichzeitig kann auch ein Basisstrom von T2 fließen. T2 schaltet durch, das Relais zieht an und die Last wird an die



2. Mit dieser Schaltung läßt sich eine Verpolungs- und Tiefentladenschutzfunktion ohne Spannungsverlust erzielen.

Spannungsquelle angeschlossen. D4 ist die übliche Freilaufdiode. Mit R4, R5 und C2 wird die (geringe) Hysterese realisiert. Schaltet T2 durch, kann ein zusätzlicher Basisstrom nach T1 fließen. Dieser Strom ist zwar zu klein, um T1 alleine durchzuschalten (schließlich soll die Schaltung das Relais ausschalten, wenn die Versorgungsspannung unter den Sollwert fällt), verhindert aber wirksam ein Klappern des Relais, wenn die Quellspannung „auf der Kippe“ ist. C2 schließt sicherheitshalber eventuelle Spannungsspitzen in der Gegenkopplung kurz.

Dimensionierung

Sie haben sicher schon an den Sternchen im Schaltbild gemerkt, daß sich die Polaritätssicherung an bestimmte **Situationen** anpassen läßt. Die Spannung, die die Quelle liefern muß, damit das Relais anzieht, läßt sich durch D1 **beeinflus-**

sen. Die maximal zulässige Eingangsspannung liegt etwa bei 45 V ($U_{CE\max}$ der Transistoren), die minimale bei etwa 5 V.

D3 hat natürlich nicht nur die Aufgabe, den Betriebszustand der Sicherung zu signalisieren. Zusammen mit R3, R6 und dem als Schalter fungierenden T1 bildet sie eine Konstantstromquelle. An D3 fallen immer 2 V ab. Da U_{BE} von T2 konstant (0,6 ... 0,7 V) ist, liegt damit auch die Emitterspannung von T2 fest. Die Spannung über R6 beträgt $2\text{ V} - 0,7\text{ V} = 1,3\text{ V}$, der Strom ist nach dem Ohmschen Gesetz kanpp 60 mA. Durch andere Emitterwiderstände lassen sich so auch verschiedenartige Relais einsetzen, auch die stromsparenden gepolten Relais. Die Schaltung kann ohne Schwierigkeiten auf der Platine in Bild 5.4.3 aufgebaut werden.

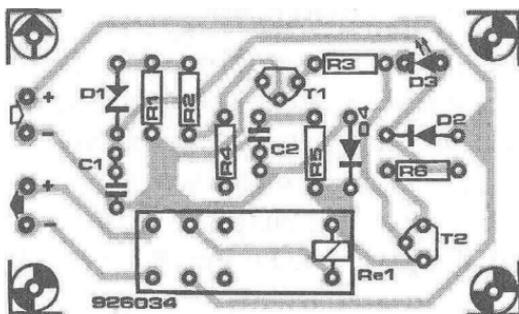


Bild 5.4.3. Die einfach aufzubauende Platine für den elektronischen Verpolungsschutz.

Stückliste

Widerstände:

R1, R3 = 2k2

R2 = 4k7

R4 = 33 k

R5 = 10 k

R6 = 22 Ω (siehe Text)

Kondensatoren:

C1, C2 = 100 n

Halbleiter:

D1 = Z-Diode 8V2/400 MW (siehe Text)

D2, D3 = 1N4148

D3 = LED 5 mm grün

T1 = BC550B

T2 = BC560 B

außerdem:

Re1 = 6-V-Relais
(Siemens V23037-A1-A101)

5.5 Schaltuhr mit Parking-Timer

W. Zeiller

Einfache Akkulader können die teuren Akkus schon mal zerstören, wenn sie vor Überladen nicht geschützt werden. Am einfachsten kann dies durch rechtzeitiges Ausschalten geschehen. Ein minutengenaues Abschalten eines Ladegerätes, nach Belieben auch andere Dinge, läßt sich bestens mit einer digitalen Stoppuhr, etwa einem billigen Parking-Timer mit entsprechender Nachrüstung verwirklichen.

