

# ELV *journal*

Nr. 47

Mit  
Platinenfolien

Fachmagazin der Amateure und Profis für angewandte Elektronik

DM 4,50

## Funkuhrensystem DCF 86



Mit  
Platinenfolien

### In dieser Ausgabe:

ELV-Serie micro-line:  
Funkuhrensystem DCF 86

Low-Cost 250°C-Digital-  
Thermometer

1-Kanal-IR-Fernbedienung

ELV-Serie 7000:

4,5stelliges Digital-  
Multimeter DMM 7001

DCF-synchronisierte  
Präzisions-Quarzeitbasis

Digitaler Energiezähler

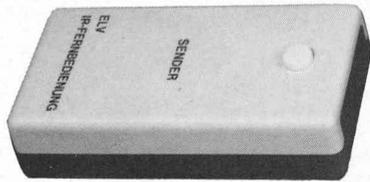
400 Watt-HiFi-Stereo-Power-  
Verstärker

ELV-Wind-Großanzeige

Geiger-Müller-Zähler GMZ 2

ELV-Grundlagen:  
Gehör-Mikrofon-Kopfhörer

# 1-Kanal-IR-Fernbedienung



*Eine hohe Reichweite von rund 30 Metern (!) sowie eine große Störsicherheit zeichnen diese hochwertige und doch preiswert zu erstellende 1-Kanal-Infrarot-Fernbedienung aus. Die Schaltung ist universell ausgelegt, so daß sie zur Steuerung der verschiedensten Geräte dienen kann.*

## Allgemeines

1-Kanal-Infrarot-Fernsteuerungen sind für viele Anwendungen in der Konsumelektronik zweckmäßig. Gerade auch im Haushalt bieten sich hierfür zahlreiche Einsatzmöglichkeiten, wie z. B. das Ein- und Ausschalten von Lampen, Stereo-Anlagen, Fernsehgeräten oder auch die Fernbedienung von Garagentoren.

Der quartzgesteuerte, ohne Abgleich aufzubauende IR-Sender kann in ein kleines, sehr handliches Gehäuse mit den Abmessungen 100 x 50 x 26 mm eingebaut werden. Der Betrieb erfolgt über eine handelsübliche 9 V Blockbatterie, die für ca. 100 000 (!) Steuerbefehle ausreicht. Auf der Empfangsseite besteht die Gesamtkonzeption aus einem hochwertigen, empfindlichen und sehr selektiven Infrarotempfänger mit Impulsformer- und Komparatorstufe sowie nachgeschaltetem Flip-Flop, das bei jedem Impuls seinen Zustand wechselt (Ein - Aus - Ein - Aus...). Am Ausgang steht somit ein universell weiter zu verarbeitendes Steuersignal für die verschiedensten Anwendungsfälle zur Verfügung.

Der vorstehend beschriebene Schaltungsteil ist auf einer Leiterplatte mit den Abmessungen 55 x 68 mm aufgebaut und kann auch separat mit einer Versorgungsspannung im Bereich zwischen 5 V und 15 V betrieben werden.

Darüber hinaus besteht die Anlage aus einem Leistungsteil, das zur Stromversorgung sowie zum Schalten eines 220 V Verbrauchers dient. Dieser Schaltungsteil wird auf einer zweiten Platine mit den Abmessungen 55 x 68 mm aufgebaut.

Die Verbindung von Empfänger- und Leistungs-Platine erfolgt über drei flexible isolierte Zuleitungen (Schaltungsmasse - Stromversorgung von 8 V - Signalsteuerleitung).

Beide Platinen zusammen können in ein Stecker-Steckdosengehäuse eingebaut werden und bilden so ein kompaktes, vielseitig einsetzbares Fernbedienungsteil, bei dem die integrierte Schuko-Steckdose über den Infrarotsender ferngesteuert ein- und wieder ausgeschaltet werden kann.

Wie bereits erwähnt, kann die IR-Empfängerplatine auch separat ohne den Leistungsteil für die verschiedensten Fernsteuerungsaufgaben eingesetzt werden.

## Zur Schaltung

### Der IR-Sender

Der Infrarot-Sender gibt amplitudenmodulierte, quartzgesteuerte Impulse mit einer Grundfrequenz von 32,768 kHz ab. Diese Impulse werden mit einer 2. Frequenz von 2048 Hz getaktet, entsprechend einer 100% Amplitudenmodulation.

Die Dauer eines jeden Sendesignals ist auf 62,5 msec festgelegt, und zwar unabhängig von der Länge des auslösenden Tastendruckes.

Erzeugt wird diese Impulsfolge durch eine digitale Ablaufsteuerung in einfacher Weise:

Die Quarzfrequenz von 32,768 kHz wird in Verbindung mit dem im IC 1 des Typs CD 4060 integrierten Oszillators erzeugt. Anschließend erfolgt in demselben IC eine Mehrfachteilung der Grundfrequenz.

An Pin 9 des IC 1 steht die Grundfrequenz (32,768 kHz), an Pin 7 die Modulationsfrequenz (2048 Hz) und an Pin 1 der Senderfreigabe-Impuls an.

Das Gatter N 1 verknüpft die Grundfrequenz mit der Modulationsfrequenz. Dieses Signal gelangt auf das als Tor geschaltete Gatter N 2 (Pin 12). Erst wenn auch der 2. Eingang (Pin 13) von N 2 auf „high“ (ca. + 9V) geht, steht am Ausgang (Pin 11) das Sendesignal an. Über R 2 wird damit die Endstufe getastet.

Die Speisung der drei Sendedioden erfolgt aus dem Pufferkondensator C 6 über die Konstantstromquelle T 1, D 11, D 12, R 5. Das Aufladen von C 6 erfolgt aus der 9 V Blockbatterie schonend über den Vorwiderstand R 6.

Wird die Taste Ta 1 betätigt, wird über C 5 ein Impuls auf den Eingang (Pin 5) der als Speicher geschalteten Gatter N 3/N 4 gegeben, wodurch der Ausgang (Pin 3 von N 3) seinen Zustand von „high“ (ca. 9 V) auf „low“ (ca. 0 V) wechselt. Hierdurch beginnt der Oszillator/Teiler zu arbeiten.

Ca. 70 ms danach wechselt der Zustand von Pin 1 des IC 1 von „low“ nach „high“ und das Sendesignal wird für exakt 62,5 ms abgestrahlt. Anschließend geht dieser Anschluß wieder auf „low“ und das Tor (Gatter N 2) ist gesperrt. Über Pin 2 (des IC 1), R 33 sowie T 5 wird anschließend der Rücksetzeimpuls



(Pin 1 von N 3) des Speichers N 3/N 4 angesteuert. Daraufhin wechselt der Ausgang (Pin 3) des Gatters N 3 von „low“ nach „high“ (ca. + 9 V), und der Quarzoszillator stoppt.

Dieser Vorgang wiederholt sich erneut bei jeder Betätigung von Ta 1, und zwar mit quartzgenauer Präzision. Ein Abgleich des IR-Senders ist nicht erforderlich.

### Der IR-Empfänger

Der eigentliche Infrarot-Empfänger besteht aus dem IC 3 des Typs TCA 440 mit Zusatzbeschaltung. Hier werden die von der Empfängerdiode mit Infrarot-Filter (D 4 des Typs BP 104) kommenden Eingangssignale verstärkt und demoduliert. Eine automatische Verstärkungsregelung erfolgt vom Ausgang (Pin 7 des IC 3) über D 5, R 11 und C 18 auf den Regelingang Pin 9. Hierdurch wird eine ausgezeichnete Anpassung an unterschiedliche Sender-Empfänger-Abstände erreicht.

