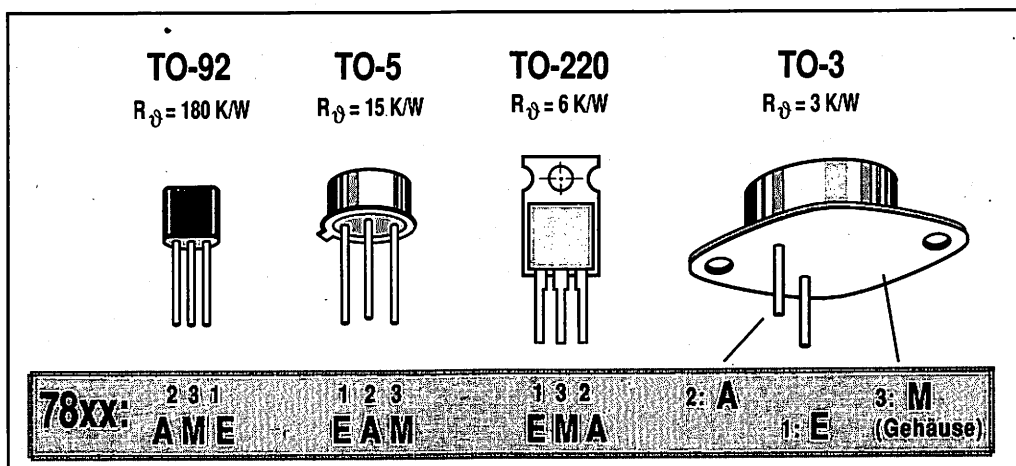


## Basiswissen: Spannungsregler

### Bst.-Nr. 17 77 50

- Integrierte Spannungsregler schaffen stabile Verhältnisse
- Sie sind in den unterschiedlichsten Varianten verfügbar:
  - Für zahlreiche Festspannungen oder auch einstellbar
  - Für positive oder negative Ausgangsspannungen
  - Für Ströme von einigen mA bis zu etlichen Ampere
- Es gibt wichtige Randbedingungen zu beachten
- Eine Alternative zum Netzteil von Seite 7



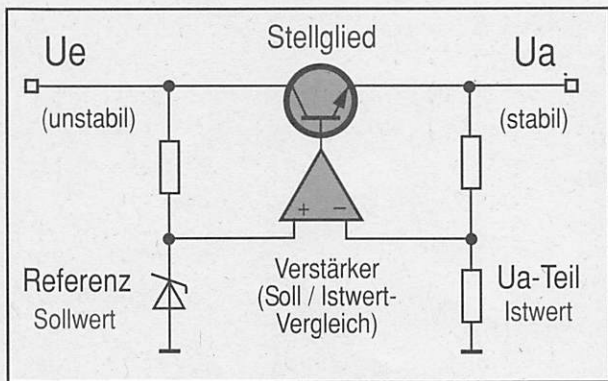
# Stabile Verhältnisse

So selbstverständlich wie wir zum Lötcolben greifen ist uns auch der Einsatz von integrierten Spannungsreglern geworden. Wo es erforderlich ist oder auch nur nützlich erscheint, kommt so ein *Stabi* in die Schaltung, und man ist bei der Versorgungsspannung alle Sorgen los. Das Angebot hierfür ist ja auch nicht gerade kleinlich, so daß man bei Bedarf aus dem vollen schöpfen kann: Darf es ein 12-V- oder ein 18-V-Typ sein, einer mit 100 mA Ausgangsstrom oder werden stattdessen gar 2 oder 3 A benötigt?

Vielfalt bei der Auswahl muß aber nicht immer ein Vorteil sein; denn allzu leicht kommt Unsicherheit auf, ob die getroffene Entscheidung auch die richtige ist; außerdem weiß man oft gar nicht, wo man beim Auswählen ansetzen soll. Schlagen Sie sich eins von vornherein aus dem Kopf: Überzogene Forderungen beim Netzteil landen ganz schnell in einer Sackgasse. Großer Einstellbereich der Spannung führt noch eher zu Wärmeproblemen als ein riesiger Laststrom. Und weg muß sie, die Verlustwärme, das steht fest!

Wir widmen daher diesem Thema einen ausführlichen Grundlagenbeitrag, der hier Klarheit schaffen soll. Er zeigt Ihnen keine Patentrezepte, liefert aber einige nützliche Kniffe für die Praxis. Dies soll wohlgerne keine Marktübersicht über die verfügbaren ICs sein. Wichtiger erscheint uns die Fähigkeit, im Bedarfsfall mit dem nötigen Grundlagenwissen an die Sache heranzugehen. Anhand typischer Beispiele zeigen wir Ihnen den Weg, bei dem sich längst nicht immer alle Vorstellungen unter einen Hut bringen lassen.

# Basiswissen: Spannungsregler



**Bild 1:** Das Konstanthalten einer Spannung gehört zu den Standardaufgaben der Regeltechnik.

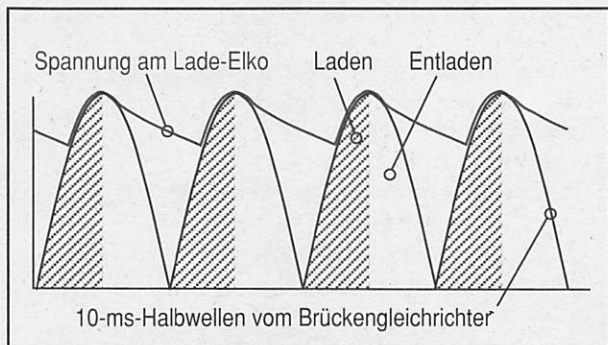
## Den Regeln entsprechend

Keine elektronische Schaltung kommt ohne eine passende Stromversorgung aus. Bis auf wenige Ausnahmen muß die Speisespannung dabei konstant gehalten werden, weil die Schaltungsauslegung von einem als fest angenommenen Wert ausgeht. Spannungs Konstanz bedeutet, daß die Spannung am Verbraucher *unabhängig vom fließenden Strom* auf einem festgelegten Wert gehalten wird, zumindest innerhalb enger Grenzen.

■ Dies ist das Kennzeichen einer **Spannungsquelle**, deren Innenwiderstand möglichst klein sein soll (im Idealfall Null): Bei vernachlässigbarem Innenwiderstand rufen Stromänderungen (im Rahmen gewisser Grenzen) keine Spannungsschwankungen hervor.

Im Gegensatz dazu liefert eine **Stromquelle** einen konstanten Strom, egal, wie groß die anliegende Spannung ist; ihr Innenwiderstand soll daher möglichst groß sein (im Idealfall Unendlich): Bei sehr hohem Innenwiderstand rufen Spannungsänderungen (im Rahmen gewisser Grenzen) keine Stromschwankungen hervor.