Allerdings ist ein leichter Eingriff in die Innereien des Timers erforderlich. Nach Entfernen der Knopfzelle werden an die Polkontakte Drähte angelötet, gleiches geschieht mit dem Piezosummer. Falls der Summer intern schon mit Masse verbunden ist, kann diese Leitung entfallen. Schaltet die Uhr, dann piepst sie und lädt über Diode D1 und Widerstand R2 den Elko C1 auf. Bei ausreichender Basisspannung schaltet der Transistor T1 das Relais Re1, das sich über Selbsthaltekontakte im Schaltzustand hält. Diesen Zustand zeigt eine gelbe LED (D4) an. Die Selbsthalteschaltung ist erforderlich, da die Stoppuhren nach einer längeren Piepszeit automatisch abschalten. Der

Elko würde dann über R3 entladen und das Relais abfallen. Widerstand R2 und R3 sind aber erforderlich, da beim Stellen der Stoppuhr meistens Quittungspiepser abgegeben werden. Und die können sonst das Relais schon abschalten.

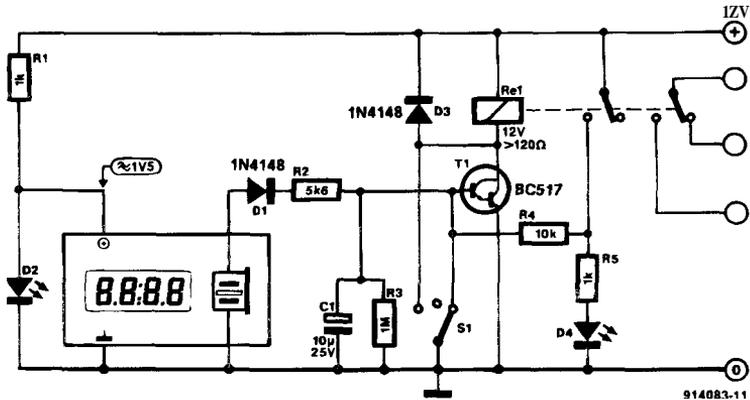


Bild 5.5.1.

Schalter S1 läßt verschiedene Möglichkeiten zu: Im gezeichneten Zustand wird Elko C1 kurzgeschlossen, die Schalteinheit ist blockiert. Die Mittelstellung macht den Timer scharf und die dritte Stellung schaltet nur das Relais ein. Die Spannungsversorgung kann beim Ladegerät aus der Ladespannung, ansonsten aus einem Netzadapter erfolgen der etwa 50 mA liefern kann (abhängig vom Relaisstrom). LED D2 (rot) zeigt den Betriebszustand an. Die Drähte aus der Uhr führt man durch ein kleines Bohrloch in der Rückseite in ein kleines Gehäuse und klebt die Uhr auf dem Gehäuse fest. Große Ziffern lassen sich gut ablesen und die Stellasten bequem bedienen.

Die Relaiskontakte lassen im allgemeinen ein Ein- und Ausschalten von Geräten (Lampe, Kaffeemaschine) zu. Alle Kontakte müssen der hohen Strombelastung aber gewachsen sein, eine Vollisolierung ist außerdem erforderlich.