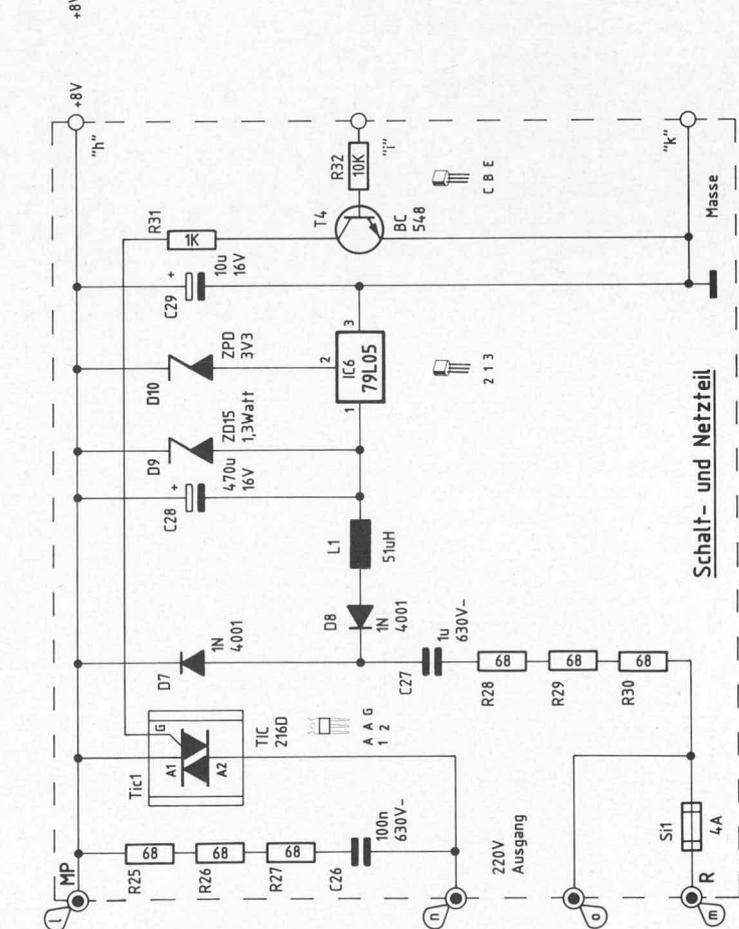
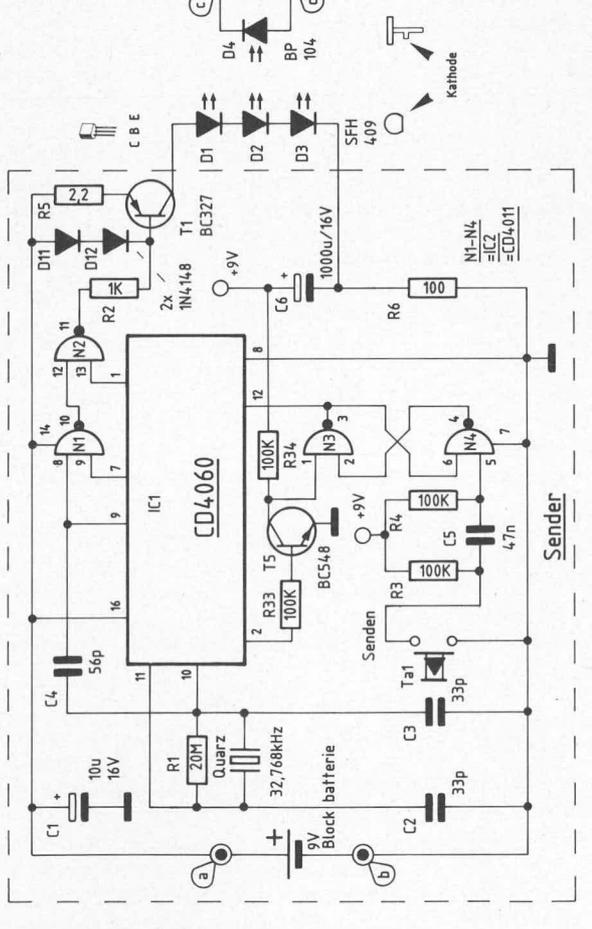
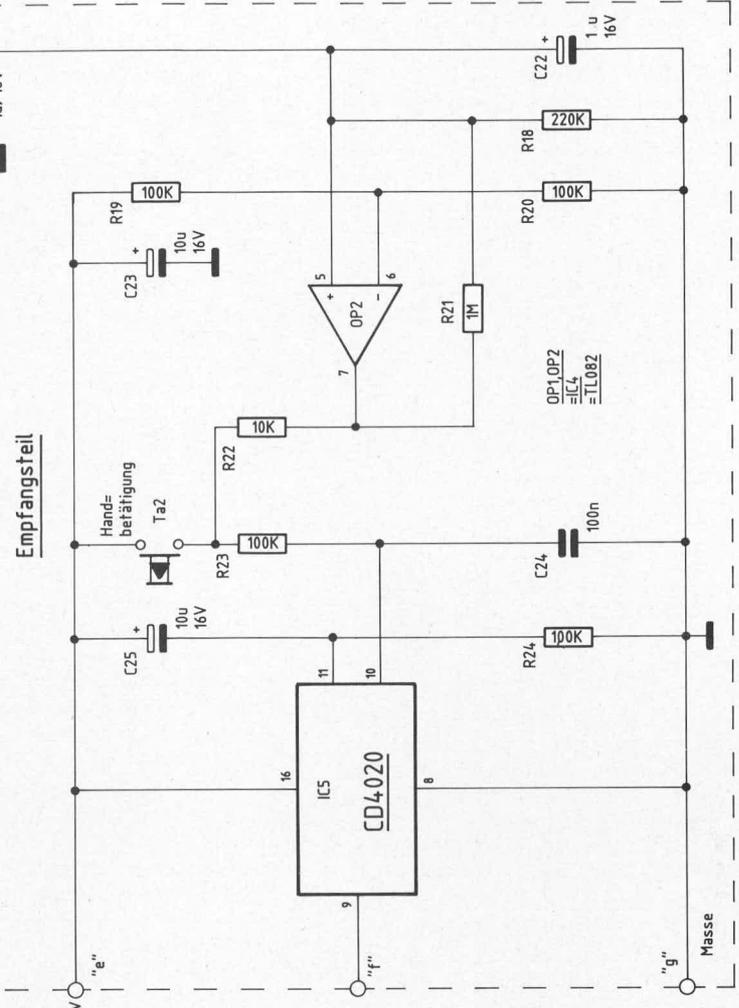
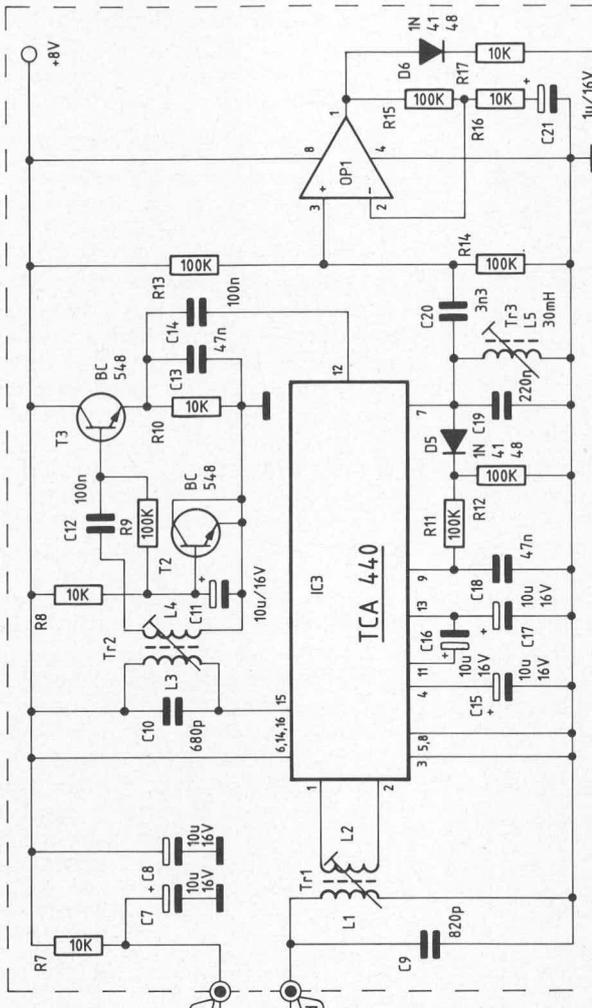
Über C 20 gelangt das Ausgangssignal auf eine weitere mit OP 1 und Zusatzbeschaltung aufgebaute Verstärkerstufe.

D 6 nimmt eine Gleichrichtung vor, um das Signal anschließend über R 17 auf den als Komparator geschalteten OP 2 zu geben.

Im Ruhezustand (Sender nicht betätigt) steht am Ausgang (Pin 7) des OP 2 ein „low“-Signal (ca. 1 V) an. Sobald der Sender betätigt wird, wechselt das Ausgangssignal des OP 2 für ca. 50 ms auf „high“ (ca. + 7 V), um anschließend wieder auf ca. 1 V zurückzufallen.

Über den Entkopplungswiderstand R 22 gelangen diese Digitalimpulse auf den Tiefpaß R 23, C 24, der zur Störunterdrückung dient. An C 24 wird das Signal abgegriffen und auf den Steuereingang (Pin 10) des IC 5 des Typs CD 4020 gegeben.

Bei jedem Steuerimpuls wechselt der Ausgang (Pin 9 des IC 5) seinen Zustand. Lag die Ausgangsspannung an Pin 9 bei ca. 0 V, wechselt sie beim 1. Impuls auf ca. 8 V, um beim 2. Impuls wieder auf 0 V und beim 3. Impuls erneut auf ca. + 8 V zu wechseln. Über C 25, R 24 erfolgt ein definiertes Rücksetzen im Einschaltmoment, d. h. beim Anlegen der Betriebsspannung führt der Ausgang (Pin 9)



Schaltbild der 1-Kanal-IR-Fernbedienung

des IC 5 „low“-Potential (0V). Am Platinenanschlußpunkt „f“ steht das Signal zur Weiterverarbeitung an. Da sich sämtliche zur Erzeugung dieses Signals erforderlichen Bauelemente auf einer Platine befinden, kann dieser Schaltungsteil auch unabhängig vom Leistungsteil eingesetzt werden.

Mit der Taste Ta2 ist neben der Betätigung durch den Sender eine direkte Steuerung möglich, d. h. daß bei jedem Tastendruck der Zustand des Ausganges wechselt — genau wie bei der Betätigung über den Sender.

### Das Leistungsteil

Das von der Empfängerplatine kommende, am Platinenanschlußpunkt „f“ abgegriffene Steuersignal gelangt über R32 auf die Basis des Inverters T4 (Platinenanschlußpunkt „i“). Über R31 wird anschließend der Triac Tic1 des Typs TIC216D angesteuert, der seinerseits wiederum den angeschlossenen 220 V-Verbraucher schaltet. R25 bis R27 dienen in Verbindung mit C26 zur Entstörung.

Die Stromversorgung befindet sich auf derselben Leiterplatte. Aus der 220 V-Netzwechselspannung wird mit dem zur Strombegrenzung dienenden Kondensator C27 in Verbindung mit D7 und D8 eine Gleichspannung erzeugt, die über D9 auf 15 V stabilisiert und mit C28 gepuffert wird. L1 dient zur Störunterdrückung, während R28 bis R30 im Einschaltmoment Stromspitzen begrenzen.

Mit dem Festspannungsregler IC7 des Typs 79L05 wird anschließend eine gute Stabilisierung auf ca. 8 V vorgenommen. Die Z-Diode D10 dient hierzu zur Erhöhung der 5V Festspannung um ca. 3V auf 8V. Diese an C29 anstehende Gleichspannung dient zur Versorgung der gesamten Empfängerschaltung.