**Bild 3:** Durch das fortwährende Auf- und Entladen entsteht am Lade-Elko der wellenförmige Spannungsverlauf.



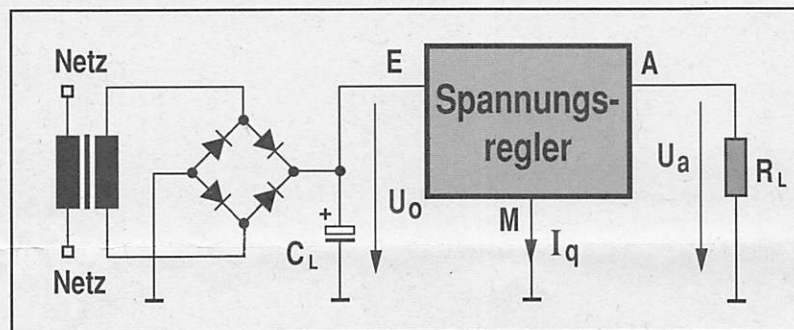
■ Uns geht es hier ausschließlich um die Betrachtung von Spannungsquellen, die mit **integrierten Spannungsreglern** aufgebaut sind. Die Bezeichnung 'Regler' hat in diesem Fall ihren guten Grund, weil es sich hier um einen klassischen Regelkreis handelt (vgl. E-A-M 3/90, Seite 53): Der **Sollwert** wird von einer Referenz gebildet, z.B. einer internen Z-Diode; der **Istwert** wird am Verbraucher (dem Lastwiderstand) abgenommen, und bei Differenzen zwischen Soll- und Istwert sorgt ein **Stellglied** (der interne Längstransistor) für die entsprechende Ausregelung (**Bild 1**).

Bei den integrierten Spannungsreglern sind alle diese Elemente im IC-Gehäuse enthalten, so daß man sich um deren Bemessung keine Ge-

suchen und ihre Kenndaten vorstellen. Mit ein paar Schaltungskniffen lassen sich die vorhandenen Eigenschaften variieren, was zu der angesprochenen Überlappung führt.

## Berge und Täler

Je nach entnehmbarem Strom bzw. zulässiger Verlustleistung werden die ICs in entsprechenden Gehäusebauformen angeboten. Das Gehäuse spielt immer dann eine ganz wesentliche Rolle, wenn der Regler nennenswert belastet wird und man die entstehende Verlustwärme mit einem zusätzlichen Kühlkörper abführen muß. Der dabei zu berücksichtigende Wärmewiderstand hängt eben entscheidend von der Bauform ab (vgl. Bild 6 und Mini-Poster ab E-A-M 2/89).



**Bild 2:** Dies ist die Anordnung für eine typische Spannungsstabilisierung, die von einem Netztrafo mit Brückengleichrichter und Lade-Elko gespeist wird.

danken zu machen braucht. Dennoch gibt es eine ganze Reihe von Forderungen zu beachten, die bei Nichtberücksichtigung zu rätselhaften Störungen führen; wie Sie sehen werden, haben solche Fehlfunktionen aber naheliegende und durchaus einleuchtende Gründe.

■ Die Industrie bietet grundsätzlich zwei unterschiedliche Typen von Spannungsreglern an, und zwar wahlweise mit **fester** oder mit **einstellbarer** Ausgangsspannung; beide Versionen sind z.T. in verschiedenen Ausführungen erhältlich:

1. Positive Ausgangsspannung
2. Negative Ausgangsspannung
3. Low-Drop-Spannungsregler
4. Symmetrische (doppelte) Ausgangsspannung

Bei dieser Klassifizierung gibt es verschiedentlich Überschneidungen, die keine eindeutige Zuordnung zulassen. Wir werden uns daher typische Vertreter jeder Gattung aus-

■ In die Überlegungen zur Auswahl eines geeigneten Spannungsreglers geht an vorrangiger Stelle der Ladekondensator mit ein. Unabhängig vom gewählten Regler-IC sieht eine typische Netzteilerschaltung so aus wie sie **Bild 2** zeigt: Der Netztrafo speist einen Brückengleichrichter, an dessen Ausgang der Ladekondensator  $C_L$  liegt.

Dieser Kondensator lädt sich (fast) bis auf den Spitzenwert der speisenden Wechselspannung auf, also auf das 1,4fache des Effektivwertes der Sekundärspannung (verringert um zwei Dioden-Durchlaßspannungen des Gleichrichters); dies ist der Maximalwert der eingangsseitigen Oberspannung  $U_{O(max)}$ .

In den „Tälern“ der 10-ms-Halbwellen dient der Ladekondensator als Energiespeicher, der den Laststrom  $I_L$  liefert. Dabei sinkt die Ladespannung wieder ab und erreicht mit  $U_{O(min)}$  ihren unteren Wert (**Bild 3**). Die Oberspannung  $U_O$  am Reg-

# Basiswissen: Spannungsregler

ler-IC ist also nicht konstant sondern besitzt je nach Kapazität von  $C_L$  eine bestimmte Welligkeit (Differenz zwischen minimalem und maximalem Wert). Zur einwandfreien Funktion des Spannungsreglers darf ein Minimalwert nicht unterschritten werden; der liegt bei den gängigen Typen etwa 2...3 V oberhalb der Ausgangsspannung  $U_a$ . Wählt man  $U_o$  aber zu groß, erhöht das unnötigerweise die Verlustleistung am Regler.

■ Mit folgendem groben Anhaltswert kommt man hier weiter: Ein Kondensator von 10 000  $\mu\text{F}$  entlädt sich bei einem Laststrom von 1 A gerade um 1 V, d.h. in der gewählten Brückenschaltung beträgt die Welligkeit der speisenden Oberspannung 1 V. Entnimmt man nur  $1/10$  des Stroms (also 100 mA statt 1 A), genügen 1000  $\mu\text{F}$  für dieselbe Welligkeit; läßt man statt 1 V die doppelte Welligkeit zu, kommt man mit der halben Kapazität des Ladekondensators aus.

Sie sehen sehr schnell, daß man wegen der großen Kapazität für  $C_L$  erstens einen Elko wählen wird; zweitens hat man bei dessen Bemessung keine allzu große Auswahl, weil sich die Stufung auf die gängigen Standardwerte 1 - 2,2 - 4,7 beschränkt (also 100, 220 und 470  $\mu\text{F}$  bzw. Vielfache davon).

## Zurückhaltung üben

Verkneifen Sie sich in diesem Zusammenhang die immer wieder anzutreffenden Betrachtungen über Vor- und Nachteile aller möglichen Gleichrichterschaltungen (Einweg, Doppelweg, Brücke); sie tauchen in sämtlichen Abhandlungen zu diesem Thema regelmäßig wieder auf und stammen aus der Zeit, als Gleichrichter noch mit riesigen Selen-Platten realisiert wurden (mit ca. 100  $\text{cm}^2$  pro Ampere); dort mußte man ganz anders optimieren, weil recht ansehnliche Quadratmeterpreise zustande kamen. Nachdem ein Brückengleichrichter heute nur noch Pfennige kostet, hat diese Diskussion lediglich akademischen Wert!