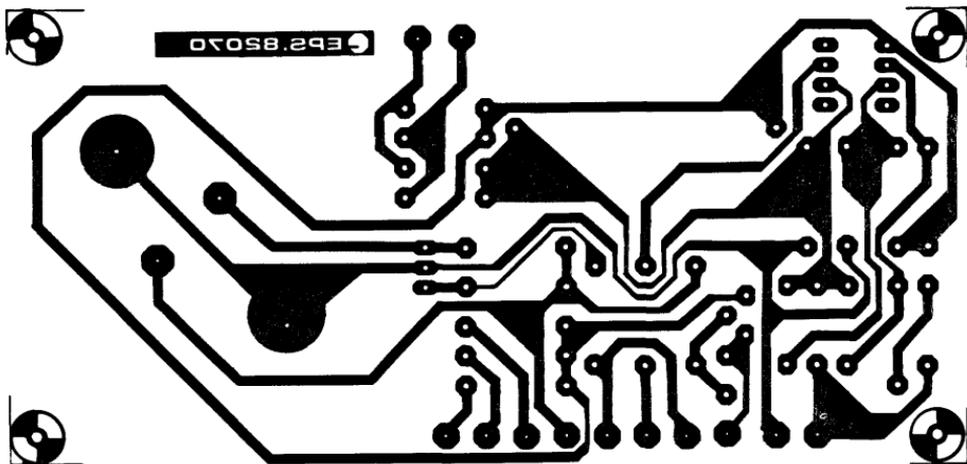
Anhang

Platinen-Layouts

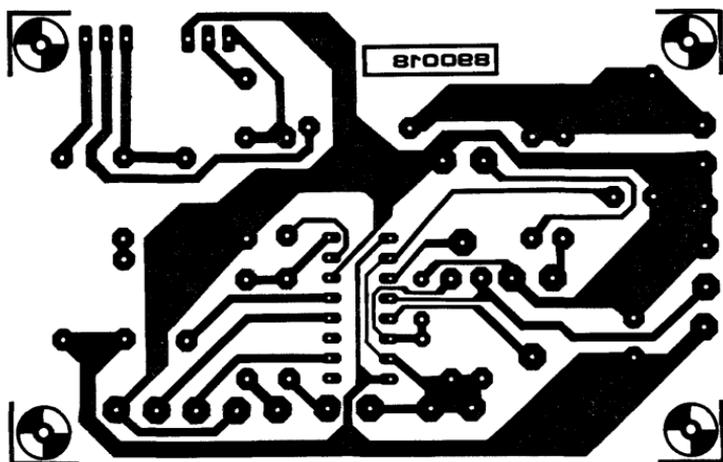
Auf den folgenden Seiten sind die wenigen Platinenlayouts aus diesem Buch seitenverkehrt abgebildet. Die spiegelbildliche Darstellung hat den Vorteil, daß man beim Übertragen eines Films auf die lichtempfindliche **Platinenoberfläche** die Fotoseite der Platine zuwenden und dadurch Unschärfen vermeiden kann.

Wie wird's gemacht?