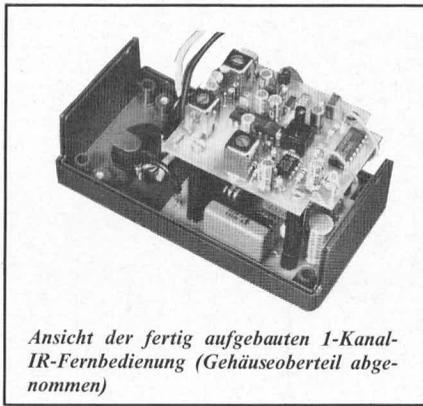
### Zum Nachbau

Bei der Bestückung der drei Platinen hält man sich genau an die Bestückungspläne. Zunächst werden die niedrigen und anschließend die höheren Bauelemente auf die Platinen gesetzt und verlötet. C1, R2 sowie R33 befinden sich auf der Platinenunterseite.

Bei den Übertragern Tr1 bis Tr3 handelt es sich um identische Typen. Bei Tr3 wird lediglich die Primärwicklung als Induktivität benutzt, während die Sekundärwicklung unbeschaltet bleibt.

Auf die korrekte Einbaulage muß jedoch sorgfältig geachtet werden. Die durch den schwarzen Kunststoffnippel markierte Seite des Übertragers kennzeichnet die Sekundärwicklungen (L2, L4), während die gegenüberliegende Seite die Primärwicklung darstellt (L1, L3, L5).

Die Empfängerdiode wird an 2 ca. 15 mm lange Silberdrahtabschnitte gelötet, damit die Frontfläche (bestrahlungsempfindliche Fläche) nach erfolgtem Einbau ins Gehäuse direkt an der Linseninnenseite anliegt. Die Linse selbst wird von innen in das Gehäuseoberteil eingeklebt. Wesentliche Voraussetzung zum Erzielen einer hohen Reichweite ist die korrekte Positionierung von Linse und Empfängerdiode.



*Ansicht der fertig aufgebauten 1-Kanal-IR-Fernbedienung (Gehäuseoberteil abgenommen)*

Zusätzlich bietet die Linse an dieser Stelle den insgesamt sehr wichtigen Berührungsschutz, da sowohl an der Diode als auch an der gesamten übrigen Schaltung lebensgefährliche Spannungen anstehen.

Die Platinenlayouts sind so konzipiert, daß Empfänger- und Leistungsplatine gemeinsam in ein Steckergehäuse mit integrierter Schutzkontakt-Steckdose eingebaut werden können. Die Installation ist besonders einfach, da ein zu schaltender Verbraucher einfach in die Schuko-Steckdose der Anlage gesteckt wird. Der Triac Tic1 schaltet dann diese Steckdose.

Hierzu werden zunächst die Platinenanschlußpunkte „l“ und „m“ über 2 flexible isolierte Leitungen mit den beiden Polen des Schutzkontakt-Steckers verbunden. Außerdem wird an den Schutzkontakt-Stecker der Steckdose ebenfalls eine flexible isolierte Leitung angelötet, deren Länge ca. 10 cm beträgt. Sie wird anschließend an den Schutzkontakt der im Gehäuseoberteil integrierten Schutzkontakt-Steckdose angeschraubt. Diese und alle Netzspannung führenden Leitungen müssen einen Querschnitt von mindestens 0,75 mm<sup>2</sup> aufweisen.

Von den Platinenanschlußpunkten „n“ und „o“ gehen zwei flexible isolierte Leitungen mit einem Querschnitt von ebenfalls mindestens 0,75 mm<sup>2</sup> zu den beiden Polen der im Gehäuseoberteil integrierten Schuko-Steckdose.

Die drei Verbindungsleitungen zwischen Empfänger- und Leistungsplatine können mit etwas dünneren flexiblen isolierten Leitungen ausgeführt werden. Hierbei werden die Platinenanschlußpunkte „e“ mit „h“ (+ 8V), „i“ mit „f“ (Signalleitung) sowie „k“ mit „g“ (Schaltungsmasse) verbunden.

Anschließend werden die beiden Platinen mit 4 Schrauben M3 x 45 mm sowie Distanzröllchen mit einer Gesamtlänge von jeweils 35 mm in das Gehäuseunterteil gesetzt und verschraubt. Die Empfängerplatine sitzt hierbei oberhalb der Leistungsplatine.

Vor der endgültigen Inbetriebnahme ist der Abgleich sorgfältig durchzuführen.

Nachdem dies erfolgt ist und das Gehäuse ordnungsgemäß verschraubt wurde, steht dem Einsatz dieses interessanten Gerätes nichts mehr im Wege.

Abschließend weisen wir noch ausdrücklich darauf hin, daß die gesamte Schaltung des Empfänger- und Leistungsteils unter lebensgefährlicher Netzwechselspan-

nung steht. Nachbau und Inbetriebnahme sind daher ausschließlich Profis vorbehalten, die mit den entsprechenden Sicherheitsbestimmungen hinreichend vertraut sind.

### Abgleich und Inbetriebnahme

Nachdem die Bestückung nochmals sorgfältig kontrolliert wurde, nimmt man den IR-Sender und den IR-Empfänger (ohne den Leistungsteil) in Betrieb. Hierzu wird der Leistungsteil abgekoppelt und eine separate, stabilisierte 8 V-Gleichspannung aus einem getrennten Netzteil an die Platinenanschlußpunkte „e“ (+ 8V) sowie „g“ (Masse) angelegt. Der Sender wird auf Dauerbetrieb geschaltet, indem der Reset-Anschluß (Pin 12 des IC1) mit Masse verbunden wird. Hierzu besitzt die Senderplatine auf der Leiterbahnseite 3 kleine Leiterbahnflächen, die über einen Lötzinntröpfchen miteinander verbunden werden können. Zu beachten ist, daß jeweils nur eine der beiden Verbindungen hergestellt ist. Liegt der Reset-Anschluß auf Masse, arbeitet der Sender im Dauerbetrieb, während beim späteren Normal-Betrieb (Auslösung über Taster Ta1) der Reset-Anschluß mit dem Ausgang (Pin 3) des Gatters N3 verbunden wird. Für die Abgleichphase soll der Sender zunächst im Dauerbetrieb arbeiten. Aufgrund des dann ständig fließenden Stromes durch die Sende-Dioden erfolgt die Speisung unmittelbar aus der 9V-Blockbatterie und nicht gepuffert über C6.

Die Leistung wird daher durch den Vorwiderstand R6 automatisch auf rund 10% der späteren Impulsleistung begrenzt.

Die Sendedioden werden jetzt in einem Abstand von ca. 1 Meter auf die Empfängerdiode gerichtet, und der eigentliche Abgleichvorgang kann beginnen.

Am Emitter des Transistors T3 wird mit einem hochohmigen Voltmeter die Spannung gemessen (Meßbereichsendwert 0,2V oder 2V). Der Minus-Anschluß des Meßgerätes liegt hierbei, wie auch bei allen weiteren Messungen, an der Schaltungsmasse.

Durch langsames Verdrehen des Ferritkerns von Tr1 wird jetzt ein Spannungsmaximum gesucht. Anschließend wird der Kern von Tr2 ebenfalls so weit verdreht, bis sich die Spannung am Emitter von T3 nochmals erhöht und sich auf ihrem Maximalwert befindet.

Nun kann man die Einstellung von Tr1 und Tr2 nochmals durch wechselseitiges geringfügiges Verdrehen optimieren. Diese Einstellungen sind insgesamt unkritisch und daher einfach durchzuführen.

Als nächstes wird das Voltmeter an Pin 9 des IC 3 angeschlossen. Nun verdrehen wir den Kern von Tr3 so weit, bis sich an Pin 9 des IC 3 eine maximale Spannung einstellt. Sollte sich hier keine eindeutige Position ergeben, kann dies daran liegen, daß aufgrund des geringen Abstandes (1 Meter) der Zwischenfrequenzverstärker durch die Steuerspannung an Pin9 bereits weitgehend zurückgeregelt wurde. In diesem Fall ist der Abstand zwischen

Sender und Empfänger auf mehrere Meter zu vergrößern und die Einstellung von Tr 3 zu wiederholen, bis sich ein eindeutiges Spannungsmaximum durch Verdrehen des Ferritkerns erreichen läßt.

Damit ist der Abgleich bereits beendet, und der Sender kann wieder in seinen Tastbetriebszustand gebracht werden (Reset-Anschluß Pin 12 des IC 1 von Masse trennen und an Pin 3 des Gatters N 3 legen). die erstaunlich hohe Reichweite und große Störsicherheit dieses professionellen Fernbedienungssystems läßt sich selbstverständlich nur dann erreichen, wenn das System einwandfrei abgeglichen wurde. Die Einstellung der Übertrager Tr 1 bis Tr 3 sind daher besonders sorgfältig durchzuführen.