■ Viel wichtiger ist die Beachtung der Spannungsfestigkeit dieses Lade-Elkos. Wenn kein nennenswerter Laststrom fließt, ist die Leerlaufspannung des Trafos deutlich

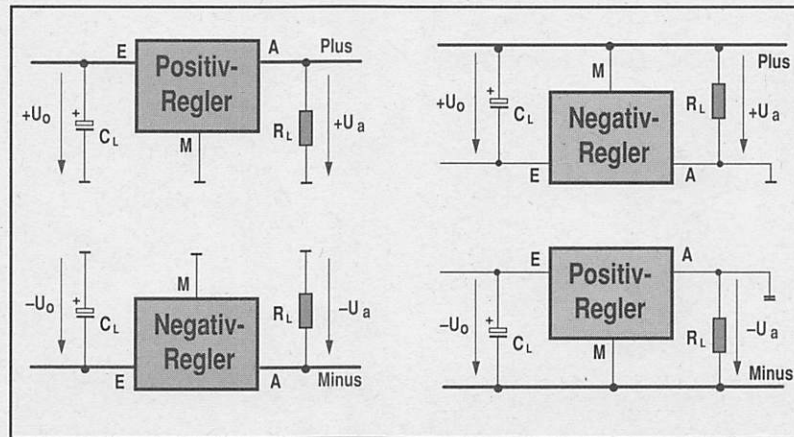


Bild 4: Der Positiv-Regler gehört in die Plusleitung, der Negativ-Regler in die Minus-Leitung (linke Darstellung, blau); rechts nur der Notbehelf (grau).

höher als die Nennspannung, die er ja auch noch beim Nennstrom einhalten muß. Diese Leerlauf-Überhöhung kann ohne weiteres 25...30% erreichen, was folgende Konsequenzen hat: Bei einer Sekundärspannung von 15 V beträgt der Spitzenwert das 1,4fache, also rund 21 V; gibt man noch einmal 30% „Leerlauf-Reserve“ dazu, kommt man auf über 27 V, die der Elko aushalten muß!

Bei allen hier betrachteten Spannungsreglern handelt es sich unabhängig vom speziellen Typ um sogenannte **Längsregler**, d.h. die Regelstrecke liegt im Längszweig einer Stromversorgungsleitung; alternativ dazu gibt es z.B. Schaltregler, die nach ganz anderen Prinzipien arbeiten (vgl. E-A-M 5/88 ab Seite 55). Ein Positiv-Spannungsregler soll dabei in der Plusleitung liegen, obwohl man hierfür auch einen Negativ-Regler in die Masseleitung legen könnte (Bild 4 oben). Dementsprechend gehört ein Negativ-Spannungsregler in die Minus-

leitung, obwohl sich ein Plus-Regler in der Masseleitung ähnlich verhält (Bild 4 unten).

■ Die Betonung liegt hier auf dem Wörtchen *ähnlich*: Die Masse bildet das für alle Verbraucher einheitliche Bezugspotential, dessen Quellwiderstand so niedrig wie möglich sein soll; andernfalls kann es zu Spannungsunterschieden auf der Masseleitung kommen, die sich durch die gegenkoppelnde Wirkung störend auf die Schaltungsfunktion auswirken können.

## Enge Bindungen

Aus demselben Grund muß der Lade-Elko mit seinen Anschlüssen möglichst dicht am Regler-IC liegen; wenn hier nämlich Längswiderstände durch zu große Leitungslängen auftreten, kann der Regler die daran entstehende Welligkeit nicht mehr ausregeln, weil die an einer Stelle passiert, die das IC nicht erfaßt; dessen „Welt“ beginnt an seinen Anschlußstiften, und genau dort gehört der Elko hin. In der Darstellung von Bild 5 kommt diese Anordnung auch anschaulich zum Ausdruck; gelegentlich finden Sie diese Zeichnungsform in manchen Schaltbildern wieder.

■ Eine kurze Überlegung macht den Hintergrund deutlich: Eine Leiterbahn von 1 mm Breite und 1 cm Länge hat einen ohmschen Widerstand von ca. 5  $\text{m}\Omega$  (bei der Standard-Dicke von 35  $\mu\text{m}$ ). Ein Laststrom von 1 A ruft daran einen Spannungsabfall von 5 mV hervor, der geradewegs zum Ausgang durchmarschiert (auch und gerade

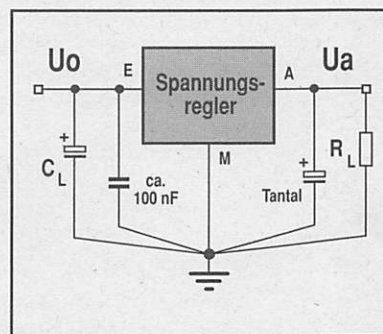
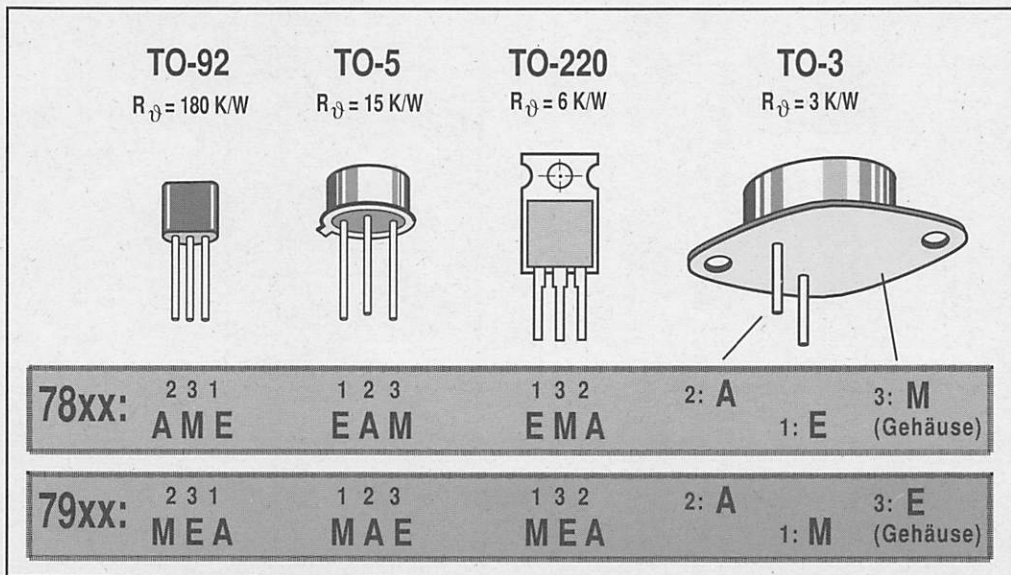


Bild 5: Kurze Wege zum Spannungsregler sind bei den externen Komponenten unbedingt einzuhalten.