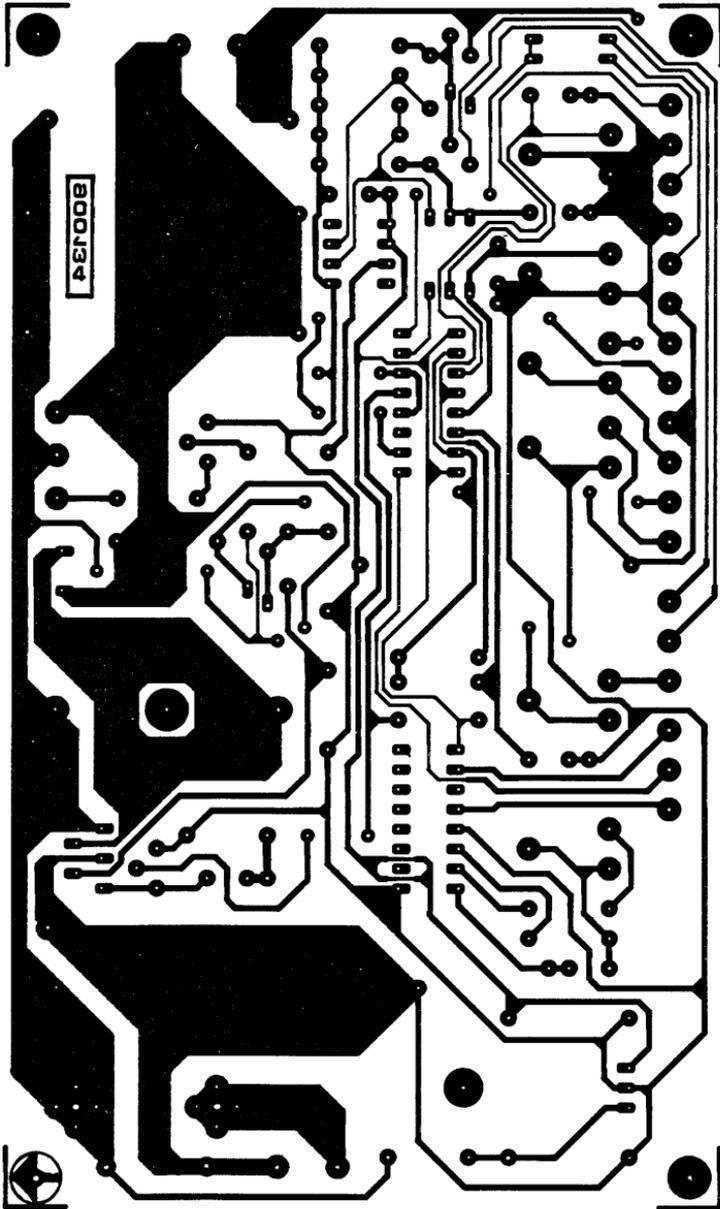
- O Die bedruckte Seite nach unten auf die Kupferseite einer fotobeschichteten Platine legen und glatt streichen.
- O Papier mit Klarpausspray einsprühen. Das Klarpausspray ist im Fachgeschäft für Zeichenbedarf erhältlich.
- O Belichten. Hierfür geeignete Lampen sind beispielsweise Osram **Ultra-Vitalux** E27 oder Osram Nitraphot S 250 W. Beispiel für eine Belichtung: 4... 8 Minuten mit Vitalux 333 W, bei 40 cm Abstand. Ansonsten: Ausprobieren.
- O Entwickeln und Ätzen mit Natronlauge (etwa 9 Gramm Ätznatron in einem Liter Wasser lösen) oder mit **Eisen-III-Chlorid** (etwa 1 Pfund pro Liter).
- O Fertig ist die **Platine!**
- O Aus Umweltschutzgründen gehört abschließend die Entwicklungs- und Ätzflüssigkeit nicht in die Kanalisation — also nicht einfach ins Waschbecken und die Sache ist erledigt. Es handelt sich hierbei um Sonderabfall, den man bei der kommunalen Sammelstelle abzugeben hat.