### Stückliste:

#### 1-Kanal IR-Fernbedienung

##### Halbleiter

IC 1	.....	CD 4060
IC 2	.....	CD 4011
IC 3	.....	TCA 440
IC 4	.....	TL 082
IC 5	.....	CD 4020
IC 6	.....	79 L 05
T 1	.....	BC 327
T 2-T 5	.....	BC 548
TIC 1	.....	TIC 216 D
D 1-D 3	.....	SFH 409
D 4	.....	BP 104
D 5, D 6	.....	1 N 4148
D 7, D 8	.....	1 N 4001
D 9	.....	ZD 15, 1,3 W
D 10	.....	ZPD 3,3

##### Kondensatoren

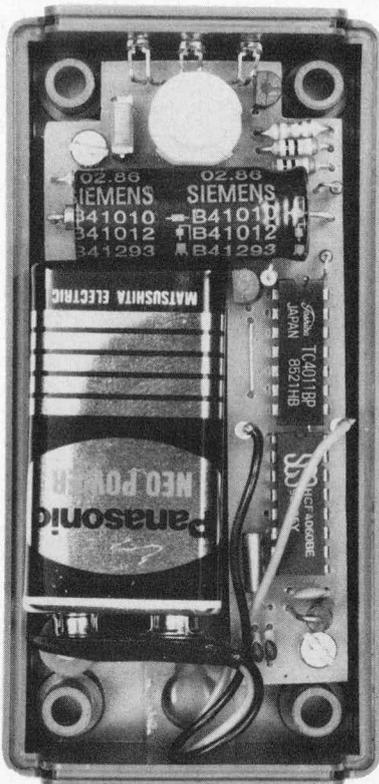
C 1, C 7, C 8, C 11	.....	10 $\mu$ F/16 V
C 2, C 3	.....	33 pF
C 4	.....	56 pF
C 5, C 13, C 18	.....	47 nF
C 6	.....	1000 $\mu$ F/16 V
C 9	.....	820 pF
C 10	.....	680 pF
C 12, C 14, C 24	.....	100 nF
C 15-C 17,	.....	10 $\mu$ F/16 V
C 19	.....	220 nF
C 20	.....	3,3 nF
C 21, C 22	.....	1 $\mu$ F/16 V
C 23, C 25, C 29	.....	10 $\mu$ F/16 V
C 26	.....	100 nF/630 V
C 27	.....	1 $\mu$ F/630 V
C 28	.....	470 $\mu$ F/16 V

##### Widerstände

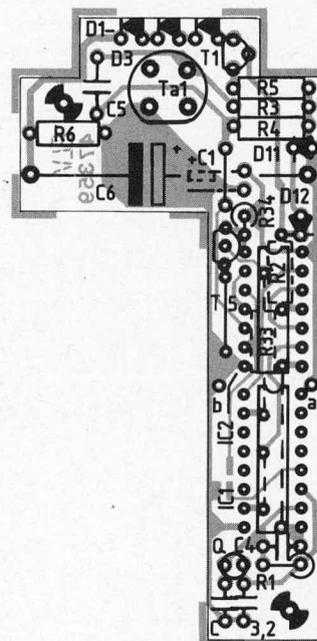
R 1	.....	20 M $\Omega$
R 2, R 31	.....	1 k $\Omega$
R 3, R 4, R 9, R 11-R 15	.....	100 k $\Omega$
R 5	.....	2,2 $\Omega$
R 6	.....	100 $\Omega$
R 7, R 8, R 10, R 16,	.....	10 k $\Omega$
R 17, R 22, R 32	.....	10 k $\Omega$
R 18	.....	220 k $\Omega$
R 19, R 20, R 23, R 24	.....	100 k $\Omega$
R 21	.....	1 M $\Omega$
R 25-R 30	.....	68 $\Omega$
R 33, R 34	.....	100 k $\Omega$

##### Sonstiges

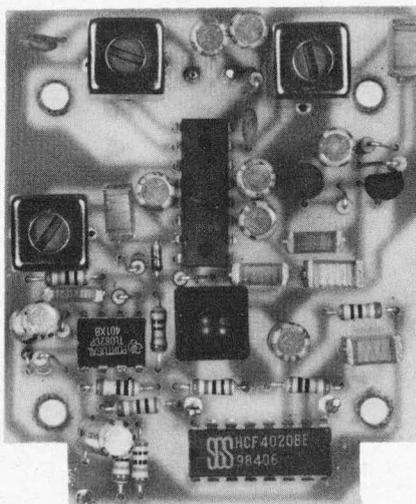
- 1 9 V Batterieclips
- 1 Quarz 32, 768 kHz
- L 1 ..... 51  $\mu$ H
- Ta 1 ..... D 6 Taster
- Ta 2 ..... Print-Taster, 20 mm
- TR 1-TR 3 ..... CEC D 377
- 1 Platinsicherungshalter
- 1 4 A Sicherung
- 11 Lötstifte
- 1 U-Kühlkörper SK 13
- 1 Schraube M 3 x 6
- 1 Schraube M 3 x 5
- 4 Schrauben M 3 x 45
- 1 Mutter M 3
- 4 Abstandsrollchen 30 mm
- 4 Abstandsrollchen 5 mm
- 1 IR-Sammellinse



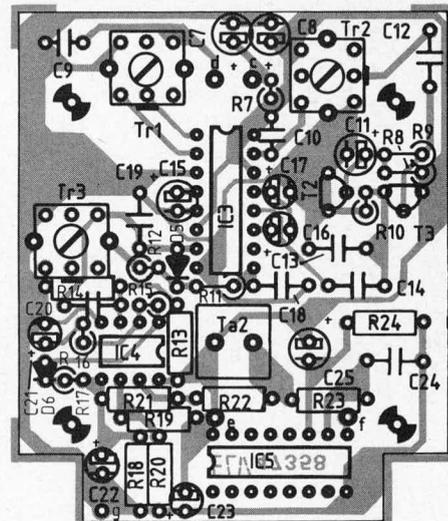
Ansicht des IR-Senders im Gehäuse (Gehäuse-oberteil abgenommen)



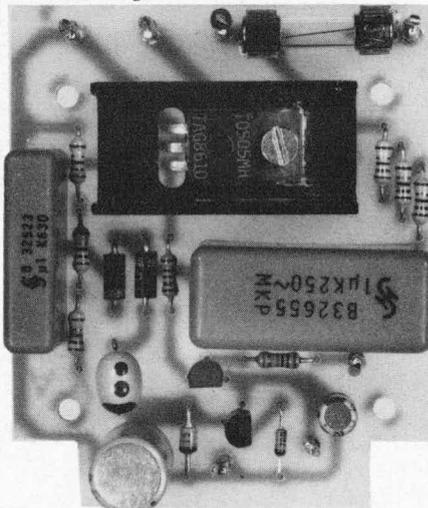
Bestückungsplan der Senderplatine der 1-Kanal-IR-Fernbedienung



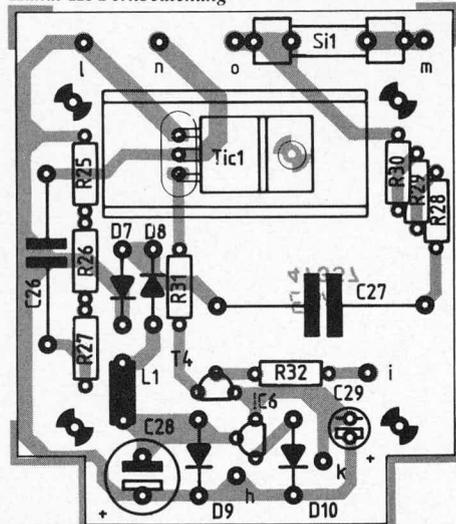
Ansicht der Empfängerplatine der 1-Kanal-IR-Fernbedienung



Bestückungsplan der Empfängerplatine der 1-Kanal-IR-Fernbedienung



Ansicht der Leistungsplatine der 1-Kanal-IR-Fernbedienung



Bestückungsplan der Leistungsplatine der 1-Kanal-IR-Fernbedienung

# 4,5stelliges Digital-Multimeter DMM 7001

Teil 1

Als eines der Spitzengeräte in der ELV-Serie 7000 stellen wir Ihnen das 4,5-stellige Digital-Multimeter des Typs DMM 7001 vor. Hierbei handelt es sich um eine konsequente Weiterentwicklung des 1983 erschienenen und inzwischen tausendfach bewährten DMM 7000. Nachfolgend die herausragenden Eigenschaften des neuen Gerätes in Kurzform:

- 4,5-stellige hell-leuchtende LED-Anzeige
- extrem ruhige und konstante Anzeige auch der letzten Stelle
- quartzesteuert und netzsynchronisierter, hochwertiger A/D-Wandler
- integrierte, hochkonstante Präzisions-Spannungsreferenz (20 ppm!)
- 29 Meßbereiche, u. a. 6 Strombereiche von 1 nA bis 20 A
- Toleranz des Vorteilers 0,05 % (!)
- hochwertiger AC/DC-Meßgleichrichter, wahlweise als arithmetischer Mittelwert- oder echter Effektivwert-Gleichrichter
- Hold-Funktion zur Meßwertspeicherung
- alle Bereiche (bis auf 20 A) überlastgeschützt



Ansicht des 4,5stelligen Digital-Multimeters

## Allgemeines

Die vorstehend kurz beschriebenen wesentlichen Merkmale des DMM 7001 lassen erkennen, um welches außergewöhnliche Meßgerät es sich hier handelt.

Weitere Merkmale, die das DMM 7001 besonders bedienungsfreundlich machen, sind automatische Polaritäts-, Dezimalpunkt- und Überlaufanzeige sowie die logische Gliederung der Frontplatte, u. a. mit farblich gekennzeichneten Drucktastern.

Hervorzuheben ist auch der klare übersichtliche Aufbau der Schaltung, nicht zuletzt in mechanischer Hinsicht. Auf eine durchkontaktierte Leiterplatte konnte trotz der vielfältigen Schalterstellungen verzichtet werden, ohne den Verdrahtungsaufwand unnötig zu erhöhen:

Mittels einer zusätzlichen kleinen Leiterplatte, die sich oberhalb des Tastensatzes befindet, wird derselbe Effekt, wie mit einer durchkontaktierten Leiterplatte erzielt. Auch der nicht so versierte Hobby-Elektroniker darf sich deshalb durchaus zutrauen, das DMM 7001 auf Anhieb fehlerfrei zu bauen — etwas Lötpraxis vorausgesetzt.

## Zur Schaltung

Das Gerät besitzt 3 Eingangsbuchsen. Bis auf den 20 A-Meßbereich, für den die Eingangsbuchsen „b“ und „c“ zuständig sind, werden für alle übrigen Messungen die Eingangsbuchsen „a“ und „b“ benutzt.

