

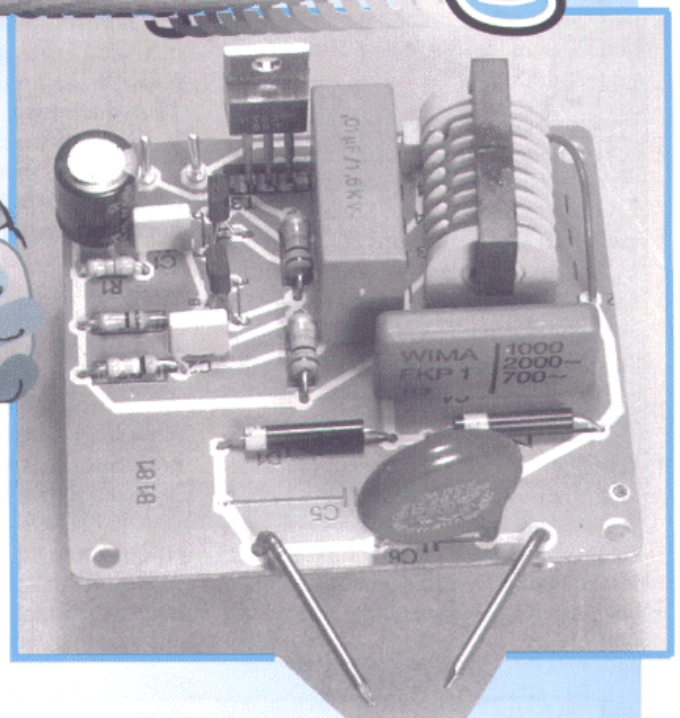
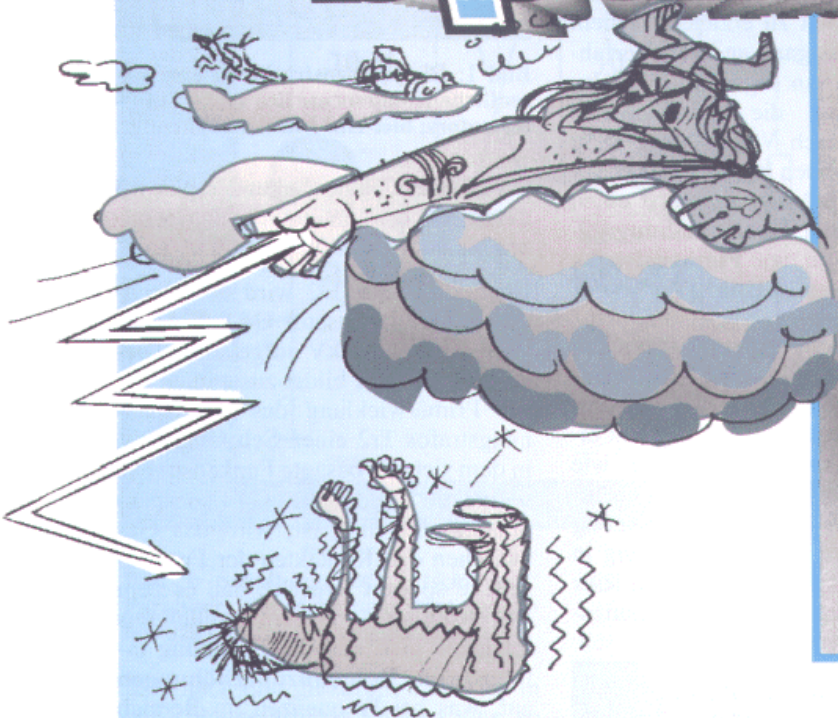
■ Unsere Transistor-Zündung für das Auto erzeugt ebenfalls Spannungen im Bereich von einigen kV (E•A•M 5/98).