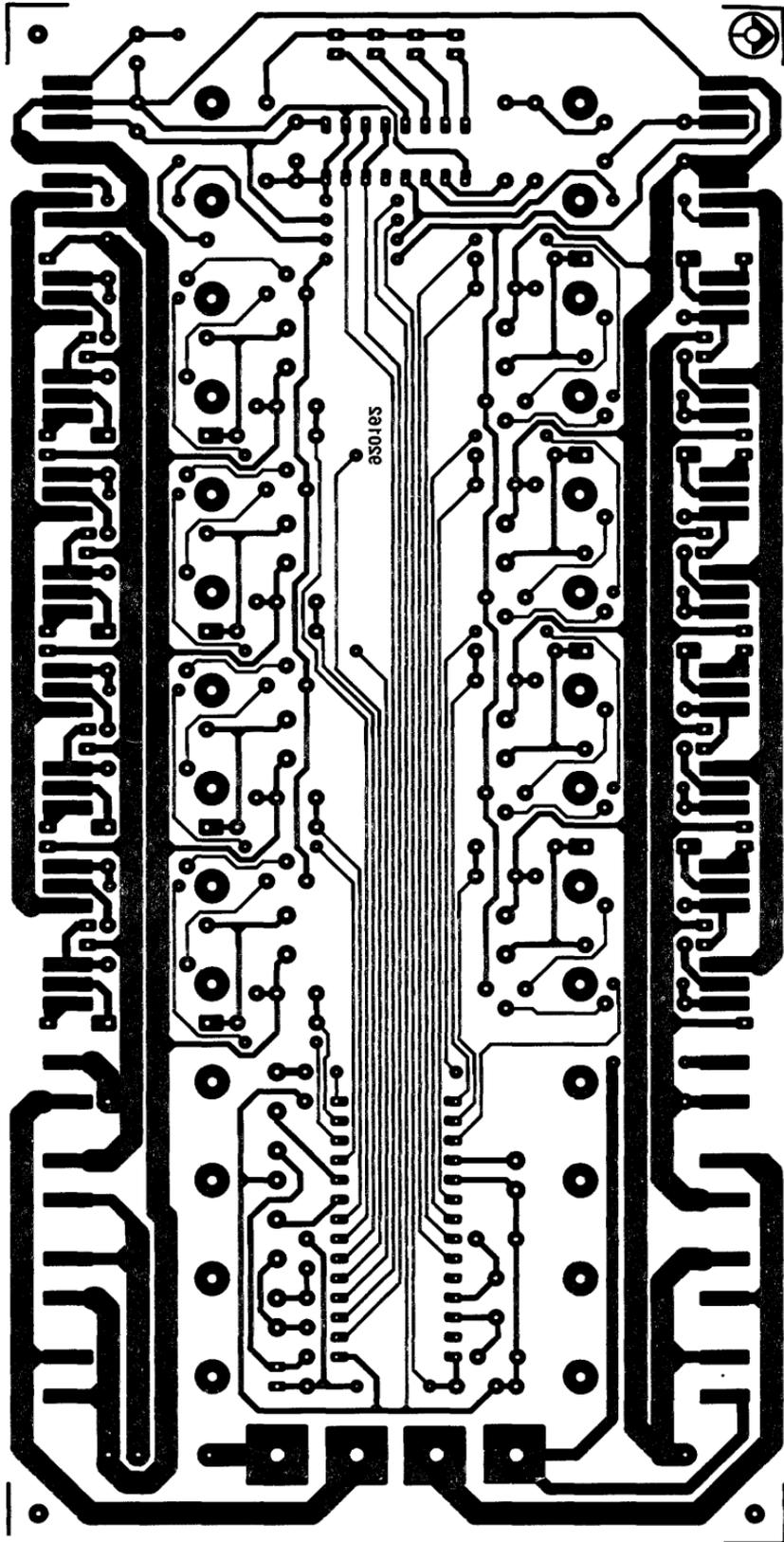


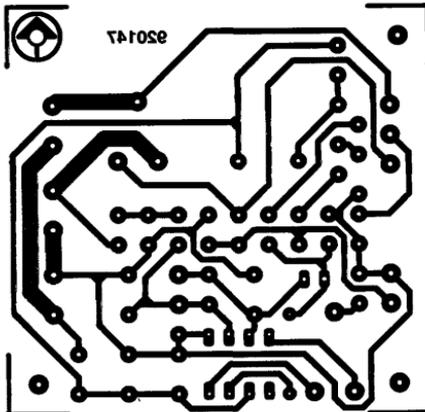
Unicad-Lader, Seite 42



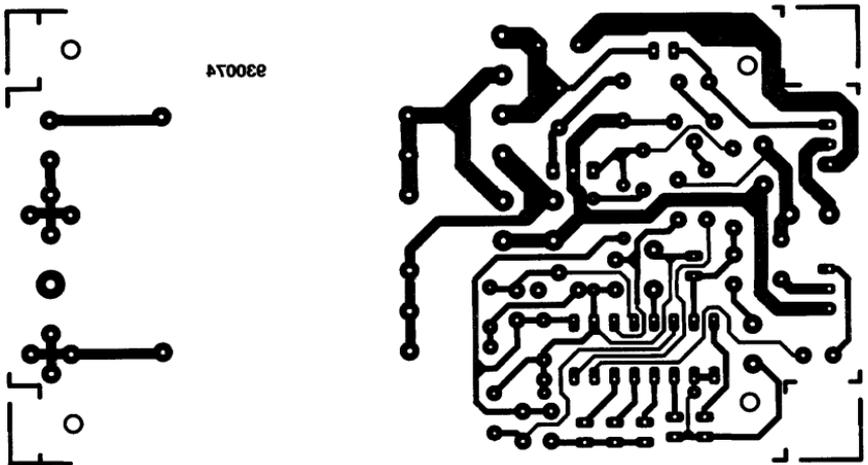
High-Tec-Nicad-Lader, Seite 82