Über das 12-stufige Spezial-Tastenaggregat (S1 bis S12) werden je nach Meßart und Meßbereich entsprechende Funktionen sowie die benötigten Meßwiderstände eingeschaltet. R1 bis R9 stellen hierbei den Eingangsspannungsteiler für die Spannungs- und Strommeßbereiche dar, während R51 bis R55 die unterschiedlichen Ströme für die Widerstandsmeßbereiche festlegen.

Mit den links im Schaltbild zu sehenden Umschaltern S7e bis S11e werden die Spannungs- und mit S6d bis S11d sowie S12c werden die Strommeßbereiche umgeschaltet. Die Schalter selbst sind alle in unbetätigter Stellung eingezeichnet.

Bei Spannungsmessungen (V) gelangt das zwischen den Anschlußbuchsen „a“ und „b“ anliegende Meßsignal zunächst über die Sicherung Si1 und dann über S4d, S3a (betätigt, also entgegengesetzte Schaltposition), einen der Schalter S7e bis S11e sowie anschließend über S5d und S2d auf R36, der den Vorwiderstand zum Meßverstärkereingang darstellt.

Die Eingangsspannung des Meßverstärkers beträgt in allen Meßbereichen 0 bis  $\pm 200$  mV.

Gleichzeitig liegt das Meßsignal über R11 am Eingang des Wechselspannungs-Meßverstärkers an (OP1 mit Zusatzbeschaltung), dessen Ausgang entweder den Meßgleichrichter I (aufgebaut mit IC2 und Zusatzbeschaltung) oder den Meßverstärker II (aufgebaut mit den OPs 2 und 3 mit Zusatzbeschaltung) ansteuert. Wie bereits erwähnt, kann je nach individuellen Wünschen und Anforderungen einer der beiden Meßgleichrichter eingebaut werden. Mit S2d (AC/DC) kann von Gleichspannungs- auf Wechselspannungsmessung umgeschaltet werden. Dies gilt ebenfalls für Strommessungen, da auch hier der zu messende Strom über einen Parallelwiderstand in eine äquivalente Spannung umgewandelt wird (R3 bis R9). Auf die Meßgleichrichter selbst gehen wir im weiteren Verlauf dieses Artikels noch näher ein.

Bei den Strommessungen (S4 betätigt, also gilt die entgegengesetzte Schaltposition) gelangt der Meßstrom zunächst ebenfalls über die Sicherung Si1 und anschließend über S4d, je nach eingeschaltetem Strombereich über einen der

Schalter S6d bis S11d, um anschließend über die Meßwiderstände R3 bis R8 und die Massebuchse „b“ das Meßgerät wieder zu verlassen. Der gemessene Spannungsabfall wird an R3 abgegriffen und über S4b den Meßverstärkereingängen zugeführt (über R11 bzw. R36).

Eine Besonderheit bietet der 20 Ampere-Strommeßbereich. Hier ist der Strom so groß, daß er nicht mehr direkt über das Tastenaggregat umgeschaltet werden kann, so daß eine separate Eingangsbuchse hierfür zur Verfügung steht. Mit S12c wird der Spannungsabfall an diesem Widerstand weitergeleitet.

Die Widerstandsmessungen (S5 betätigt, also entgegengesetzte Schaltposition) erfolgen mit Hilfe von Konstantströmen, die über S5a sowie Si1 durch den zu messenden Widerstand geleitet werden, der an die Eingangsbuchsen „a“ und „b“ angeklemt ist.

Für die 5 Widerstandsmeßbereiche von 0-200  $\Omega$  bis hin zu 0-2 M $\Omega$  sind 5 hochpräzise Konstantströme von 1 mA (für 200  $\Omega$ -Bereich) bis 0,1  $\mu$ A (für 2 M $\Omega$ -Bereich) erforderlich. Diese werden mit den Schaltern S7b bis S11b umgeschaltet. In Verbindung mit OP5 und T1 sowie der entsprechenden Zusatzbeschaltung ist eine elektronische Präzisions-Konstantstromquelle aufgebaut, die aus einer Referenzspannung einen hochpräzisen Konstantstrom generiert. Die entsprechende Referenzspannung wird aus D15 in Verbindung mit R59 bis R62 erzeugt und über R58 dem invertierenden (-) Eingang (Pin 2) des OP5 zugeführt. Die an den Referenzwiderständen R51 bis R55 abfallende Vergleichsspannung wird dem zweiten (+) Eingang (Pin 3) des OP5 über R57 zugeführt. Am Source-Anschluß des FET's T1 steht dann der Konstantstrom zur Verfügung.

D13, D14 dienen in Verbindung mit dem PTC-Widerstand R49 dem Schutz

der Schaltung, so daß auch ein versehentliches Anlegen der 220 V-Netzwechselfspannung an den Ohmbereich keinen Schaden anrichten kann. Im Normalfall weist der PTC R 49 einen Innenwiderstand von ca. 2 kΩ auf, der sich ab einer bestimmten Strombelastung schlagartig soweit erhöht, daß dadurch die Schaltung weitgehend geschützt ist.

Die am auszumessenden Widerstand abfallende Spannung ist aufgrund des eingespeisten Konstantstromes direkt proportional zu dessen Widerstandswert, wobei die Meßspannung über S 4d und S 3a sowie R 36 auf den Eingang des Meßspannungsverstärkers OP 4 gelangt.

#### Der Analog-Digital-Wandler

Der zentrale Baustein zur A/D-Wandlung ist das IC 7 des Typs ICL 7135. Es beinhaltet alle wesentlichen Elemente, um eine Eingangsspannung, die zwischen den Pins 9 und 10 anliegt, in einen digitalen Wert umzuwandeln. Mit Hilfe des IC 8 (Segment-Dekodierer/Treiber) sowie der Transistoren T 2 bis T 8 erscheint ein, der Eingangsspannung direkt proportionaler digitaler Zahlenwert auf der 5-stelligen LED-Anzeige. Da der Meßbereichumfang ± 20 000 Digit umfaßt, bezeichnet man die Anzeige des Gesamtsystems als 4,5-stellig.

Die Referenzspannung wird mit dem hochkonstanten Präzisions-Referenzelement des Typs LM 385 (D 11) in Verbindung mit dem Vorwiderstand R 43 und dem zur Rauschunterdrückung dienenden Kondensator C 11 erzeugt.

Mit R 45 wird ein Teilbetrag dieser Referenzspannung abgegriffen und auf den positiven Referenzspannungseingang des IC 7 (Pin 2) gegeben.

Um einen Grundmeßbereich mit einer Empfindlichkeit von 200 mV (Meßbereichsendwert) zu erhalten, wurde ein hochwertiger Präzisions-Vorverstärker mit dem OP 4 mit Zusatzbeschaltung aufgebaut. Dieser Meßverstärker ist dem Analog-Eingang (Pin 9 und Pin 10) des IC 7 vorgeschaltet, da das IC des Typs ICL 7135 für einen Eingangsspannungsbereich von ± 2 V ausgelegt ist. Würde man die Referenzspannung an Pin 2 des IC 7 auf 100 mV reduzieren, so ergäbe sich ein Schwanken und Springen der letzten Stelle von typ. 5-9 Digit - d. h. die Anzeige wäre praktisch unbrauchbar. Zwar ist das Prinzip der Referenzspannungsreduzierung auf 100 mV bei den bekannten A/D-Wandlerbausteinen der Typen ICL 7106/07 durchaus gebräuchlich, jedoch muß man berücksichtigen, daß hierbei lediglich ein Anzeigenumfang von ± 2000 Digit zur Verfügung steht. Um beim ICL 7135 mit einem Meßbereichumfang von immerhin 20 000 Digit eine gute Qualität der Anzeigenergebnisse zu erhalten, ist in der hier vorliegenden Anwendung ein entsprechender Vorverstärker sinnvoll.

In der im ELV-Labor entwickelten Schaltung beträgt der Verstärkungsfaktor des vorgeschalteten Meßverstärkers

$$V = \frac{R_{40} + R_{41}}{R_{41}} = 11$$

so daß der Eingangsspannungsbereich des IC 7 sogar noch etwas über 2 V, nämlich bei 2,2 V liegt, um auf einen Gesamtmeßbereichumfang von ± 200 mV zu kommen.

Eine zu messende Eingangsspannung im Bereich zwischen ± 200,00 mV wird dem System über R 36 (auf Schaltungsmasse

bezogen) zugeführt, wobei eine Überlastsicherung von dauernd 100 V und kurzzeitig 250 V durch D 9 und D 10 vorgesehen ist.

Damit unerwünschte Frequenzeinstreuungen, besonders im 50- und 100 Hz-Bereich wirksam unterdrückt werden, besitzt die Schaltung einen quarzgesteuerten Taktoszillator, der mit dem IC 10 des Typs CD 4060 und Zusatzbeschaltung aufgebaut wurde. An Pin 5 des IC 10 steht eine Frequenz von 111,86 kHz zur Ablaufsteuerung des IC 7 zur Verfügung. Hierdurch ergibt sich eine Meßrate von 2,8 Messungen pro Sekunde.

Darüber hinaus besitzt die Schaltung als besonderes Feature eine zusätzliche Netzsynchrosynchronisation. Hierdurch wird eine wirkungsvolle Störunterdrückung erreicht, so daß Störungen, die in Verbindung mit der Netzwechselfspannung stehen, fast vollkommen ausgeblendet werden. Erreicht wird dies, indem die Ablaufsteuerung der Meßzyklen exakt phasenstarr mit der Netzwechselfspannung gekoppelt wird. Schaltungstechnisch wurde dies im ELV-Labor wie folgt gelöst:

Der Widerstand R 79 liegt direkt an der Sekundärwicklung des Netztransformators, der zur Versorgung der gesamten Schaltung dient.

