

# Einfache elektronische Last

**Zum Testen von Netzgeräten oder auch zur definierten Entladung von Akkus dient die hier vorgestellte elektronische Last, die sowohl als elektronischer Widerstand als auch im Konstantstrombetrieb arbeiten kann.**

## Allgemeines

Maximale Verlustleistung von 30 W, Pulsbetrieb durch interne Taktung (10 Hz bis 1 kHz), Umschaltung zwischen Konstantstromsenke und Widerstandsbetrieb, einstellbare Spannungsabschaltswelle sowie elektronische Temperaturüberwachung sind die wesentlichen Leistungsmerkmale der hier vorgestellten Schaltung. Trotz der zahlreichen Features ist der Aufbau vergleichsweise einfach und vor allem auch preiswert möglich. Der Nutzen einer elektronischen Last ist unbestritten. Wel-

Tabelle 1:

Verlustleistung:	30 W Dauerbetrieb
Spannungsbereich:	0,5 bis 20 V*
Strombelastbarkeit:	max. 10 A*
Betriebsarten:	- konstant Stromsenke - ohmscher Widerstand - Impulsbetrieb 10 Hz-1 kHz
Sonstiges:	- einstellbare Spannungsabschaltswelle - Temperaturschutz der Endstufe

\* Bei der Multiplikation von Spannung und Strom darf die maximale Verlustleistung nicht überschritten werden. Da beim Impulsbetrieb mit einem Puls-Pausenverhältnis von 1 : 1 nur in der halben Zeit die Verlustleistung anfällt, kann ein entsprechend größerer Strom fließen bzw. eine entsprechend höhere Spannung anliegen als beim Dauer-Betrieb.

cher Techniker kennt nicht das Problem: Ein soeben fertiggestelltes Netzteil soll auf seine Leistungsfähigkeit hin überprüft werden. In den meisten Fällen folgt nun der Griff in die Widerstandskiste mit den niederohmigen hochbelastbaren Zementwiderständen.

Durch geschickte Kombination dieser in der Regel nur in begrenztem Umfang vorhandenen „Groß-Bauelemente“ wird versucht, für die gegebene Spannung und den geforderten Strom den passenden Widerstandswert zu erstellen. Sind zudem noch definierte Belastungen bei verschiedenen Spannungen zu realisieren, so artet dieses Unterfangen in der Regel zu einer zeitraubenden Arbeit aus. Die Grenze des mit einfachen Hochlastwiderständen Machbaren ist auf jeden Fall schnell erreicht, wenn außerdem noch die Regeleigenschaften eines Netzteils zu prüfen sind.

Was hier benötigt wird, ist eine einstellbare, elektronische Last, die zudem über die Möglichkeit eines Pulsbetriebes verfügt. In Tabelle 1 sind die technischen Daten der hier vorgestellten elektronischen Last in übersichtlicher Form dargestellt.

## Bedienung und Funktion

Die von ELV entwickelte elektronische Last verfügt über 2 Grundbetriebsarten. In der ersten arbeitet die Schaltung als Stromsenke, d. h. unabhängig von der anliegenden Spannung fließt immer der gleiche stufenlos einstellbare Laststrom.

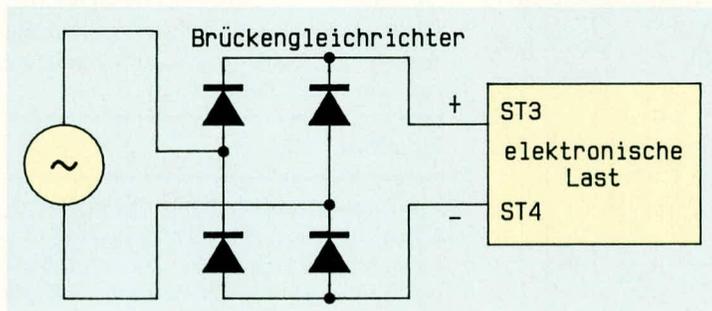
In der zweiten Betriebsart wird ein ohmscher Widerstand elektronisch nachgebildet, d. h. wenn z. B. die Spannung des zu testenden Netzgerätes ansteigt, steigt in gleichem Maße der fließende Strom, d. h. die elektronische Last verhält sich wie ein ohmscher Widerstand.