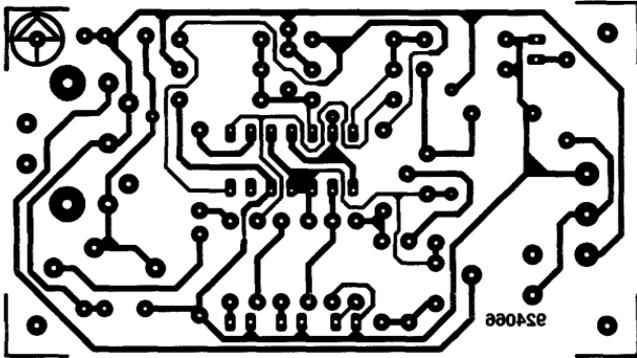




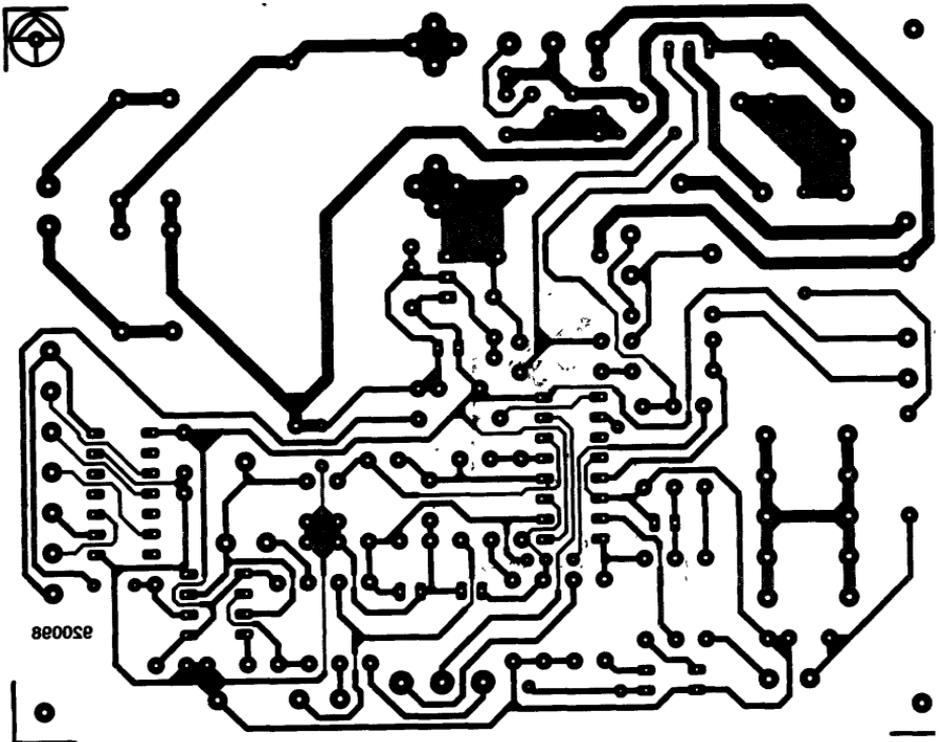
Delta-Peak-Nicad-Lader, Seite 126



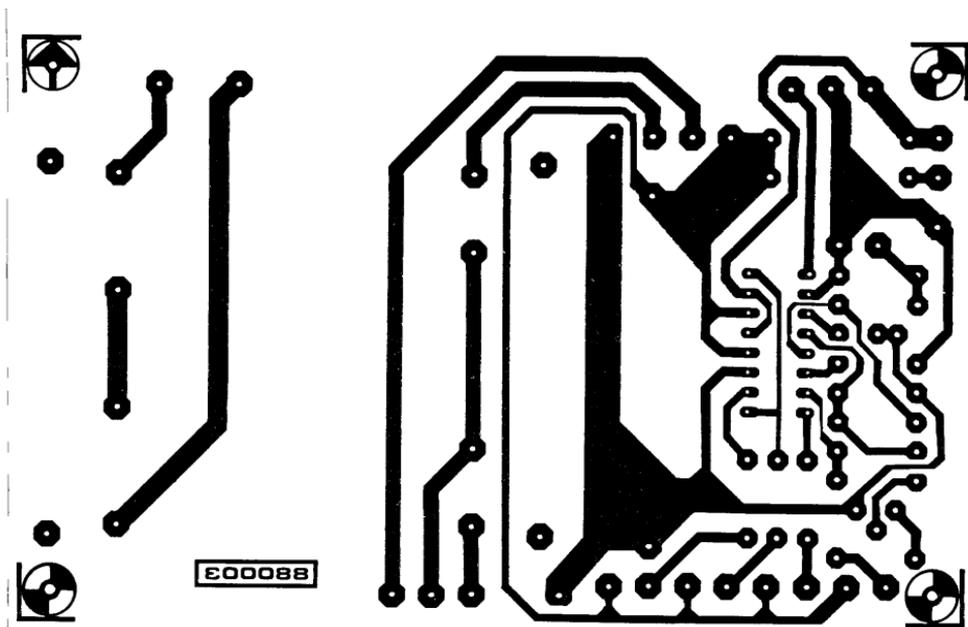
ICS-1700-Reflexlader, Seite 141