Am Kollektor des Transistors T 9 steht dann ein 50 Hz-Rechtecksignal an, das mit Hilfe des Differenziergliedes C 20/R 83 Impulse auf den Eingang des Gatters N 3 (Pin 6) gibt. Wirksam können diese Impulse nur dann sein, wenn vorher der Speicher N 1/N 2 durch einen „low“-Impuls an Pin 1 gesetzt wurde, so daß an Pin 3 „high“-Potential liegt. Dieses Speichersetzen kann entweder im

Technische Daten des 4,5stelligigen Präzisions-Digital-LED-Multimeters DMM 7001

Funktion	Bereiche	Auflösung	Meßfehler (typ.)*	Überlastschutz
Gleichspannung	200 mV	10 μV	± (0,01 % v. Meßwert + 2 Digit)	300 V =/ 750 V <sub>ss</sub> ~
	2 V	100 μV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
	20 V	1 mV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
	200 V	10 mV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
	1000 V	100 mV	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
Wechselspannung	200 mV	10 μV	± (0,3 % v. Meßwert + 0,3 mV)	300 V =/ 750 V <sub>ss</sub> ~
	2 V	100 μV	± (0,3 % v. Meßwert + 3 mV)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
	20 V	1 mV	± (0,3 % v. Meßwert + 30 mV)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
	200 V	10 mV	± (0,3 % v. Meßwert + 0,3 V)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
Frequenzbereich: DC + 10 Hz bis 10 kHz	400 V	100 mV	± (0,3 % v. Meßwert + 3 V)	1200 V =/1200 V <sub>ss</sub> ~
Gleichstrom und Wechselstrom	20 μA	1 nA	± (0,05 % v. Meßwert + 2 Digit) für DC ± (0,3 % v. Meßwert + 0,15 % v. Endwert) für AC	Dioden und 2,5 A Schmelzsicherung
	200 μA	10 nA		
	2 mA	100 nA		
	20 mA	1 μA		
	200 mA	10 μA		
2000 mA	100 μA			
Frequenzbereich: DC + 10 Hz bis 10 kHz	20 A	1 mA	± (0,1 % v. Meßwert + 2 Digit) für DC ± (0,3 % v. Meßwert + 0,03 A) für AC	entfällt
Widerstand	200 Ω	10 mΩ	± (0,05 % v. Meßwert + 0,05 Ω)	300 V =/750 V <sub>ss</sub> ~
	2 kΩ	100 mΩ	± (0,05 % v. Meßwert + 0,02 % v. Endwert)	
	20 kΩ	1 Ω		
	200 kΩ	10 mΩ		
	2000 kΩ	100 Ω		

\* bei Einsatz der Präzisions-Meßwiderstands-Teilerkette mit einer Toleranz von 0,05 % und echtem Effektivwert-Meßgleichrichter  
bei Einsatz des arithmetischen Mittelwert-Meßgleichrichters erhöht sich die Grundtoleranz in den AC-Bereichen von 0,3 % auf 0,5 %

Einschaltmoment über R 82, C 21, D 38 oder im Betriebsfall über Pin 26 des IC 7 und R 84 erfolgen.

Ein „high“-Impuls an Pin 6 des Gatters N 3 hat zur Folge, daß am Ausgang des Gatters N 4 (Pin 10) ebenfalls ein definierter „high“-Impuls ansteht, der über den Schalter S 1b auf Pin 25 des IC 7 gelangt. Hierdurch wird am IC 7 der Meßzyklus gestartet. Über R 85, C 22 wird der Speicher N 1/N 2 wieder zurückgesetzt, damit weitere Impulse an Pin 6 von N 3 wirkungslos bleiben. Wenige Millisekunden nach Beendigung eines kompletten Meßzyklus des IC 7 erscheinen an Pin 26 (IC 7) mehrere „low“-Impulse, die über R 84 auf den Eingang (Pin 1) des Speichers N 1/N 2 wirken, wodurch über Pin 3 das Gatter N 3 (Pin 5) wieder freigegeben wird.

Der nächste, über die Netzwechsellspannung synchronisierte Impuls am Kollektor von T 9 löst über C 20/R 83 am Eingang (Pin 6) des Gatters N 3 einen weiteren „high“-Impuls aus, der wiederum an Pin 25 (IC 7) einen neuen Meßzyklus in Gang setzt. Mit Hilfe von D 39 erreicht man einen gut definierten Steuerimpuls mit voller Amplitudenhöhe.

Durch vorstehend beschriebene Schaltungstechnik wird eine phasenstarre Kopplung der Meßzyklen des A/D-Wandlersystems erreicht, mit einer wirkungsvollen Störunterdrückung.

Mit dem Schalter S 1b ist zusätzlich die Speicherung eines Meßwertes möglich. Wird diese von der Frontplatte aus zu bedienende Taste betätigt, liegt Pin 25 des IC 7 auf Schaltungsmasse und der soeben angezeigte Meßwert bleibt auf der Anzeige gespeichert (Hold-Funktion).

### Die Meßgleichrichter

Bei Messungen von Wechsel- und Mischspannungen (Gleichspannungen mit Wechselspannungsanteil) kommen die beiden hochwertigen Meßgleichrichter zum Einsatz, von denen je nach Anforderung selbstverständlich nur einer eingebaut wird. Das Leiterplattenlayout ist von vornherein für beide Versionen ausgelegt.

OP 1 stellt mit seiner Zusatzbeschaltung eine Vorstufe zur Pufferung und Meßwertanpassung dar, die für beide Meßgleichrichterversionen erforderlich ist.

Meßgleichrichter I ist ein echter Effektivwert-Gleichrichter, der im wesentlichen aus dem integrierten AC/DC-Wandler des Typs AD 636 (IC 2) besteht, mit nur wenigen zusätzlichen externen Bauelementen. Dieses IC setzt eine am Eingang (Pin 4) anliegende Spannung mit nahezu beliebiger Kurvenform in eine äquivalente Ausgangsgleichspannung (Pin 8) um, die dem echten Effektivwert der Eingangsspannung entspricht.

Beim Einsatz des Meßgleichrichters I dient OP 1 lediglich zur Pufferung der Eingangsspannung, bei einer Verstärkung von 0 dB (1fach). Aus diesem Grund entfallen die Bauelemente R 12, R 13, R 17 sowie C 1 ersatzlos.

Wird der Meßgleichrichter II eingebaut, so ist die gesamte Zusatzbeschaltung des

OP 1 erforderlich. Bei Gleichspannungen, die auch verarbeitet werden können, wird die Verstärkung des OP 1 mit den Widerständen R 16/R 17 (2fach) festgelegt, da der Parallelzweig mit den Widerständen R 12/R 13 durch den Kondensator C 1 unterbrochen ist.

Sobald die über den OP 1 verstärkte Frequenz 10 Hz und mehr beträgt, stellt C 1 praktisch einen Kurzschluß für diese Frequenzen bei der vorliegenden Dimensionierung dar, wodurch sich der Verstärkungsfaktor dieser Stufe soweit erhöht, daß die Differenz zwischen arithmetischem Mittelwert und echtem Effektivwert exakt ausgeglichen wird. Am Ausgang des OP 1 (Pin 6) steht nun ein Signal zur Verfügung, das direkt von Meßgleichrichter II verarbeitet werden kann, und zwar so, daß an dessen Ausgang (Pin 6 des OP 3) eine, dem Effektivwert entsprechende Gleichspannung abgenommen werden kann.

Die Trimmer R 15, R 21, R 26 sowie R 35 dienen der Offset-Korrektur (Nullpunkt-einstellung), während der Spindeltrimmer R 18 im Meßgleichrichter I bzw. R 32 im Meßgleichrichter II zur Feineinstellung des Skalenfaktors dient.

Der genaue Abgleich, der verhältnismäßig einfach durchzuführen ist, wird im weiteren Verlauf dieses Artikels noch eingehend beschrieben.

Gleichwohl für welchen der beiden Meßgleichrichter man sich entscheidet, in jedem Fall wird nur einer der beiden in der gestrichelten Umrandung befindlichen Schaltungsteile eingebaut. Die jeweils in der anderen Umrandung eingezeichneten Bauelemente müssen unbedingt ersatzlos entfallen.

Abschließend soll nicht unerwähnt bleiben, daß beide Meßgleichrichter sowohl für Wechselspannungs-, Mischspannungs- als auch für Gleichspannungsmessungen geeignet sind. Um eine ruhige Anzeige zu gewährleisten und den Meßfehler klein zu halten, sollte die Frequenz der Wechselspannungen bzw. eines evtl. Wechsel-

spannungsanteils mindestens 20 Hz betragen. Die volle Genauigkeit wird im Bereich von 40 Hz bis 10 kHz erreicht (bei geringen Genauigkeitsabstrichen bis 15 kHz).

### Die Meßbereichsanzeige

Über insgesamt 11 Leuchtdioden erfolgt eine automatische Anzeige des gewählten Meßbereiches und der Meßart. Dies wird auf einfache Weise dadurch realisiert, indem die entsprechenden, zur Ansteuerung der LEDs dienenden Schaltkontakte, mechanisch, unter Verwendung einer zusätzlichen elektronischen Dekodierung, mit den entsprechenden Meßbereichsumschaltkontakten gekoppelt sind. Die genaue Verschaltung ist im rechten Schaltbildabschnitt zu sehen.