In beiden Fällen ist die „Lastgröße“ stufenlos einstellbar. Während im ersten Betriebsmodus der Konstantstrom wählbar ist, wird im zweiten Betriebsmodus der Wert des elektronischen Widerstandes eingestellt. Die Umschaltung zwischen den beiden Modi erfolgt über den Schalter S 3, während die „Lastgröße“ mit dem Potentiometer R 11 einstellbar ist.

Aufgrund der vergleichsweise schnellen Regeleigenschaften der Schaltung besteht als weitere interessante Anwendung die Möglichkeit, diese elektronische Last unter Vorschaltung eines Brückengleichrichters auch in Wechselspannungsapplikationen zu verwenden. Dafür wird die zu belastende Wechselspannung einfach über einen Brückengleichrichter gleichgerichtet, der dann auf der Gleichspannungsseite nicht, wie sonst üblich, mit einem Pufferelko beschaltet wird, sondern ausschließlich mit der elektronischen Last. Zwar steht nun eine im Rhythmus der Sinushalbwel-

len pulsierende Spannung an der Leistungsstufe der elektronischen Last an, jedoch grundsätzlich immer in der richtigen Polarität (bedingt durch den Brückengleichrichter). Abbildung 1 zeigt die schematische Anschaltung. Selbstverständlich kann auch hier wahlweise im Konstantstrom- oder Widerstands-Modus gearbeitet werden. Im Unterschied zum Betrieb an Gleichspannungen ist im Wechselspannungsbetrieb, bedingt durch den vorgeschalteten Brückengleichrichter, die minimale Spannung, bei der ein Stromfluß möglich ist, um die doppelte Diodenflußspannung erhöht und liegt somit bei ca. 2 V. Im Bereich des Nulldurchgangs einer Wechselspannung wird daher der Stromfluß kurzzeitig unterbrochen, was üblicherweise jedoch keine Rolle spielt, da bei kleinen Spannungen auch bei der Anschaltung eines realen Widerstandes nur ein entsprechend kleiner Strom fließen würde.

Weiterhin verfügt die elektronische Last über die Möglichkeit der internen Modulation (Taktung). Sowohl in der Betriebsart „Konstantstromsenke“ als auch im „Widerstandsbetrieb“ besteht die Möglichkeit, zwischen der konstant anstehenden Last und einem pulsierenden Betrieb (Last wird periodisch ein- und ausgeschaltet) zu wählen. Die Pulsfrequenz ist in einem weiten



**Bild 1: Durch Zwischen-schalten eines Brückengleichrichters können auch Wechselspannungsquellen belastet werden.**

Bereich von 10 Hz bis 1 kHz einstellbar. Mit dem Schalter S 2 wird der Pulsbetrieb aktiviert, während mit dem Potentiometer R 10 die Pulsfrequenz vorwählbar ist. Als weiteres sehr nützliches Feature bietet die Schaltung eine vorwählbare Abschalt-schwelle, für die an der Last anliegenden Spannung. Hierdurch besteht die Möglichkeit, die Schaltung zum Entladen von Akkus einzusetzen. Mit dem Potentiometer R 2 wird die korrekte Spannungsabschalt-schwelle eingestellt. Sobald dieser Spannungswert unterschritten wird, schaltet die elektronische Last ab, und eine für die angeschlossenen Akkus äußerst schädliche Tiefentladung unterbleibt. Zur Signalisierung dieses Betriebszustandes dient die Leuchtdiode D 2.

Einen wirksamen Schutz vor Überlastung bietet die eingebaute Temperaturüberwachung der Endstufe. Beim Überschreiten einer kritischen Temperatur erfolgt automatisch die Abschaltung. Auch

dieser Betriebszustand wird durch eine Leuchtdiode angezeigt. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Temperatursicherung nur vergleichsweise träge reagiert und nur langsame Temperaturänderungen registriert, die wiederum aufgrund geringer Laständerungen auftreten. Bei erheblichen Überlastungen kann die Endstufe bereits zerstört sein, noch bevor die Temperatursicherung anspricht. Die hier realisierte vergleichsweise einfache Temperaturüberwachung stellt somit zwar einen zusätzlichen Schutz der Endstufe und der Schaltung dar, jedoch keinen umfassenden. Der dafür erforderliche Aufwand wäre beträchtlich und würde den für die Realisierung dieser Schaltung gesteckten Rahmen sprengen.