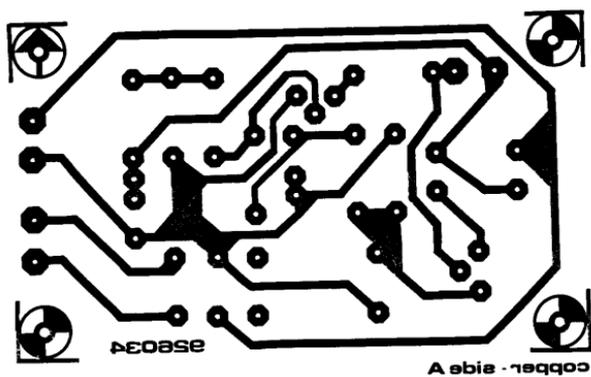
Akku-Ladkontrolle, Seite 189



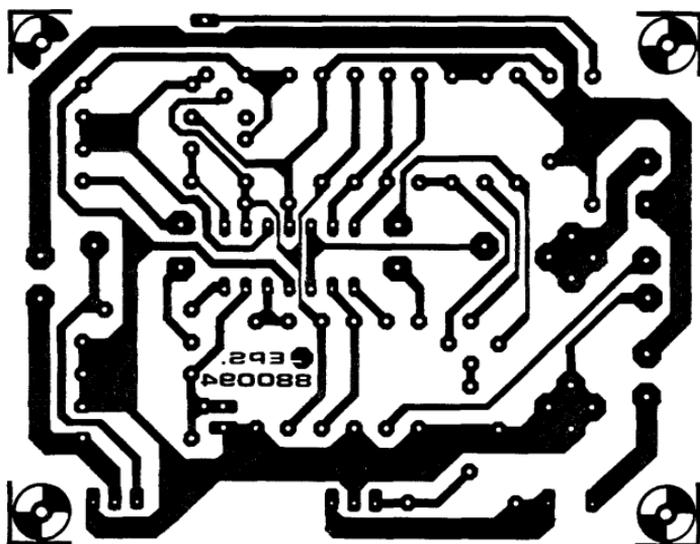
U2400-Unilader, Seite 153



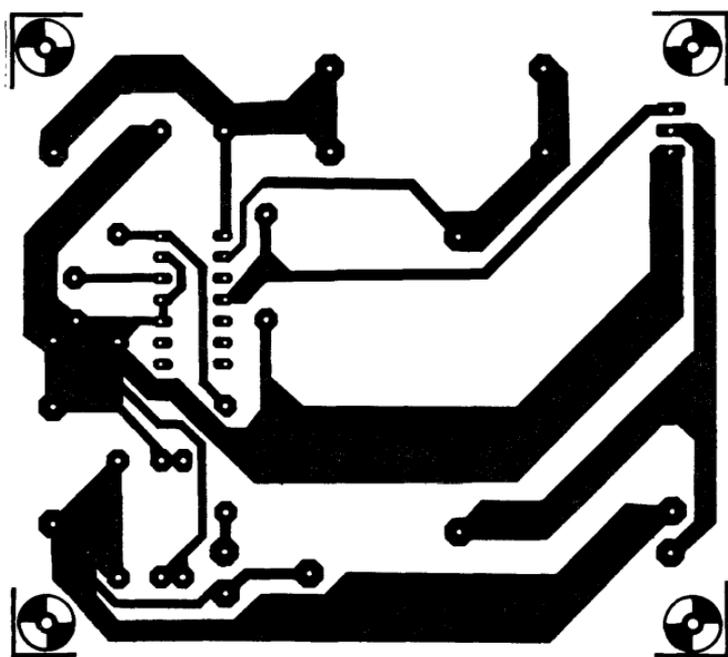
Blei-Akku-Lader, Seite 169