# Basiswissen: Spannungsregler



**Bild 6:** Numerierung und Zuordnung der Anschlüsse sind nicht einheitlich; die blau hinterlegten gelten für die Plus-Regler, die grauen für die Minus-Regler (79er-Familie).

der Brummanteil aus der Netzspannung!). Was nützt da eine ausgangsseitige Lastregelung auf 1 mV genau, wenn man sich mit dem hausgemachten Schmutz brühwarm alles verdirbt?!

Um die Impedanz der speisenden Oberspannung niedrig zu halten (ein Elko ist sehr träge!), kann man zu  $C_L$  einen keramischen Kondensator von ca. 100 nF parallelschalten. Der liefert aufgrund seiner guten HF-Eigenschaften blitzschnell den Strom, wenn das IC kurzzeitige Schwankungen (Störspitzen o.ä.) ausgleichen will.

## Bremswirkung

Diese Schnelligkeit von integrierten Spannungsreglern, d.h. ihre kurze Reaktionszeit auf Störungen, ist an sich hochwillkommen; denn diskret aufgebaute Schaltungen reagieren nicht zuletzt wegen der längeren Leitungswege so träge, daß sich auf ihrer stabilisierten Spannung wei-

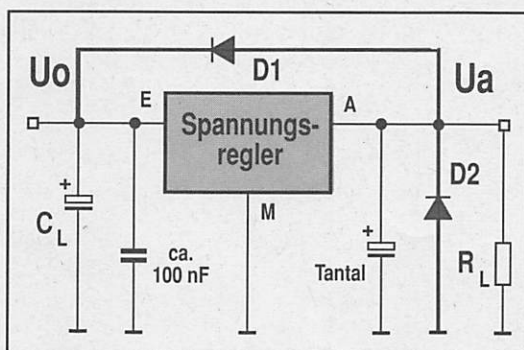
terhin munter Störspitzen tummeln, ohne daß sie die Regelung „ausbügelt“. Der Nachteil „schneller“ Bauteile ist immer deren Schwingneigung, die man ihnen aber relativ einfach abgewöhnen kann:

■ Vom Ausgang gegen Masse kommt ein Kondensator kleiner Kapazität; der dient nicht etwa als Energiespeicher, sondern bedämpft den Regelkreis um so viel, daß er nicht mehr schwingen kann. Als Anhalt kann man hier von einer Kapazität im Bereich 1...4,7  $\mu\text{F}$  ausgehen; wer es besonders gut machen will, spendiert dafür eine Tantalperle, deren Spannungsfestigkeit der Ausgangsspannung entsprechen muß. Eine Tantalperle ist zwar auch ein Elko, aber ein hochwertiger, d.h. einer mit niedrigerer Impedanz.

Bei den **Festspannungsreglern** gibt es eine Standard-Familie, die Ihnen auch bei unseren Bauanleitungen auf Schritt und Tritt begegnet: Das ist die **78er**-Baureihe für positive

und die **79er**-Familie für negative Ausgangsspannungen. Diese ICs tragen alle eine vierstellige Ziffernfolge, die wie beschrieben mit 78 bzw. 79 beginnt und als zweite Hälfte die Ausgangsspannung nennt.

Beispiel: Der Typ 7805 liefert +5 V Festspannung, und ein 7912 dementsprechend -12 V. Diese



**Bild 7:** Im Zweifelsfall sollte man stets die Dioden nachrüsten; sie schützen den Spannungsregler.

Numerierung ist glücklicherweise einheitlich; je nach Hersteller werden ihr noch Firmen-Kürzel vorangestellt, die auf den Ursprung verweisen und ansonsten keinen praktischen Nährwert besitzen (Überschneidungen sind möglich):

- L: SGS-Thomson
- LM: National Semiconductor
- MC: Motorola
- $\mu\text{A}$ : Fairchild oder Signetics (auch 'uA')
- RC: Raytheon
- SFC: Thomson-CSF
- SN: Texas
- TDB: Siemens

■ Dagegen sind die in der Mitte eingefügten Buchstaben sehr wohl von aussagekräftiger Bedeutung; sie kennzeichnen nämlich den maximalen Ausgangsstrom. Anstelle der Spannungsangabe ist hier ein 'xx' eingesetzt, und in Klammern steht die gängige Gehäuse-Bauform (gilt entsprechend für die 79er-Typen; herstellerbedingte Abweichungen sind möglich!):

- 78Lxx: 100 mA (TO-92)
- 78Mxx: 500 mA (TO-5/TO-39)
- 78xx: 1 A (TO-220)
- 78Sxx: 2 A (TO-220)
- 78Txx: 3 A (TO-3)
- 78Hxx: 5 A (TO-3)

Die der Typenbezeichnung nachgestellten Buchstaben kennzeichnen die Gehäuse-Bauform und damit auch die mögliche Verlustleistung; es würde hier zu weit führen, alle herstellereigenen Varianten aufzuführen.

## Reiche Auswahl

Die Festspannungsregler sind in den Standardwerten 5 V, 6 V, 8 V, 9 V, 12 V, 15 V, 18 V und 24 V erhältlich, mit denen sich alle gängigen Anwendungsfälle abdecken lassen. Bei den Minus-Spannungen sind nicht alle Abstufungen verfügbar, dafür aber auch so ein exotischer Wert wie -5,2 V (für ECL-Schaltkreise).

Diese Spannungsangaben werden garantiert auf 3...5% genau eingehalten, soweit es sich nicht um Sonderausführungen handelt; ein Regler 7805 liefert also eine Ausgangsspannung, die im Bereich von 4,75...5,25 V liegen kann.

# Basiswissen: Spannungsregler

■ Davon vollkommen unabhängig sind die Eigenschaften, die die Stabilität und das Regelverhalten betreffen: Die **Langzeitstabilität** gibt an, um wieviel die Ausgangsspannung über die Zeit driftet (einige 10 mV pro 1000 h). Das bedeutet also, daß so ein IC seine Spannung nahezu unverändert beibehält, auch wenn der Absolutwert recht deutlich vom Nennwert abweicht (um die genannten 3...5%).

Die **Lastregelung** gibt an, um wieviel sich die Ausgangsspannung bei schwankendem Laststrom, aber konstanter Oberspannung  $U_0$  ändert. Standard-Regler erreichen hier Werte von 1...2% (bessere <0,1%), d.h. zwischen unbelastetem Ausgang (Leerlauf) und maximalem Laststrom (Vollast) entsteht am Ausgang eines 10-V-Reglers eine Spannungsdifferenz von 0,1...0,2 V.

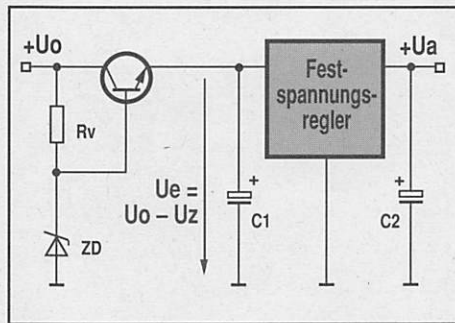
gangsspannung aus: Ändert man die Oberspannung  $U_0$  vom minimal erforderlichen Wert (dem Datenblatt zu entnehmen), so wirkt sich das ausgangsseitig auch dann mit 0,5...1% Schwankung aus, wenn der Laststrom unverändert bleibt. Auch hier gibt es etwas teurere Ausführungen, die besser als 0,1% ausregeln; normalerweise ist diese Genauigkeit nicht erforderlich.