Zur Spannungsversorgung der elektronischen Last kann eine vorhandene Gleichspannung im Bereich von 12 V bis 30 V dienen oder aber der Betrieb erfolgt über ein Steckernetzteil (Z. B. ELV-Steckernetzteil AD-1250B).

## Schaltung

Abbildung 2 zeigt die Schaltung der elektronischen Last. Die eigentliche Leistungsstufe, bestehend aus dem Power-MOS-Transistor T 1 in Verbindung mit

dem als Regler arbeitenden IC 3 B, stellt die zentralen Komponenten dieser elektronischen Last dar. Die Lötstützpunkte ST 3 und ST 4 bilden die Eingänge, d. h. hier wird die zu belastende Quelle (z. B. Netzgerät) angeschlossen.

Der über die Drain-Source-Strecke des Leistungstransistors T 1 fließende Laststrom ruft am Shunt-Widerstand R 20 einen dem Strom proportionalen Spannungsabfall hervor. Diese sogenannte Ist-Größe gelangt über den Widerstand R 15 auf den invertierenden Eingang des Reglers IC 3 B. Der Soll-Wert, d. h. die Information über den vorgewählten Strom, liegt am nicht-invertierenden Eingang des IC 3 B an. Die Einstellung des Soll-Wertes erfolgt über R 11 in Verbindung mit den Festwiderständen R 12 und R 13.

Der Reglerausgang (Pin 7 des IC 3 B) steuert über R 14 das Gate des Leistungstransistors T 1, womit der Regelkreis geschlossen ist. Die Stabilisierung des Re-

gelkreises erfolgt über den Kondensator C 7 im Gegenkoppelzweig des IC 3 B.

Befindet sich der Schalter S 3 in der eingezeichneten Stellung, so ist der Soll-Wert direkt proportional abhängig von der Lastspannung an ST 3, d. h. der Laststrom steigt linear mit der an den Lötstützpunkten an ST 3 und ST 4 anliegenden Quellen-spannung. Die elektronische Last verhält sich daher wie ein ohmscher Widerstand.

Befindet sich S 3 in der entgegengesetzten Stellung, so wird der Soll-Wert über die stabilisierte Betriebsspannung  $U_B$  erzeugt und die elektronische Last arbeitet als Konstantstromsenke.

IC 3 A mit Zusatzbeschaltung bildet den Rechteckoszillator für die interne Modulation (Taktung). Durch die Beschaltung mit den Widerständen R 6 bis R 8 arbeitet der Operationsverstärker IC 3 A, bezogen auf den invertierenden Eingang, als Inverter mit Schmitt-Trigger-Funktion. Die weitere Beschaltung mit der Reihenschaltung, bestehend aus R 9, R 10 sowie C 6, erweitert diese Konstruktion zu einem Multivibrator. Die Ausgangs-Rechteckfrequenz ist mit dem Potentiometer R 10 in einem Bereich zwischen 10 Hz und 1 kHz einstellbar.

Ist der Schalter S 2 geschlossen, so wird über die zur Entkopplung dienende Diode D 4 der invertierende Eingang des Reglers IC 3 B in jeder High-Phase des Rechteckoszillators auf High-Pegel gezogen, wodurch der Ausgang des IC 3 B Low-Potential annimmt und den Leistungstransistor T 1 sperrt.