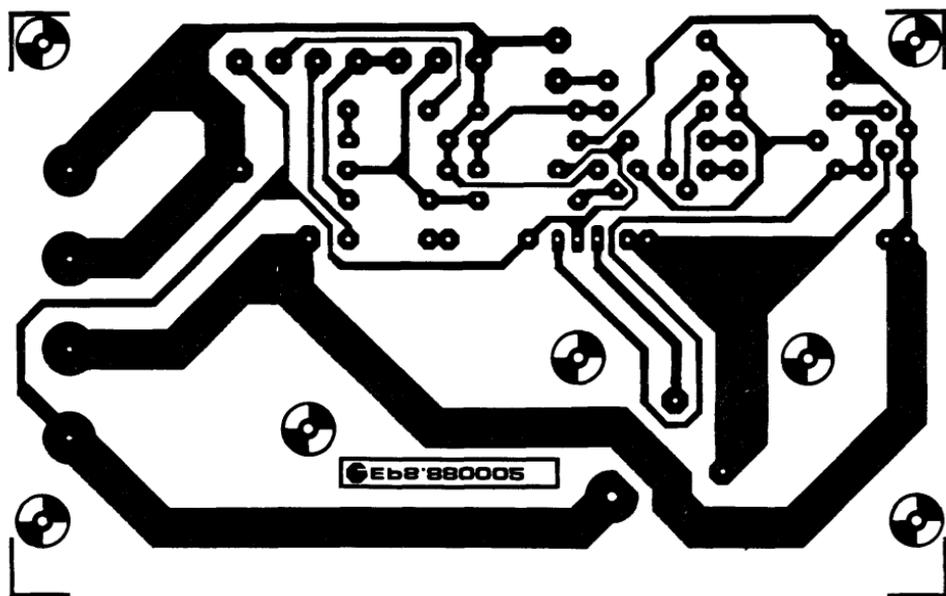
Verpolungs- und Tiefentladeschutz, Seite 203



Solar-Laderegler, Seite 184



Power-Converter, Seite 193



Ladeprotz für Autobatterien, Seite 175