Paralyser (Hochspannungserzeugung)

# Bau Anleitung

Hochspannungserzeugung bedeutet auch hohe Funkstörungen:

# Knisternde Spannung



- Hier knistert es buchstäblich in der Luft
- Das ist eine immer wieder reizvolle Thematik
- Mit normalen Trafos kommt man nie so „hoch“
- Mr. Tesla hat es schon vor 100 Jahren vorgemacht
- Hochfrequente Hochspannung ist (fast) ungefährlich

**Steckbrief: Trotz allem – Vorsicht ist geboten!**

<b>Funktion:</b>	Erzeugung von Hochspannungsimpulsen über einen angeregten Resonanzkreis
<b>Oszillator:</b>	Astabiler Multivibrator
<b>Tastverhältnis:</b>	1 : 20
<b>Frequenz:</b>	ca. 700 Hz; Funkenüberschlag alle 3...5 s
<b>Ausgang:</b>	Sekundärwicklung des Hochspannungstrafos; Impulsspitzen bis ca. 10.000 V
<b>Abmessungen:</b>	67 x 62 mm
<b>Stromversorgung:</b>	4...6...9 V (z.B. vier 1,5-V-Mignonzellen)
<b>Stromaufnahme:</b>	ca. 350 mA
<b>Bausatzpreis:</b>	ca. 39,95 DM

In unseren Bauanleitungen ging es schon verschiedentlich um die Erzeugung hoher Spannungen, u.a. bei der Transistorzündung fürs Auto. Spielte dort weder Platz noch das Gewicht der dicken Zündspule eine Rolle, so ist das bei einer „Handtaschenschaltung“ grundsätzlich anders. Damit sie wirklich handlich bleibt und man sie bei sich tragen kann, muß man schaltungstechnisch andere Wege gehen; hier ist das Ergebnis.



■ Im Blickpunkt Ü114 haben wir ihn im Zusammenhang mit den Plasmakugeln vorgestellt (E•A•M 6/97).

## Paralyser (Hochspannungserzeugung)

### Hohe Frequenz und Spannung

Der Begriff *Paralyser* (auch mit 'z': *Paralyzer*) ist eine typisch amerikanische Wortschöpfung, die übrigens *Paraleiser* ausgesprochen wird (im deutschen: **Paralysator**). Paralyse bedeutet im medizinischen Sinne nämlich Bewegungs lähmung, und dies ist ein Aspekt, den man mit derartigen Geräten verfolgt: Durch die Hochspannungsimpulse soll ein potentieller Angreifer abgewehrt und vorübergehend aus dem Verkehr gezogen werden, indem er für kurze Zeit bewegungsunfähig ist.

In die Schlagstöcke der amerikanischen Polizei sind derartige Schaltungen eingebaut, und bei uns tauchen sie verschiedentlich zur Selbstverteidigung auf. Wir wollen uns aus Sicht des Elektronikers damit befassen und insbesondere untersuchen, wie man quasi aus dem Handgelenk so hohe Spannungen zaubern kann, daß sie einen Gegner vorübergehend kampfunfähig machen können – theoretisch jedenfalls.

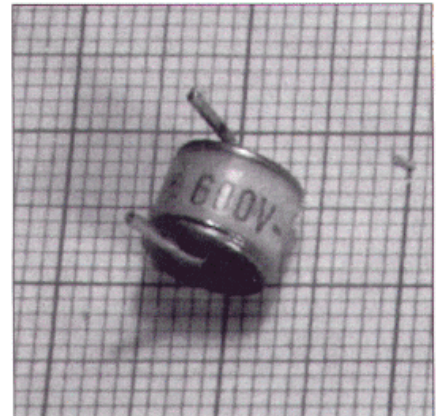
Würde man einen normalen Transformator zum Hochtransformieren einer Wechselspannung benutzen, wäre bei einem Übersetzungsverhältnis von ca. 1:100 Schluß; das bedeutet, daß man bei einer Eingangsspannung von 10 V<sub>ss</sub>

nur auf Ausgangsspannungen von einigen hundert Volt kommen könnte.

Bei der Zündspule im Auto erreicht man wesentlich höhere Werte (bis zu 20.000 V), weil man die Primärspannung nicht klassisch hochtransformiert, sondern stattdessen Induktionsspitzen erzeugt, die beim Zusammenbrechen des primärseitigen Magnetfeldes entstehen (vgl. E•A•M 5/98).

Um ähnliche Ergebnisse im angepeilten Mini-Format zu erzielen, bedient man sich eines ganz anderen Verfahrens, bei dem ein sogenannter **Tesla-Transformator** die entscheidende Rolle spielt (nach *Nikola Tesla*, 1856 – 1943). Auf einen kurzen Nenner gebracht versteht man darunter einen **hochfrequenten Hochspannungsgenerator**, der um eine **Funkenstrecke** herum aufgebaut ist (**Bild 1**).