Mit IC 2 A und Zusatzbeschaltung ist eine automatische Abschaltung der Last realisiert, wenn die am Lötstützpunkt ST 3 anstehende Spannung einen bestimmten, vorgewählten Wert unterschreitet. Über den Spannungsteiler R 4/R 5 sowie den Störunterdrückung dienenden Kondensator C 5 gelangt die Spannung des positiven Anschlusses ST 3 auf den invertierenden Eingang des IC 2 A. Unterschreitet diese Spannung den Wert der an Pin 3 (nicht-invertierender Eingang) anliegenden Spannung, so wechselt der OP-Ausgang von low auf high, wodurch über die Diode D 3 die Leistungsstufe sperrt. Dieser Betriebszustand wird durch die Leuchtdiode D 2 in Verbindung mit dem Vorwiderstand R 21 angezeigt. Mit Hilfe des Widerstandes R 23 im Mitkoppelzweig entsteht eine definierte Hysterese, und ein permanentes Umschalten im Bereich der Schaltschwelle wird so unterbunden.

Die Temperaturüberwachung der Endstufe ist durch den Operationsverstärker IC 2 B in Verbindung mit der externen Beschaltung realisiert. Der im linken Brückenzweig befindliche Temperatursensor TS 1 der Widerstandsbrücke, bestehend aus R 17 bis R 19 sowie dem Sensor selbst, ist in der Nähe des Leistungstransistors T 1