Natürlich hat so ein Regler auch einen **Temperaturgang**, d.h. sogar Änderungen der Umgebungstemperatur greifen (wenn auch nur minimal) auf die Ausgangsspannung durch. Auch das ist nicht weltbewegend, zeigt andererseits aber, welche vielschichtigen Einflüsse hier am Werk sind.

## Kraut und Rüben

Unabhängig vom Hersteller ist die **Anschlußbelegung** der ICs einheitlich, aber sie unterscheidet sich bei den Positiv- und Negativ-Familien; allerdings geht es bei der Anschluß-Numerierung ziemlich durcheinander, auch innerhalb derselben Firma; so wird z.B. das Bein Nr.3 gelegentlich in die Mitte plaziert, was zwar unlogisch ist, aber dennoch duldsam hingenommen wird (**Bild 6**). Die Angabe  $R_{\theta}$  nennt den **Wärmewiderstand** zwischen Sperrschicht und Umgebung bei Verwendung eines Kühlkörpers (gilt nicht für das TO-92-Gehäuse).

Außer diesen weitverbreiteten 78er- bzw. 79er-Familien gibt es weitere Standardtypen, wie z.B. den LM309K (5 V/1,5 A), den LM323K (5 V/3 A) oder die LM340-Typenreihe von Positiv-Spannungsreglern. Alle Typen sind ausnahmslos **kurzschlußfest** und **thermisch gesichert**, d.h. sie halten einen ausgangsseitigen Kurzschluß beliebig lange aus. Sehr empfindlich aber reagieren einige Typen auf ausgangsseitige Falschpolung (z.B. bei versehentlich zugeführter externer Spannung) und bei falscher Polarität zwischen Ein- und Ausgang; der letztgenannte Umstand kann z.B. dann eintreten, wenn beim Ausschalten

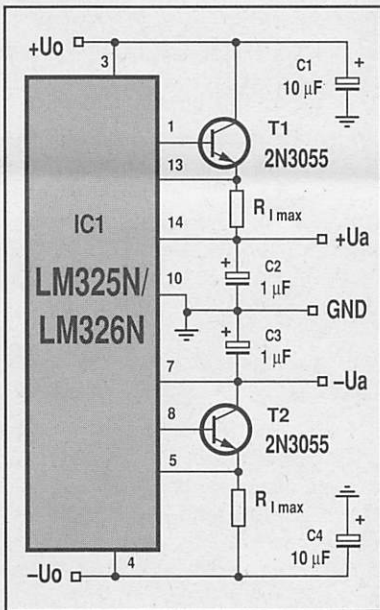


**Bild 9:** Mit Transistor und Z-Diode läßt sich eine zu hohe Oberspannung herabsetzen.

die speisende Oberspannung  $U_0$  schneller zusammenbricht als die evtl. noch gepufferte Ausgangsspannung  $U_a$ ; dies verhindert eine Schutzdiode D1 vom Ausgang auf den Eingang (ein Längswiderstand tut ähnliche Dienste), während die ausgangsseitige Falschpolung durch eine „Dummheitsdiode“ D2 entschärft wird (**Bild 7**).

■ Die eingebaute thermische Überlastsicherung kann dann problematisch werden, wenn man das IC überlastet, ohne das zu wissen. Dann macht der Regler nämlich die Augen zu (senkt die Ausgangsspannung ab), und die angeschlossene Schaltung fängt scheinbar an zu spinnen. In Wirklichkeit ist das eine Lebensversicherung für das IC, das sonst den Hitzetod sterben würde. Bei der Auswahl des geeigneten Reglers ist deshalb die Beachtung der zulässigen Verlustleistung und die Abfuhr der entstehenden Verlustwärme von übergeordneter Bedeutung, auch wenn sie bei einer Überlastung nicht kaputt gehen!

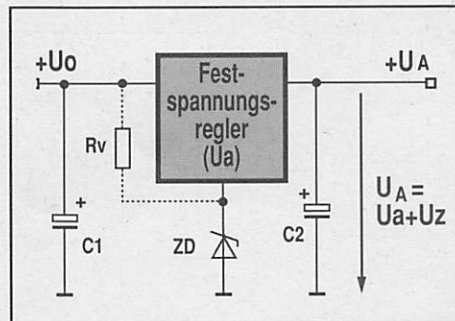
Bei den genannten Typen beträgt die minimal erforderliche Differenz  $\Delta U$  zwischen Speisespannung  $U_0$  und der Ausgangsspannung  $U_a$  etwa 2...2,5 V; wird dieser Wert unter-



**Bild 8:** Es werden sogar ICs mit doppelter Ausgangsspannung angeboten; hier die Beschaltung mit je einem Leistungstransistor zur Erhöhung des Ausgangsstroms.

■ Das ist überhaupt nicht tragisch, weil es die angeschlossene Schaltung in der Regel gar nicht „mitbekommt“; andererseits macht es die Sinnlosigkeit mancher Leute deutlich, die hier eine Millivolt-Stabilität anstreben: Die wäre viel zu aufwendig und außerdem unsinnig!

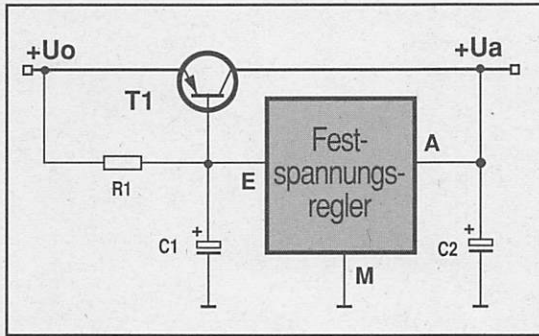
Aber auch **Eingangsspannungsänderungen** wirken sich (bei ansonsten konstanter Last) auf die Aus-



**Bild 10:** Mit einer Z-Diode in der Masse-Zuleitung erhöht sich die Ausgangsspannung.



# Basiswissen: Spannungsregler



**Bild 11:** Ein externer Transistor erhöht den Ausgangsstrom; beim Negativ-Regler muß es ein npn-Typ sein.

schritten (z.B. infolge eines zu kleinen Lade-Elkos), geht die Ausgangsspannung für die Dauer dieses Zustandes unweigerlich in die Knie (Gefahr von Störungen!).