Zum „Anfüttern“ dieses speziellen Trafos wird bereits eine Hochspannung benötigt, die im Kilovolt-Bereich liegt. Die kann man z.B. mit einem **Sperrschwinger** erzeugen, wie er u.a. zum Betrieb von Leuchtstofflampen an 12 V Batteriespannung eingesetzt wird (vgl. Bauanleitung in diesem Heft). Im **Bild 2** ist dieser Sperrschwinger im linken Schaltungs-



**Bild 1:** Die Funkenstrecke ist eine wesentliche Komponente des Tesla-Transformators; hier eine Mini-Ausführung.

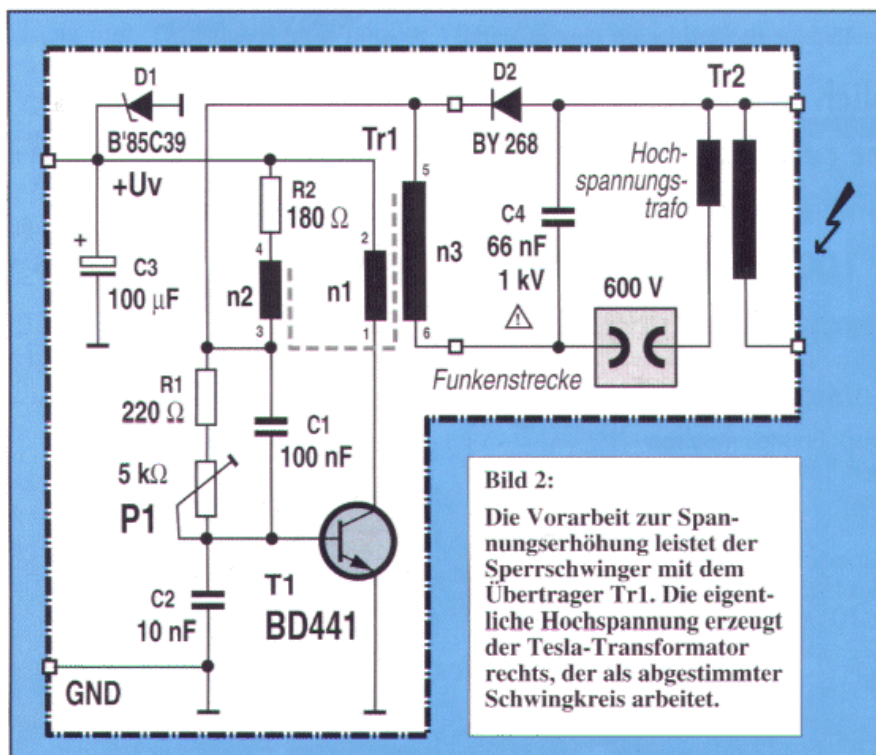
teil zu sehen; an der Sekundärspule **n3** treten die erwähnten Spannungsspitzen bis über 1.000 V auf.

Über die Diode **D2** wird der Hochspannungskondensator **C4** auf diesen Wert von rund 1 kV aufgeladen. Dieser Kondensator bildet zusammen mit der Primärwicklung des Hochspannungstrafos **Tr2** einen **Schwingkreis**, in dem sich die besagte Funkenstrecke befindet. Sobald die **C4**-Ladespannung groß genug ist, wird das Gas zwischen den Kontakten der Funkenstrecke so weit ionisiert, daß es zum **Durchschlag** kommt. Im Parallelkreis schaukelt sich nun die Spannung infolge von **Resonanzüberhöhungen** auf, was bei Frequenzen im Bereich von ungefähr 0,1...1 MHz passiert.

Der Trafo **Tr2** transformiert dieses Frequenzgemisch hoch, so daß an den Ausgangsklemmen Werte von mehreren Kilovolt entstehen. Dabei wird **C4** rasch entladen, so daß die Schwingungen immer wieder abreißen und sich ebenso rasch wieder aufbauen. Wenn die Elektroden am Ausgang 1...2 cm Abstand voneinander haben, kommt es dort zum **Funkenüberschlag**, was mit lautstarkem Knistern und Geruchsentwicklung verbunden ist.