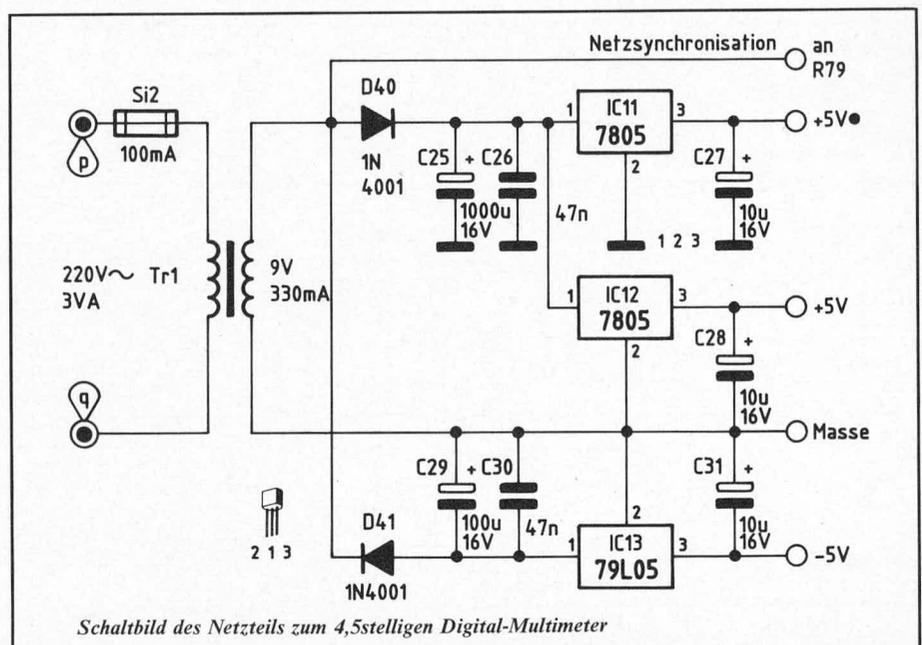
### Die Stromversorgung

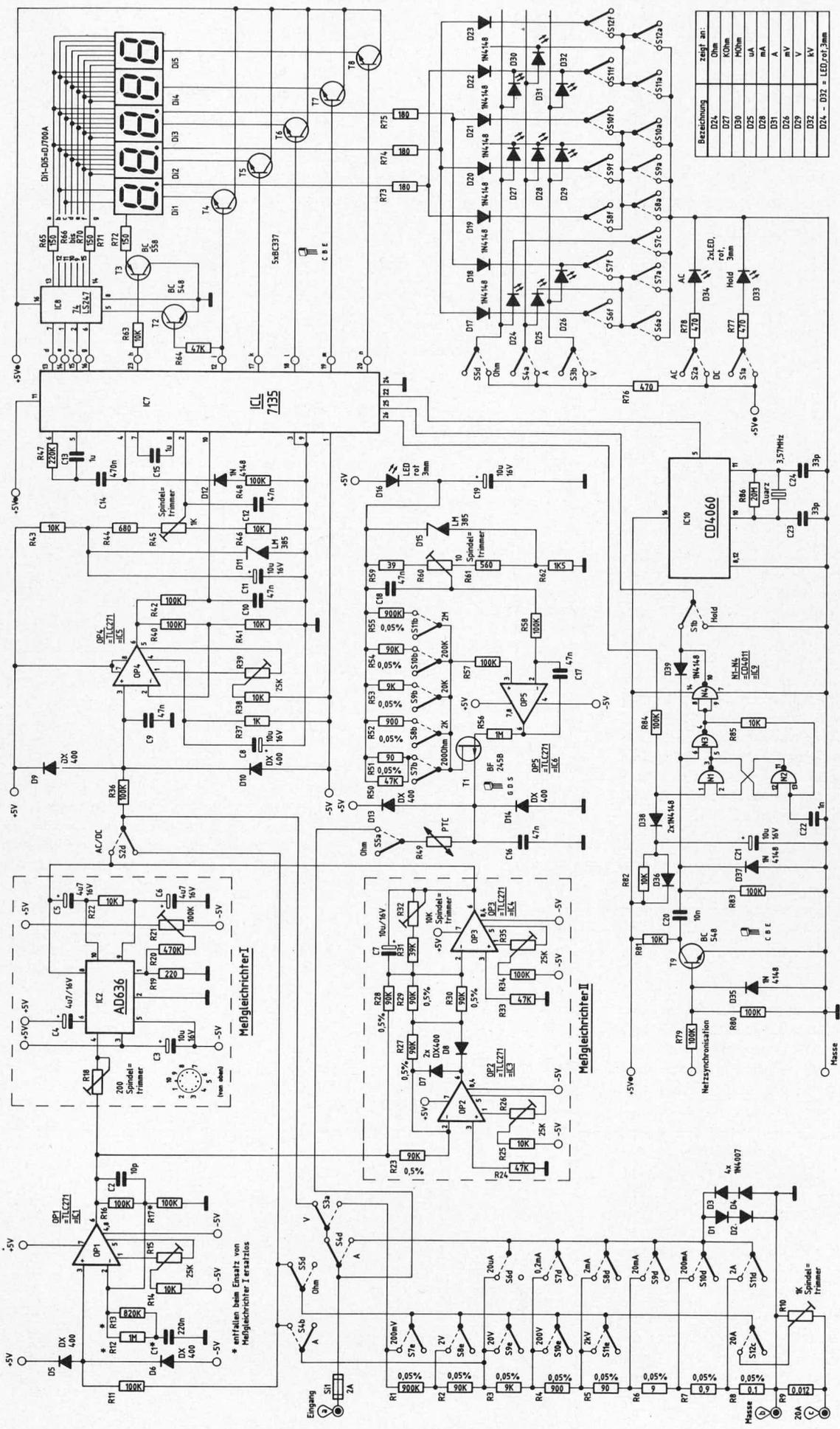
Zur Speisung der gesamten Schaltung genügt ein kleiner Printtrafo mit einer Leistung von 3 VA (Tr 1). Seine 9 V Wicklung liefert einen maximalen Strom von 330 mA, der für unseren Anwendungsfall mehr als ausreichend ist. Über eine doppelte Einweggleichrichtung mit anschließender Siebung (D 40, C 25 sowie D 41, C 29) werden daraus die positive und die negative Gleichspannung gewonnen.

Mit Hilfe der beiden Festspannungsregler IC 11 und IC 12 werden daraus 2 stabilisierte 5 V Spannungen und mit IC 13 eine negative 5 V Spannung erzeugt.

Für die positive Versorgung wurden zwei getrennte Spannungsregler eingesetzt, damit evtl. Störungen vom Digitalteil der Schaltung, wie z. B. auch der stromintensiven LED-Anzeige, keinen Einfluß auf den Analogteil ausüben können, so daß auch in diesem Bereich die Voraussetzungen für eine ruhige und konstante Anzeige, auch der letzten Digitalstelle, gegeben sind.

Im zweiten, abschließenden Teil dieses Artikels stellen wir Ihnen die Platinenlayouts und die Beschreibung von Nachbau und Abgleich vor.



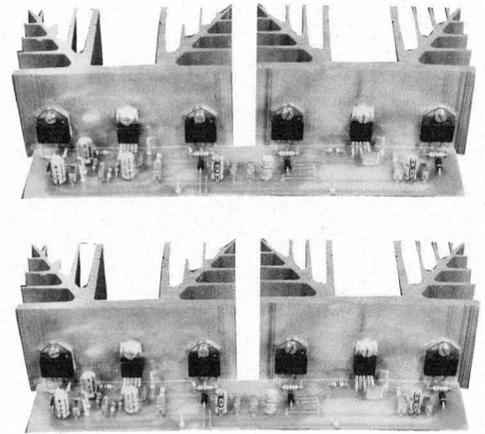


Bezeichnung	zeigt an:
D24	Ohm
D27	KOhm
D30	MOhm
D25	uA
D28	mA
D31	A
D26	mV
D29	V
D32	kV

Schaltbild des 4,5stelligen Digital-Multimeters DMM 7001

# 400 Watt-HiFi-Stereo-Power-Verstärker

*Große Spitzenleistung und ausgereifte Technik zeichnen diesen Power-Verstärker aus, dessen Nachbau ohne komplizierte Einstellarbeiten leicht möglich ist.*



## Allgemeines

Der Spitze-Spitze-Spannungswert  $U_{ss}$ , der an einem Lastwiderstand von  $4 \Omega$  bei einer Leistung von 200 Watt ansteht, beträgt 80 Volt. Rechnet man noch einen zusätzlichen Spannungsabfall an den Endstufentransistoren hinzu, muß die Versorgungsspannung eines entsprechenden 200 Watt Leistungsverstärkers mindestens 85 V betragen — und zwar unter voller Belastung. Der Spitzenstrom im Scheitelwert der Sinuskurve liegt bei 10 A, d. h. im Stereobetrieb mit 2 Endstufen fließen immerhin 20 A.

Begnügt man sich mit einer effektiven Dauerleistung von  $2 \times 150 \text{ W} = 300 \text{ W}$ , so muß die Leistung des anzusteuernenden Transformators unter Berücksichtigung eines mittleren Verstärker-Wirkungsgrades von 60 % immerhin bei mindestens 500 VA liegen. Ringkerntrafos bieten sich hierfür besonders an, da sie einen sehr niedrigen Innenwiderstand besitzen und daher in vielen Fällen auf eine zusätzliche elektronische Spannungsstabilisierung verzichtet werden kann. Setzt man andere Transformatoren mit weniger „steifer“ Spannungskenlinie ein und nimmt nach der Brückengleichrichtung und Siebung eine zusätzliche Stabilisierung vor, so erfordert dies eine zusätzliche, vom Trafo bereitzustellende Leistung, die für vorliegenden Anwendungsfall dann bei mindestens 600 VA liegen sollte. Vorstehend ausgeführte grundlegende Tatsachen werden häufig bei der Konzeption von Verstärkeranlagen, besonders in der unteren Preisklasse, vergessen. Die DIN-Norm besagt, daß ein Leistungsverstärker die

angegebene Sinus-Dauer-Ausgangsleistung für mindestens 10 Minuten in voller Höhe bereitstellen muß. Seriöse Hersteller halten sich selbstverständlich an diese Angaben. Nicht zuletzt deshalb sind Leistungsverstärker, die sich im oberen Leistungsbereich bewegen und deren Daten auch zuverlässig sind, vom Preisniveau etwas höher angesiedelt.