## Heiße Phase

Dieser Längsspannungsabfall bewirkt natürlich eine Aufheizung des ICs: Die hierdurch entstehende Verlustleistung ergibt sich als Produkt aus der Differenzspannung  $U_o - U_a$  und dem fließenden Laststrom. Konkret: Bei  $I_L = 100 \text{ mA}$  entstehen dauernd mindestens  $0,2 \text{ W}$  Verlustleistung, die abgeführt werden müssen; ( $2 \text{ V} \cdot 0,1 \text{ A} = 0,2 \text{ W}$ ). Da der eingangsseitige Spannungsmittelwert infolge der Welligkeit aber deutlich höher ist als der Minimalwert, liegt auch die Verlustleistung entsprechend höher. Auch hier erkennen Sie wieder den Kreislauf bei der Dimensionierung, der durch die gegenseitige Verkettung und Einflußnahme entsteht.

Unberücksichtigt ist hierbei noch der **Ruhestrom** geblieben (Querstrom  $I_q$ ), den das IC für den Eigenbedarf benötigt (Speisung der internen Komponenten). Da der normalerweise aber gegenüber dem Last-

strom vernachlässigbar klein bleibt, übergeht man ihn geflissentlich. Sie sollten aber wissen, daß er bei den Standard-78er-Typen (mit 1-A-Laststrom) immerhin  $6 \dots 10 \text{ mA}$  beträgt; multipliziert mit dem  $U_o$ -Mittelwert ergibt das eine Ruhe-Verlustleistung, die schnell  $100 \text{ mW}$  und mehr

erreicht und unabhängig vom jeweiligen Laststrom ist!

■ Diesem Dilemma tragen die sogenannten **Low-Drop-Regler** Rechnung. Sie kommen mit einem wesentlich geringeren Längsspannungsabfall (= *drop*) aus, der bei  $0,5 \dots 1 \text{ V}$  liegt. Populäre Typen dieser Gattung sind z.B. der LP2950 ( $5 \text{ V}/100 \text{ mA}$ ), der LM2940 ( $5 \text{ V}/1 \text{ A}$ ) sowie die LT1080-Familie, die  $5 \text{ V}$  bzw.  $12 \text{ V}$  Ausgangsspannung bei Strömen von  $1,5 \text{ A}$ ,  $3 \text{ A}$ ,  $5 \text{ A}$  bzw.  $7,5 \text{ A}$  bereitstellt.

Es soll nicht verschwiegen werden, daß diese Leistung ihren Preis hat: Der Low-Drop-Regler LT1085-5 ( $5 \text{ V}/3 \text{ A}$ ) kostet etwa doppelt so viel wie der leistungsmäßig gleiche LM323K, der aber mindestens  $2 \text{ V}$  Längsspannung benötigt.

Der Vollständigkeit halber sollen in dieser Übersicht auch die **dualen Spannungsregler** nicht fehlen. Das sind ICs, die zwei Versorgungsspannungen liefern, eine positive und eine negative (**Bild 8**). In der Regel sind dies symmetrische Ausgangsspannungen, wie sie z.B. zur Speisung von OpAmps benötigt werden, also  $\pm 12 \text{ V}$  (LM326) oder  $\pm 15 \text{ V}$  (LM325). Für spezielle Anwendungen gibt es aber auch asymmetrische Typen mit  $+5 \text{ V}/-12 \text{ V}$  (LM327). Natürlich lassen sich solche Stromversorgungen auch mit einem Pärchen herkömmlicher Regler aufbauen. Der Vorteil der dualen Regler besteht in der guten Übereinstimmung der beiden Spannungen. Zu be-

achten ist bei diesen ICs allerdings, daß beim ausgangsseitigen Kurzschluß der einen Spannung die andere nicht notwendigerweise auch auf Null zurückgeht. Bei manchen Operationsverstärkern führt dies zu Latch-up-Effekten, die das Aus- und Wiedereinschalten des Netzteils erfordern.

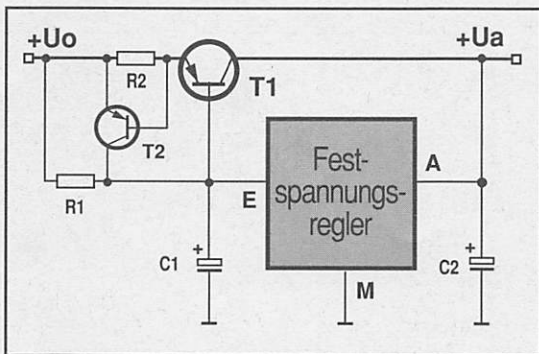
## Grenzausdehnung

Es kann notwendig sein, den Regler an einer so **hohen Oberspannung**  $U_o$  betreiben zu müssen, daß dessen zulässiger Maximalwert überschritten wird. In einem solchen Fall schaltet man einen Längstransistor mit Z-Diode davor, um daran einen Teil der Eingangsspannung abzubauen (**Bild 9**). Der Transistor arbeitet hier als Emitterfolger, dessen Ausgangsspannung (vom Emitter gegen Masse) um die Basis-Emitter-Spannung unterhalb der Arbeitsspannung der Z-Diode liegt.

■ Der Transistor muß bei dieser Beschaltung eine nicht zu verachtende Verlustleistung abführen: Er wird vom vollen Laststrom durchflossen, und an ihm liegt die Differenz aus Oberspannung  $U_o$  und Arbeitsspannung  $U_z$  an; das Produkt aus beiden ergibt die abzuführende Verlustleistung. Wenn man beispielsweise für einen 1-A-Regler die Oberspannung  $U_o$  von  $50 \text{ V}$  auf  $23 \text{ V}$  herabsetzen will, liegen am Längstransistor  $27 \text{ V}$  an, was (bei  $1 \text{ A}$ ) satte  $27 \text{ W}$  Wärme ergibt!

Die erforderliche  $27\text{-V-Z-Diode}$  kommt dabei schon besser weg: Sie benötigt den minimalen Arbeitsstrom von ca.  $5 \text{ mA}$  plus weitere  $5 \text{ mA}$  Reserve für mögliche Basisstromänderungen; hier kommt man also mit einem normalen  $500\text{-mW-Typ}$  aus (vgl. Mini-Poster über die Dimensionierung von Z-Dioden ab E-A-M 6/89).

■ Der umgekehrte Fall, daß man die **Ausgangsspannung erhöhen** möchte, läßt sich mit folgendem Trick erreichen: Man hebt das Bezugspotential des Reglers (seinen Masseanschluß) durch Einfügen einer Z-Diode um die fehlende Differenz an (**Bild 10**). Bei einem  $24\text{-V-Festspannungsregler}$  kommt man also durch Hinzufügen einer  $12\text{-V-Z-Diode}$  auf eine Ausgangsspannung  $U_a$  von  $36 \text{ V}$  (gegen Masse gemessen!). Der Regler-Querstrom  $I_q$



**Bild 12:** T2 erweitert die Schaltung von Bild 11 so, daß sie ausgangsseitig Dauer-kurzschlußfest wird.

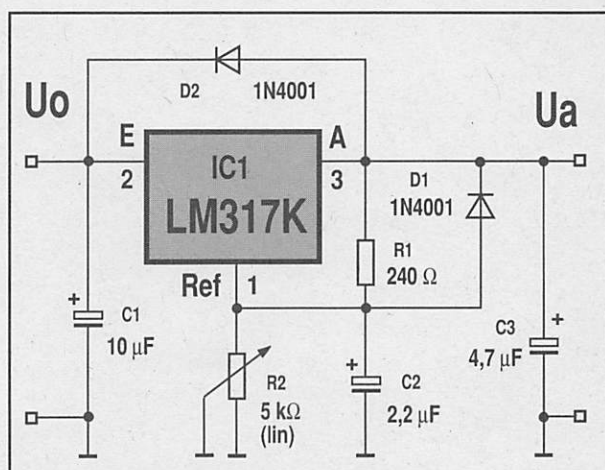
# Basiswissen: Spannungsregler

muß dabei mindestens so groß sein, daß die Z-Diode ihren Arbeitspunkt erreicht; um in diesem Fall eine Instabilität zu verhindern, muß man einen Vorwiderstand  $R_v$  einfügen.