Folgende Dinge sind in diesem Zusammenhang von Bedeutung:

1. Je besser der Tesla-Schwingkreis auf seiner bauartbedingten Resonanzfrequenz angeregt wird, desto höher sind die am Ausgang erzielbaren Spannungen. Sie können mehrere 100.000 V erreichen und sich als Funkenbüschel in die umgebende Luft entladen.

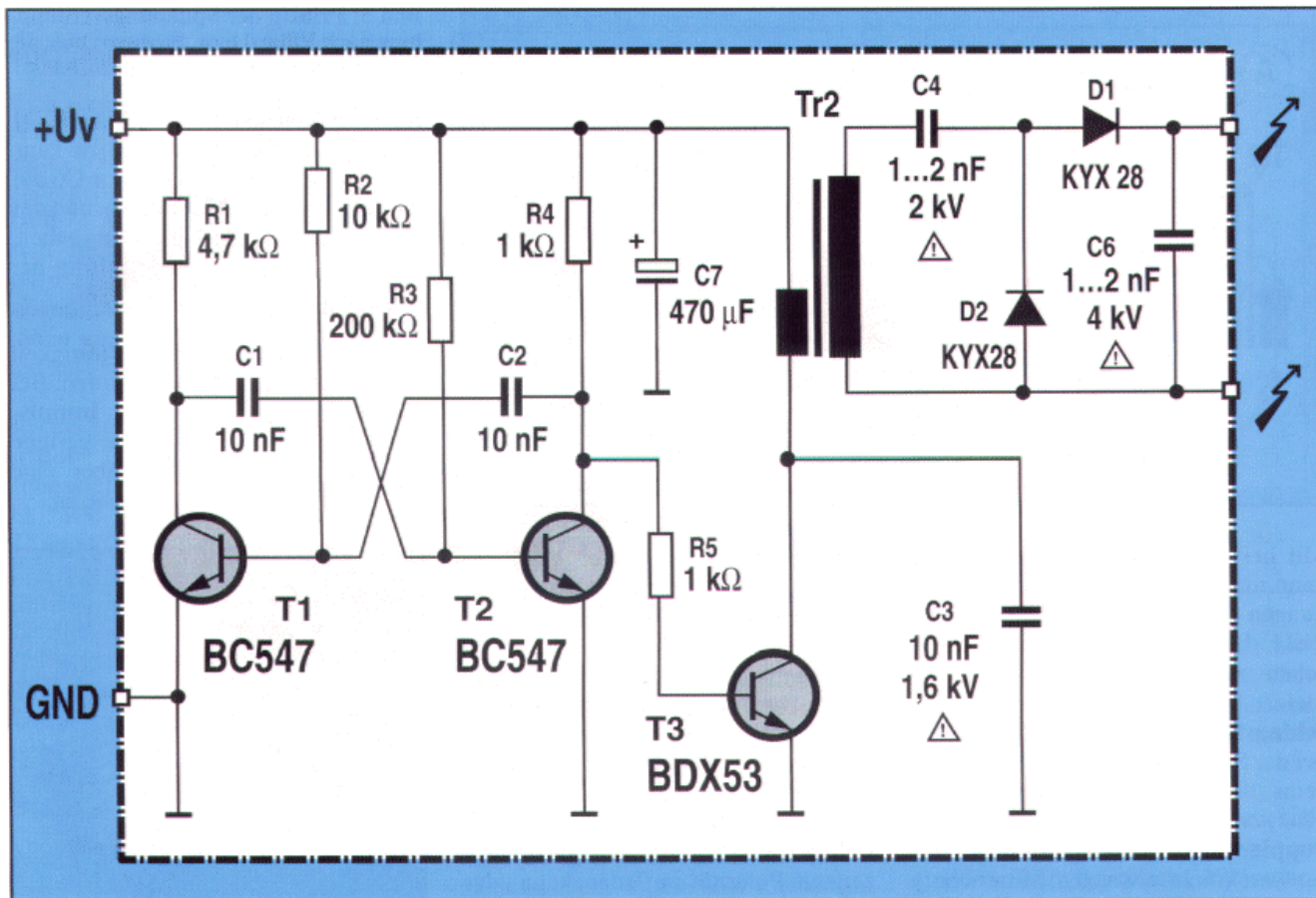


**Bild 2:** Die Vorarbeit zur Spannungserhöhung leistet der Sperrschwinger mit dem Übertrager **Tr1**. Die eigentliche Hochspannung erzeugt der Tesla-Transformator rechts, der als abgestimmter Schwingkreis arbeitet.