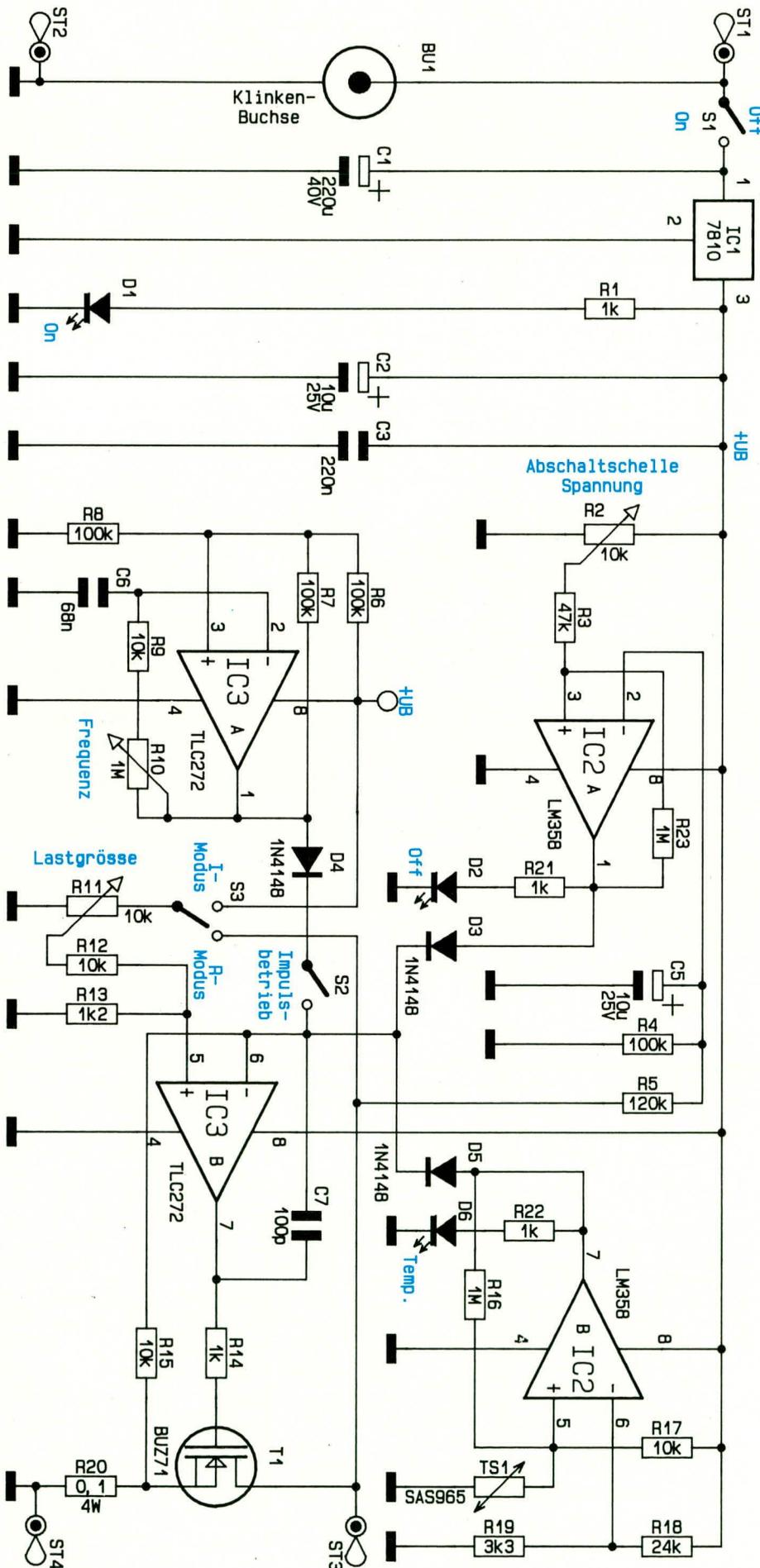


Bild 2: Schaltbild der einfachen elektronischen Last

am Kühlkörper montiert.

Übersteigt die Temperatur des Endstufentransistors den kritischen Wert von ca. 100°C, so führt der nicht-invertierende Eingang (Pin 5) des IC 2 B positives Potential gegenüber dem invertierenden Eingang (Pin 6). Hierdurch wechselt der Ausgang des als Komparator geschalteten OPs (Pin 7) von Low- nach High-Potential. Dieser Betriebsfall wird durch die Leuchtdiode D 6 angezeigt, bei gleichzeitiger Sperrung der Endstufe der elektronischen Last über D 5. R 16 erzeugt eine definierte Hysterese.

Die Versorgung sämtlicher aktiver Komponenten der elektronischen Last erfolgt über eine stabilisierte 10 V-Betriebsspannung, die mit Hilfe des IC 1 vom Typ 7810 erzeugt wird. C 1 bis C 3 dienen der allgemeinen Stör- und Schwingneigungs-Unterdrückung. Den Einschaltzustand der elektronischen Last signalisiert D 1.

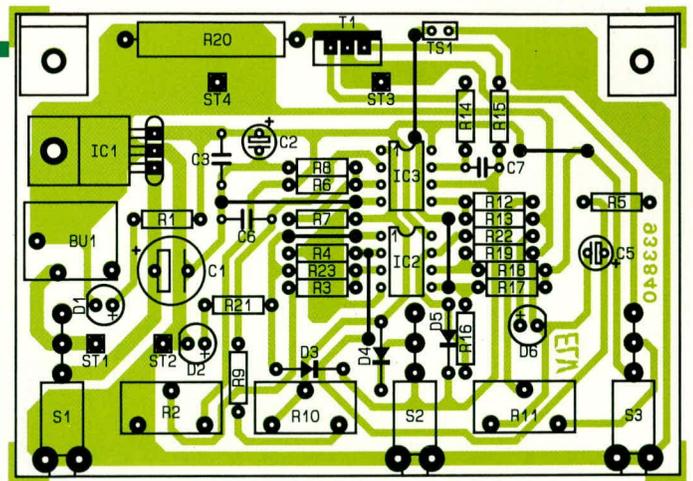
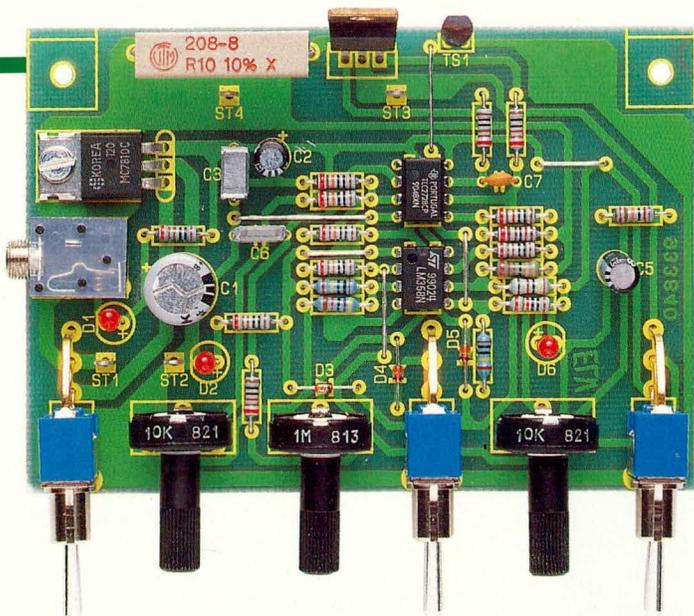
Die Spannungsversorgung kann wahlweise über die Lötstifte ST 1 und ST 2 oder aber die 3,5 mm-Klinkenbuchse BU 1 erfolgen. Letztere wird üblicherweise beim Anschluß eines Steckernetzteils verwendet, während eine vorhandene Gleichspannung im Bereich von 12 V bis 30 V auch über die Lötstifte ST 1 und ST 2 zugeführt werden kann.