Zur Erhöhung des Ausgangsstroms  $I_L$  schaltet man parallel zum Regler einen Leistungstransistor (Bild 11). Der übernimmt dann einen Teil des Laststroms, wenn am Vorwiderstand  $R_1$  die zum Leiten erforderliche Basis-Emitter-Spannung von ca. 0,65 V abfällt; durch die Bemessung dieses Widerstandes bestimmt man also die Aufteilung des (dann erhöhten) Ausgangsstroms. Da das Regler-IC und der Transistor ohne Isolierung nicht auf demselben Kühlkörper montiert werden können, sollte man einen von beiden nur so weit belasten, daß er ohne Kühlung auskommt.

eine entsprechende Bemessung des Kühlkörpers auffangen kann, muß man einen zweiten Transistor mit Längswiderstand einsetzen (Bild 12). Dabei ist  $R_2$  so zu dimensionieren, daß T2 gerade beim maximal zulässigen Kurzschlußstrom anfängt zu leiten; in diesem Fall begrenzt er die an  $R_1$  abfallende Vorspannung für T1, der dadurch nur den festgelegten Maximalstrom liefern kann (für den der Kühlkörper ohnehin ausgelegt sein muß).

Beispiel: Um den Kurzschlußstrom auf 5 A zu begrenzen, muß  $R_2$  nach dem Ohmschen Gesetz  $0,13 \Omega$  groß sein (Normwert:  $0,12 \Omega$ ); dann fallen an ihm bei 5 A Laststrom gerade die zum Leiten von T2 erforderlichen 650 mV ab, und der Entzug der T1-Vorspannung beginnt. T2 kann ein Kleinsignaltyp sein, und



formuliert sorgt das IC an seinem Ausgang für eine so hohe Spannung, daß zwischen den Anschlüssen A und Ref die erwarteten 1,25 V anliegen. Führt man über einen Spannungsteiler  $R_1/R_2$  einen Teil der Ausgangsspannung an den Referenzeingang zurück, geht die Ausgangsspannung hoch; sie erreicht denjenigen Wert, der an  $R_1$  gerade wieder 1,25 V liefert.

Bild 14: Diese einfache Schaltung liefert ausgangsseitig eine einstellbare Spannung von 1,3...25 V bei 1,5 A ( $240 \Omega$  erhält man mit  $2,2 \text{ k}\Omega \parallel 270 \Omega$ ).

■ Es ist eine einfache Dreisatz-Aufgabe, die rechnerische Beziehung hieraus aufzustellen:

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1,25 \text{ V}}{U_a}$$

Der Hersteller empfiehlt für  $R_1$  einen Wert von  $240 \Omega$ , so daß sich folgende Beziehung zwischen gewünschter Ausgangsspannung und erforderlichem Widerstand ergibt:

$$R_2 = \frac{(U_a - 1,25 \text{ V})}{1,25 \text{ V}} \cdot 240 \Omega$$

Mit dieser Kenntnis läßt sich ein ganz einfaches Netzteil aufbauen, wie es beispielsweise Bild 14 zeigt. Bei  $R_2 = 0$  wird  $U_a$  nicht etwa 0 V, sondern erreicht den minimalen Wert von 1,25 V (gleich der Referenzspannung). Das mögliche Maximum ergibt sich aus dem höchstzulässigen Wert der Eingangsspannungsschwankung, der 40 V beträgt; mit dem minimalen Längsspannungsabfall von 3 V zwischen Ein- und Ausgang läßt sich hiermit also ein theoretischer Maximalwert von 37 V am Ausgang erreichen ( $R_2$  müßte dafür über  $7 \text{ k}\Omega$  groß sein). Die gezeigte Schaltung begnügt sich mit 25 V am Ausgang (28 V für  $U_o$  erforderlich) und kommt mit einem  $5\text{-k}\Omega$ -Poti aus.

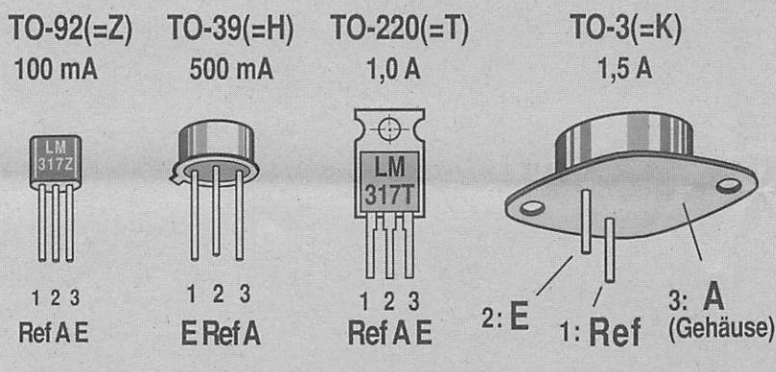


Bild 13: Der LM317 gehört zu den Standardtypen bei den einstellbaren Positivspannungsreglern; er ist in verschiedenen Gehäuse-Bauformen lieferbar.

Beispiel: Durch das IC sollen maximal 100 mA an Längsstrom fließen, und alles, was darüber liegt, soll der Transistor übernehmen. Dann muß  $R = 6,8 \Omega$  betragen, damit an ihm bei (ca.) 100 mA gerade 650 mV Spannungsabfall auftreten. Natürlich bleibt verlustleistungsmäßig wieder alles am Transistor hängen; das Produkt aus der Differenzspannung  $U_o - U_a$ , multipliziert mit dem Laststrom  $I_L$ , ergibt die entstehende Verlustleistung  $P_v$ ; für deren wirkungsvolle Abfuhr ist durch entsprechende Kühlung zu sorgen!

■ Es ist zu beachten, daß die Schaltung nach Bild 11 nicht kurzschlußfest ist; im Kurzschlußfall ( $U_a = 0$ ) erhöht sich nämlich die am Transistor anliegende Kollektor-Emitter-Spannung um  $U_a$ , und dementsprechend nimmt auch die Verlustleistung zu. Sofern man das nicht durch

am Wert für  $R_1$  ändert sich nichts; der an  $R_2$  entstehende zusätzliche Spannungsabfall ist gegenüber dem von  $R_1$  so klein (hier unter 2%), daß er die Wirkung von T1 nicht beeinträchtigt.