■ Schon mehrfach haben wir uns mit der z.T. unsinnigen Vergabe befaßt (vgl. *E•A•M* 2/98 u. Leitartikel 6/97).

## Paralyser (Hochspannungserzeugung)



**Bild 3:** Schaltung des „entschärften“ Paralyser, der nicht mehr stört und daher das CE-Zeichen zugeteilt bekam.

2. Je nach Energiezufuhr kann sich in den (blaugefärbten) Funken eine so **hohe Temperatur** entwickeln, daß man darin sogar Glas zum Schmelzen bringen kann!

3. Der dabei wahrnehmbare Geruch stammt nicht etwa von einer Ozonbildung, denn Ozon selbst ist geruchslos. Vielmehr kommt es infolge der hohen Temperaturen zu einer Verbindung des Luft-Stickstoffs mit Sauerstoff, wobei Stickoxide entstehen (NO bzw. NO<sub>2</sub>); diese sind es, die den typischen **Geruch „nach Strom“** entwickeln.

4. Trotz der unglaublich hohen Spannungen besteht für den Menschen keine akute Lebensgefahr. Das liegt einerseits an den hohen Frequenzen, die Körper-untypisch sind; die 50-Hz-Netzfrequenz wird vom Körper wesentlich eher „akzeptiert“, weil sie sich im Bereich der normalen Herzfrequenz bewegt. Andererseits macht

sich auch beim Menschen der Skin-Effekt bemerkbar, der ein Eindringen des Stroms in den Körper verhindert.

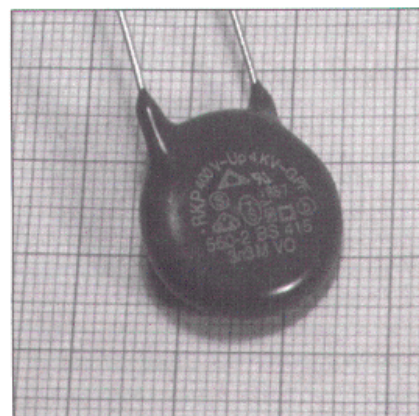
**Dennoch kann es durch die Hochfrequenz bei Hautkontakt zu erheblichen Verbrennungen kommen, so daß höchste Vorsicht geboten ist!**

5. Beim Betrieb dieser Anordnung entsteht ein so **energiereiches und oberwellenhaltiges Spektrum**, daß an eine Funk-Entstörung gar nicht zu denken ist; demzufolge wurde dieser Bausatz **mangels CE-Zertifizierung** aus dem Verkehr gezogen.

Als Trost bleiben zwei Alternativen: **Bild 3** zeigt die „entschärfte“ Version eines Paralyser, die es auch auf ca. 10 kV bringt, und die den CE-Segen bekommen hat. Sie besteht aus einem astabilen Multivibrator, der den Hochspannungstrafo Tr2 direkt ansteuert; die Ausgangsspannung wird anschließend noch einmal verdoppelt (vgl. Bild 5).

**Bild 4:** Dieser Spezial-Kondensator hält Spannungspitzen von mehreren Kilovolt aus; er besitzt diverse Prüfzeichen.

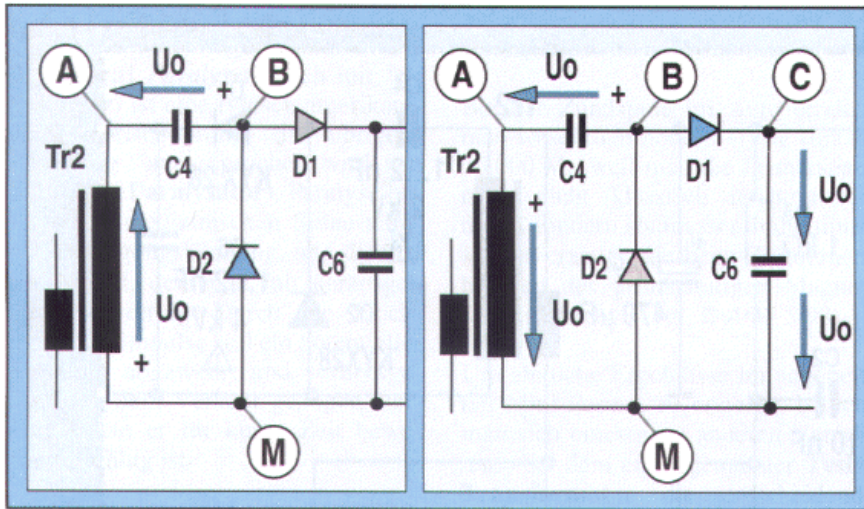
Möglichkeit zwei ist der Selbstbau der Schaltung von Bild 2, den wir *rein theoretisch* erwähnen. Die Grundschaltung des Spannungswandlers ist nach wie vor als Bausatz lieferbar; zusammen mit den Spezialteilen der entschärften Version (Trafo Tr2, Hochvolt-Kondensatoren; **Bild 4**) ist man schnell am Ziel. Die Funkenstrecke läßt sich schon mit zwei blanken Drahtenden nachbilden, deren optimalen Abstand man am besten experimentell ermittelt (ganz grob 1 mm).