Damit ist die Schaltungsbeschreibung dieser kleinen, aber besonders nützlichen Schaltung abgeschlossen, und wir können mit dem Aufbau beginnen.

### Nachbau

Die gesamte Schaltung der elektronischen Last findet auf einer 68 mm x 98 mm messenden einseitig ausgeführten Leiterplatte Platz. Die Bedienelemente sind alle auf der Vorderseite angeordnet, wobei die Leiterplatte so ausgelegt ist, daß die erforderlichen Schalter und Potentiometer direkt in die Leiterplatte einlötlbar sind.

Soll die Schaltung in ein Gehäuse eingebaut werden, ist es natürlich auch möglich, die Bedienelemente über entsprechende Zuleitungen mit der Leiterplatte zu verbinden. Aus layoutechnischen Gründen befinden sich die Anschlüsse ST 3 und ST 4 (Lasteingang) in der Nähe der Leistungsendstufen und können bei Bedarf mit Anschlußleitungen und Buchsen versehen werden. Der Leistungstransistor T 1 sowie der Temperaturfühler TS 1 sind auf der Rückseite der Leiterplatte angeordnet. Zur Kühlung ist der ELV-Leistungs-Kühlkörper SK 88 vorgesehen, wobei jedoch auch andere Kühlkörper oder eine vorhandene Rückwand eines Gehäuses die Aufgabe der Kühlung übernehmen können. Für die in der Endstufe in Wärme umgesetzte Leistung muß jedoch die Kühlung ausreichend dimensioniert sein.



**Ansicht der fertig bestückten Leiterplatte**

Der eigentliche Nachbau der Schaltung geht recht zügig vonstatten. In gewohnter Weise werden zuerst die niedrigen, passiven Bauelemente bestückt, gefolgt von den größeren Komponenten. Die genaue Position der Bauteile geht aus dem Bestückungsplan bzw. dem Platinaufdruck hervor, während der genaue Wert und Typ der Bauteile zu entnehmen ist. Der Spannungsregler IC 1 ist liegend auf der Leiterplatte zu montieren. Um eine optimale mechanische Festigkeit zu erlangen, ist eine Verschraubung mit der Leiterplatte durch eine M 3 x 6 mm-Zylinderkopfschraube vorgesehen.

Der Leistungswiderstand R 20 wird zur besseren thermischen Kühlung mit einem Abstand von 10 mm zwischen Platine und Widerstandskühlkörper eingebaut. Vor dem Einbau des Leistungstransistors T 1 sowie des Temperatursensors ist der Leistungskühlkörper an die Leiterplatte zu schrauben. Hierzu verwenden wir 2 Alu-Winkel, die zunächst durch zwei M 3 x 6 mm-Zylinderkopfschrauben und Muttern an die Leiterplatte anzuschrauben sind. Als dann wird der Kühlkörper mittels zweier M 3 x 10 mm-Zylinderkopfschrauben an die auf der Bestückungsseite der Leiterplatte montierten Alu-Winkel angeschraubt.

Es folgt der Einbau des Leistungstransistors T 1. Zur Isolation verwenden wir eine Glimmerscheibe sowie eine weiße Isolierbuchse. Dabei ist die Glimmerscheibe beidseitig mit etwas Wärmeleitpaste einzustreichen.