## Einstellungssache

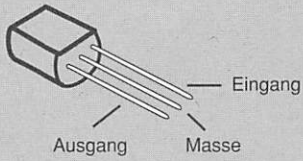
Wo man mit den verfügbaren Werten der Festspannungs-ICs nicht auskommt (z.B. in einstellbaren Netzteilen), muß man einstellbare Spannungsregler einsetzen. Hier legt man die Ausgangsspannung durch die externe Beschaltung fest, in der Regel durch einen Spannungsteiler.

■ Zu den Standardtypen dieser Gattung gehört der LM317, der die Spannung zwischen dem Ausgang A und dem Referenz-Eingang Ref mit einer internen Referenz von 1,25 V vergleicht (Bild 13). Anders



# Festspannungsregler

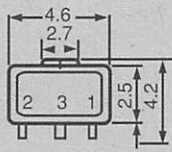
Abb. 1



78 L...

Gehäuse  
TO-92

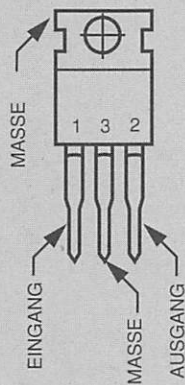
Abb. 2



1 = EINGANG  
2 = AUSGANG  
3 = MASSE (-)

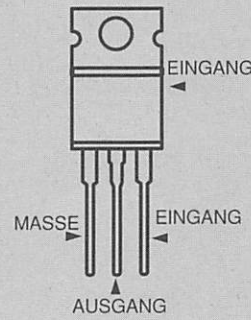
SMD

Abb. 3



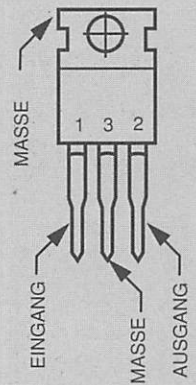
TO-220

Abb. 4



TO-220

Abb. 5



TO-220

Spannung / Strom	Abb. 1	Abb. 2	Abb. 3	Abb. 4	Abb. 5
100 mA	78L02				
150 mA	78L05 LP2950	TA78L05	7805 LM2940CT	LT1086-5	78S05
1 A	78L06	TA78L06	7806		
1,5 A					78S75
2 A					
+ 2 V	78L02				
+ 5 V	78L05 LP2950	TA78L05	7805 LM2940CT	LT1086-5	78S05
+ 6 V	78L06	TA78L06	7806		
+ 7,5 V					78S75
+ 8 V	78L08	TA78L08	7808		
+ 9 V	78L09	TA78L09	7809	*78S09 *(Abb. 3)	
+ 10 V	78L10	TA78L10			78S10
+ 12 V	78L12	TA78L12	LM2940CT	LT1086-12	78S12
			7812		
+ 15 V	78L15		7815		78S15
+ 18 V			7818		78S18
+ 24 V			7824		78S24



# - Übersicht

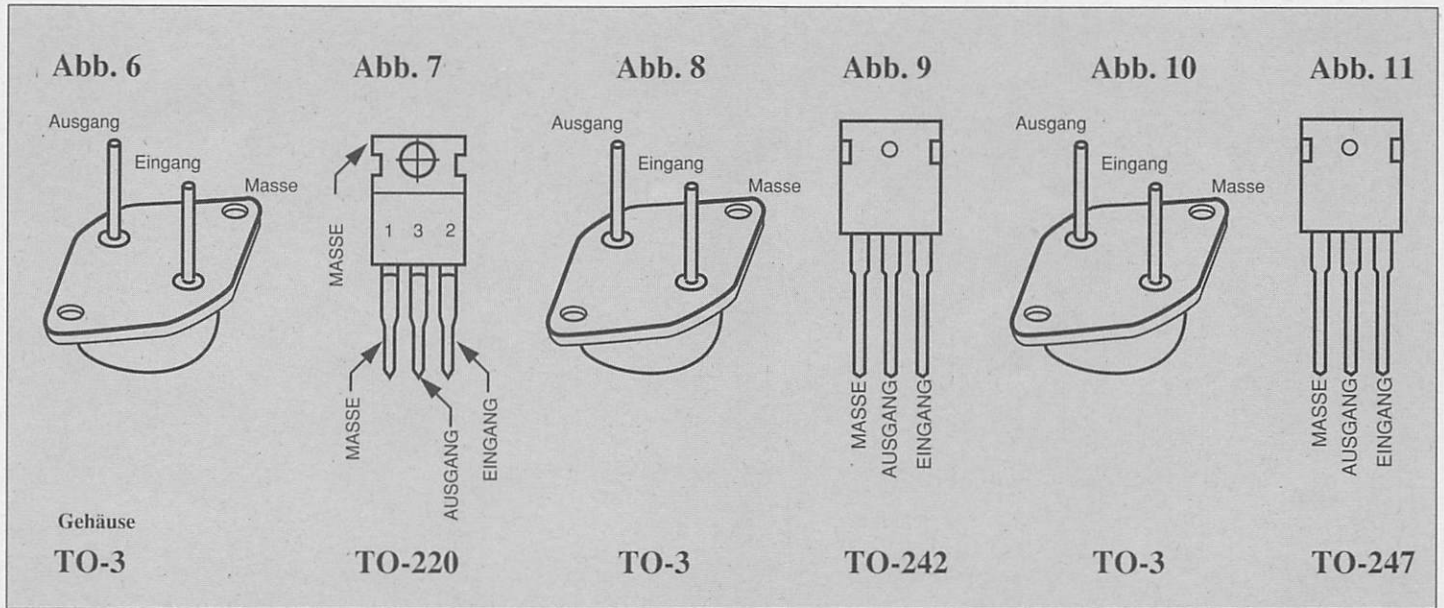


Abb. 6	Abb. 7	Abb. 8	Abb. 9	Abb. 10	Abb. 11
1,5 A	3 A	3 A	5 A	5 A	7,5 A
7805KC LM309K	LT1805-5CT	LM323K	LT1084-5CP	LT1003	LT10835-5
7812KC	LT1085-12CT		LT 1084-12CP		LT1083-12
7815KC					
7824KC					



**Der Umwelt zuliebe !**

**100% Recyclingpapier**

---

**Änderungen vorbehalten!**

Alle Rechte, auch Übersetzungen, vorbehalten. Reproduktionen gleich welcher Art, ob Fotokopie, Mikrofilme oder Erfassung in Datenverarbeitungsanlagen, nur mit schriftlicher Genehmigung der CONRAD ELECTRONIC GmbH.

© Copyright 1995 by CONRAD ELECTRONIC GmbH, Klaus-Conrad-Str. 1, 92240 Hirschau  
\*455-11-95/05-C