■ Nach dem hier beschriebenen Prinzip läßt sich die Spannung weiter vervielfachen (vgl. **E•A•M** 8/93).

## Paralyser (Hochspannungserzeugung)



**Bild 5:** Prinzip der Spannungsverdopplung nach Villard bzw. Siemens; hier die beiden Phasen des Spannungsaufbaus.

In dieser Konstellation wird Diode D1 leitend, und D2 sperrt; folglich kann sich der Ausgangskondensator C6 auf die Spannung **B – M** aufladen, und das sind, wie wir eben gesehen haben,  $2 \cdot U_0$ , womit die **Verdopplung** der eingespeisten  $U_0$  komplett wäre.

Ein Wort noch zur Spannungsfestigkeit der verwendeten Kondensatoren: Bei C4 und C6 handelt es sich um **Impuls-kondensatoren**, die nur eine geringe Dauerspannung aushalten, aber eine sehr hohe Impulsfestigkeit besitzen.

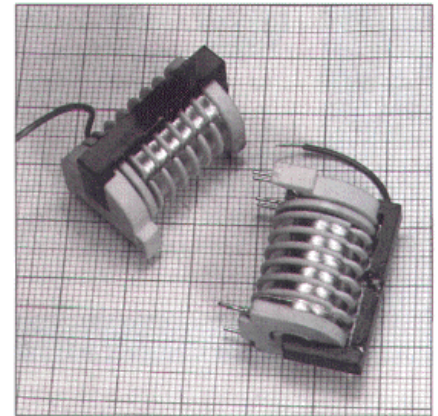
Mit herkömmlichen Transformatoren kann man keine beliebig hohen Spannungen erzeugen. Das liegt in erster Linie daran, daß die Spannung zwischen zwei benachbarten Windungen kleiner bleiben muß als die **Durchschlagsfestigkeit** der Isolation. Um bei der Schaltung nach Bild 4 dennoch „eins draufzusetzen“, haben wir an den Ausgang einen **Spannungsverdoppler** angeschlossen, der den Spitzenwert (nicht etwa den Mittelwert!) verdoppelt. Diese Schaltung ist in der Literatur als **Villard- oder Siemens-Verdoppler** bekannt (auch als **einstufige Kaskade**) und besteht aus zwei Dioden (hier D1 + D2) und zwei Kondensatoren (C4 + C6).

Nach demselben Prinzip ließe sich die Spannung noch weiter hochschaukeln, was z.B. in der **Hochspannungskaskade** im Fernseher geschieht, wo ja auch über 20.000 V benötigt werden, allerdings permanent und nicht zum Abschrecken!

Die Wirkungsweise dieser Verdopplerschaltung machen Sie sich am besten anhand von **Bild 5** klar.

Beginnen wir die Betrachtung bei der linken Darstellung, wo die Sekundärseite des Hochspannungstrafos **negativ** gepolt ist (Minusseite von  $U_0$  an **A** und Plusseite an **M**). In dieser Phase ist die Diode D2 leitend, so daß sich der Kondensator C4 mit der gezeigten Polarität aufladen kann; danach hat C4 die Ladespannung  $U_0$  mit der Plusseite an **B**.