Als nächstes wird die flache Seite des Temperaturfühlers ebenfalls mit etwas Wärmeleitpaste eingestrichen, der Fühler selbst eingelötet und fest gegen den Kühlkörper gepreßt.

Die insgesamt 3 Leuchtdioden können direkt an der vorgesehenen Position in der Leiterplatte eingelötet werden. Beim Gehäuseeinbau ist eine Position der Leuchtdi-

### Stückliste: Einfache elektronische Last

#### Widerstände:

0,1Ω/4W .....	R20
1kΩ .....	R1, R14, R21, R22
1,2kΩ .....	R13
3,3kΩ .....	R19
10kΩ .....	R9, R12, R15, R17
24kΩ .....	R18
47kΩ .....	R3
100kΩ .....	R4, R6 - R8
120kΩ .....	R5
1MΩ .....	R16, R23
PT15, stehend, 10kΩ .....	R2, R11
PT15, stehend, 1MΩ .....	R10

#### Kondensatoren:

100pF .....	C7
68nF .....	C6
220nF .....	C3
10µF/25V .....	C2, C5
220µF/40V .....	C1

#### Halbleiter:

LM358 .....	IC2
TLC272 .....	IC3
7810 .....	IC1
BUZ71 .....	T1
1N4148 .....	D3 - D5
LED, 3mm, rot .....	D1, D2, D6

#### Sonstiges:

- 1 Temperatursensor SAA965
- 3 Kippschalter, 1 x um, Winkelprint
- 1 Kühlkörper SK88, gebohrt
- 1 Klinkenbuchse, mono, Printmontage
- 3 Steckachsen Länge 16,6 mm
- 4 Lötstifte mit Lötöse
- 2 Alu-Befestigungswinkel
- 3 Zylinderkopfschrauben M3 x 6mm
- 3 Zylinderkopfschrauben M3 x 10mm
- 6 Muttern M3
- 1 Isoliernippel
- 1 Glimmerscheibe
- 12 cm Silberdraht

### Bestückungsplan der 68 mm x 96 mm messenden Platine

oden oberhalb der Bedienelemente auf der Frontplatte sinnvoll. In diesem Falle können die Anzeigeelemente über entsprechende Verbindungsleitungen angeschlossen und über LED-Montage-Clips in die Frontplatte eingebaut werden.

Damit ist der Nachbau bereits soweit abgeschlossen, und das Gerät kann nach erfolgreich abgeschlossener Prüfung seine bestimmungsgemäße Aufgabe übernehmen.

Abschließend noch einige Worte zur Einstellung der Spannungsabschaltswelle. Ist z. B. eine Abschaltspannung von 2 V gefordert, so schließt man zunächst eine 2 V-Spannungsquelle an die elektronische Last an. Das Einstellpoti wird nun langsam, vom Rechtsanschlag aus beginnend, entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht, bis die LED D2 zu leuchten beginnt. Eine Überprüfung der Schaltschwelle wird am besten vorgenommen, indem zunächst die anliegende Spannung erhöht wird, bis die LED D2 wieder erlischt. Als dann dreht man die Spannung langsam wieder zurück. Sobald D2 aufleuchtet, ist die eingestellte Spannungsschwelle erreicht.

Für einige feste, häufig benötigte Abschaltswellen kann auf diese Weise leicht eine entsprechende Skala angefertigt werden, die, bedingt durch gewisse Nichtlinearitäten des Einstellpotis, anhand einiger Versuche zu ermitteln ist.

Natürlich läßt sich auch dieser Punkt komfortabler gestalten, z. B. durch eine digitale Einstellung und direkte Anzeige der Abschaltspannung. Dies bedeutet jedoch einen nennenswerten zusätzlichen schaltungstechnischen Aufwand, verbunden mit entsprechenden Kosten. Im vorliegenden Fall haben wir bewußt versucht, mit einem Minimum an Aufwand eine für die Praxis gut geeignete elektronische Last zu erstellen, die alle wesentlichen Merkmale einer entsprechenden Schaltung beinhaltet.