Wenn sich bei der folgenden Halbwelle die Polarität der Ausgangsspannung  $U_0$  **umkehrt**, liegt die Plusseite an **A** und Minus an **M** (rechte Darstellung). Die Trafo-Sekundärseite „hebt“ Punkt **A** gewissermaßen um  $U_0$  an, so daß Punkt **B** ebenfalls um den Betrag von  $U_0$  „hochgehoben“ wird – eben um die Ladespannung von C1, die wir bei diesen Vorgängen als konstant ansehen wollen.



**Bild 6:** Um Überschläge zwischen den Windungen zu vermeiden, besitzt der Hochspannungstrafos mehrere Kammern.

Zur Spannungsfestigkeit der Dioden ist zu sagen, daß sie natürlich den zweifachen Spitzenwert von  $U_0$  aushalten müssen. Hier würden „normale“ 1N4007 mit 1.000 V Sperrspannung sofort das Zeitliche segnen, so daß spezielle **Hochspannungsdioden** zum Einsatz kommen müssen.

Schließlich sei auch dem Hochspannungstrafos Tr2 noch eine kurze Betrachtung gewidmet. Wie Sie auf dem Foto erkennen, verteilt sich die Sekundärwicklung fortlaufend auf mehrere Kammern (**Bild 6**).

Das geschieht aus dem erwähnten Grund der Überschlagsgefahr: Würde bei „wildem“ Wickeln beispielsweise die letzte Windung, die ja 1.000 V und mehr führt, in unmittelbarer Nähe des Wicklungsanfangs liegen, käme es zum Spannungsdurchschlag und damit zur Zerstörung des Trafos.

### ANZEIGE

## Kemo -Electronic

Wir sind Hersteller von

- über 250 verschiedenen Bausätzen und Modulen
- Computer-Zubehör (Schrittmotor-Steuerungen u.v.a.m.)
- Spritzgußteilen (Gehäuse, Knöpfe usw.)

Wir beliefern nur den Fachhandel und die Industrie. Privatkunden wenden sich bitte an den Fachhandel.

Alle Bausätze und Module sind für den Export mit Anleitungen in 6 verschiedenen Sprachen ausgestattet. Ausführliche Produktinformationen finden Sie im Internet: [www.kemo-electronic.com](http://www.kemo-electronic.com)

**Kemo-Electronic, Leher Landstraße 20, D-27607 Langen; Fax: (0 47 43) 93 38 22**



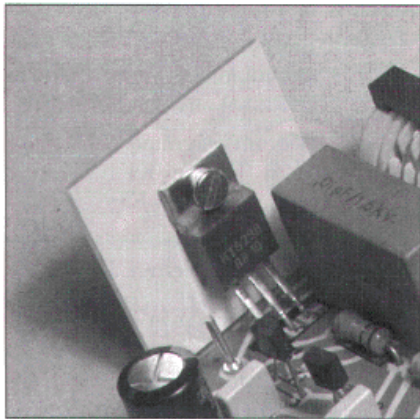
■ Speziell auf den Schaltungsnachbau und die Inbetriebnahme geht das Sonderheft Nr. 1 'Elektronik-Selbstbau' ein.

## Paralyser (Hochspannungserzeugung)

### Nachbau

Auch wenn die Schaltung vergleichsweise einfach aussieht, sollten Sie beim Nachbau gewisse Vorsichtsmaßnahmen niemals außer acht lassen (**Bild 7**). Mag die primäre Gefährdung auch nicht von der Hochspannung selbst ausgehen, so kann es beim versehentlichen Kontakt zu Schreckreaktionen kommen, die dann Folgeschäden auslösen.

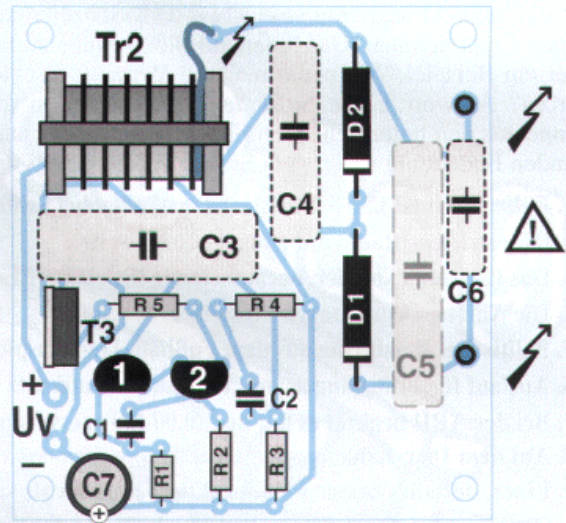
Bestücken Sie zunächst den **Multivibrator** mit nachgeschalteter Leistungsstufe, also die fünf Widerstände R1...R5, die beiden Kondensatoren C1 und C2 sowie die drei Transistoren T1...T3. Wenn Sie auch noch den Stützelko C7 eingelötet haben, können Sie diesen Schaltungsteil sofort inbetriebnehmen. An den Kollektoren der Kleinsignaltransistoren T1 und T2 müssen die Rechteckimpulse (unsymmetrisches Tastverhältnis!) zu messen sein, während sich an T3 wegen des offenen Kollektors noch nichts rührt.



**Bild 7:**

Unterhalb der Platine dürfen keine Metallteile angeordnet sein, weil sonst die Hochspannung überschlägt.

Kondensator C5 wird nicht bestückt, solange C6 größer ist als 1 nF; ansonsten muß die Parallelschaltung von C5 + C6 eine Gesamtkapazität von mindestens 1 nF ergeben.



Bei den Kondensatoren besteht insofern keine Verwechslungsgefahr, als sie alle ein unterschiedliches Rastermaß haben. Für C6 kann wahlweise ein einziger Kondensator eingesetzt werden, wenn dem Bausatz einer mit entsprechend großer Kapazität beiliegt (>1 nF); in diesem Fall wird C5 nicht bestückt. Ist C6 aber kleiner als 1 nF, so muß mit C5 ein weiterer Kondensator parallelgeschaltet werden.

Achten Sie bei den beiden Dioden auf die richtige Polung, weil sonst keine Verdopplung zustandekommt! Bei der Handhabung des Hochspannungstrafos müssen Sie sehr sorgfältig sein, damit der Ferritkern nicht bricht!

**Bild 8: Der Leistungstransistor T3 muß noch mit einem einfachen Kühlblech aus 1 mm starkem Alu versehen werden.**

Vergewissern Sie sich nach Abschluß der Bestückung noch einmal, daß keine Löt- oder Bestückungsfehler vorliegt und sich auch kein Drahtrest versteckt hat.

Als Ausgangselektroden eignen sich z.B. zwei Nägel, deren Spitzen Sie abrunden sollten; bei einem Abstand von 2...3 mm zueinander springen beim Betrieb knisternde Funken über.

Zum Schluß müssen Sie dem Leistungstransistor T3 noch ein kleines Kühlblech verpassen (**Bild 8**). Beim Einbau in ein Gehäuse dürfen sich unterhalb der Platine keine Metallteile befinden, weil es sonst zu Spannungsüberschlägen kommt. Zum Betrieb der Schaltung eignen sich beispielsweise vier in Reihe geschaltete Mignonzellen, die noch im Gehäuse Platz haben. ■

### Stückliste Paralyser

**Platine:**

--- 1 Paralyser B 181

**Halbleiter:**

T1,2 2 npn-Silizium-Transistor BC 547  
 T3 1 npn-Leistungstransistor BD X53  
 D1,2 2 Hochspannungsdioden KYX28

**Kohleschichtwiderstände:** (250 mW / 5 %)

R1 1 4 k 7 (gelb - violett - rot - gold)  
 R2 1 10 k 0 (braun - schwarz - orange - gold)  
 R3 1 200 k (rot - schwarz - gelb - gold)  
 R4,5 2 1 k 0 (braun - schwarz - rot - gold)

**Transformator:**

Tr2 1 Hochspannungstrafos

**Kondensatoren:**

C1,2 2 keramischer Kondensator 10 nF  
 C3 1 Vielschichtkondensator 10nF / 1,6 kV  
 C4 1 Folienkondensator 1nF / 2 kV  
 C6 1 keramischer Kondensator 3,3nF / 4 kV  
 C7 1 Elektrolytkondensator 470 µF / 16 V

Die hier aufgeführten Bauteile sind als kompletter Bausatz für ca. 39,95 DM im Fachhandel erhältlich (Platine einzeln nicht lieferbar).

### Empfohlenes Zubehör:

(gehört nicht zum Lieferumfang des Bausatzes)

Alu-Kühlblech für T3 (30 x 30 x 1 mm) Rest  
 passendes Gehäuse G 02 B ca. 7,90 DM