Da viele Hobby-Akustiker und Musiker sich größere Leistungen wünschen, haben die Ingenieure des ELV-Teams nach einem Optimum zwischen Preis und Leistung gesucht. Heraus kam ein erstaunlich einfach zu erstellendes Verstärkerkonzept, dessen beeindruckende Daten in Tabelle I aufgeführt sind. Durch den Einsatz von Brückenverstärkern konnte die Versorgungsspannung auf den halben Wert reduziert werden. Dies bedeutet allerdings, daß für einen Verstärker zwei in Brücke geschaltete Endstufen erforderlich sind — für den Stereobetrieb also 4 Endstufen. Für eine Dauerleistung von  $2 \times 150 \text{ W}$  und eine Spitzenleistung von  $2 \times 200 \text{ W}$  reicht somit eine Versorgungsspannung von rund  $40 \text{ V} (\pm 20 \text{ V})$  aus, um diese Daten zuverlässig zu erreichen.

Das vorgesehene Netzteil mit einem Ringkerntrafo von 500 VA liefert im Leerlauf eine Spannung von ca. 42 bis 44 V und unter Last ca. 40 V. Die maximale Spannung an den eingesetzten Treiber-ICs darf auch im Leerlauf 44 V nicht überschreiten.

## Zur Schaltung

Kernstück der Schaltung sind die beiden integrierten Leistungsverstärker-ICs I und

Tabelle I: Technische Daten (typ.)

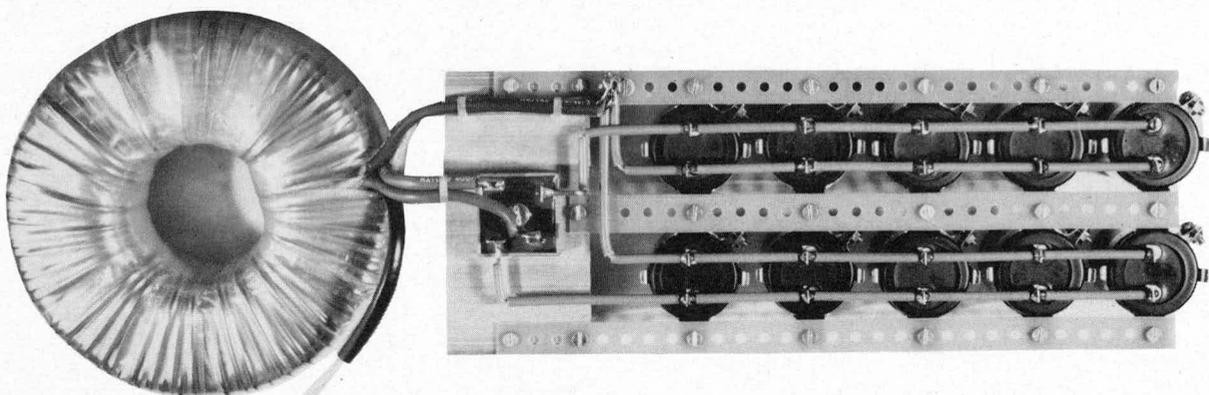
(Daten 1 Mono-Endstufe bei  $U_B = \pm 22 \text{ V}$ )

Sinus-Dauerleistung an $4 \Omega$ :	..... 150 W
Spitzenleistung an $4 \Omega$ :	..... 200 W
Bandbreite (-3 dB):	... 10 Hz bis 50 kHz
Leistungsbandbreite:	... 5 Hz bis 100 kHz
Klirrfaktor bei 20 W/1 kHz:	..... 0,22 %
Klirrfaktor bei 100 W/1 kHz:	..... 0,23 %
Klirrfaktor bei 130 W/1 kHz:	..... 0,36 %
Wirkungsgrad bei 150 W:	..... 60 %
Eingangsempfindlichkeit:	..... 500 mV <sub>eff</sub>
Eingangsimpedanz:	..... 22 k $\Omega$

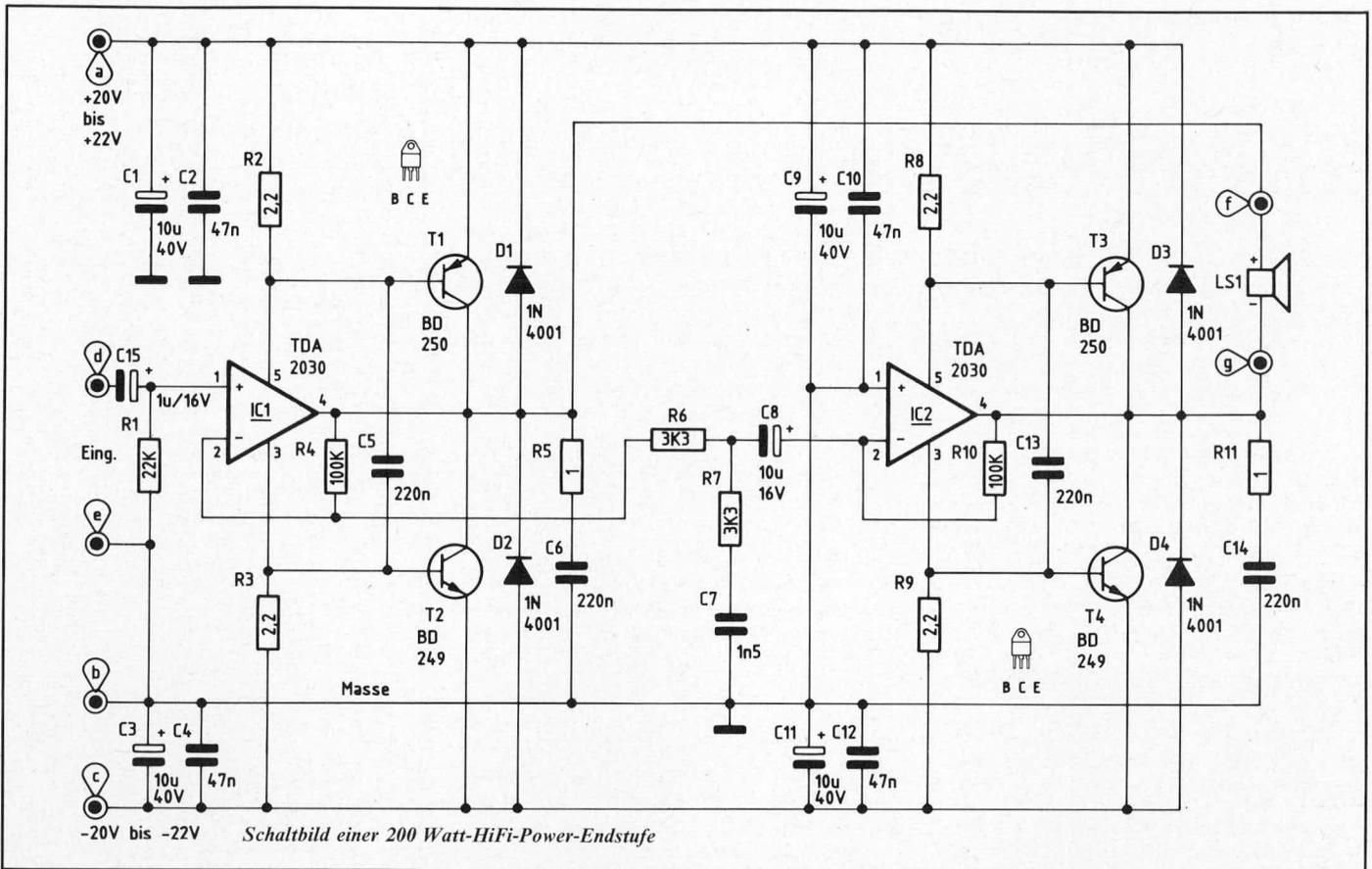
2 des Typs TDA 2030 der Firma TELEFUNKEN electronic. Alle wesentlichen aktiven Funktionseinheiten zum Aufbau eines NF-Verstärkers sind in diesen ICs integriert.

Zur Erzielung des erforderlichen Ausgangsstromes sind jedem IC 2 Leistungs-transistoren nachgeschaltet, deren Arbeitsweise genauso einfach wie wirkungsvoll ist. Anhand der linken Brückenhälfte einer Endstufe (aufgebaut mit IC 1 und Zusatzbeschaltung) wollen wir die Funktion beschreiben:

Solange der Ausgangsstrom des IC 1 kleiner als 0,3 A ist, fällt über den Widerständen R2 (positive Halbwelle) bzw. R3 (negative Halbwelle) eine Spannung ab, die unterhalb der zur Ansteuerung von T1 und T2 erforderlichen Basis-Emitter-Spannung liegt ( $U = R \times I = 2,2 \Omega \times 0,3 \text{ A} = 0,66 \text{ V}$ ). Hierzu muß man wissen, daß der aus dem Anschluß 4



Ansicht des betriebsfertigen 500 VA-Leistungsnetzteils zur Versorgung von 2 x 200 Watt Verstärkern (vor dem Einbau ins Gehäuse)



Schaltbild einer 200 Watt-HiFi-Power-Endstufe

(Ausgang) herausfließende Strom je nach Polarität entweder durch R 2 (Pin 5) oder aber durch R 3 (Pin 3) fließen muß. In diesem Bereich arbeitet das IC 1 also ohne die Hilfe von T 1 und T 2. Sobald die Ausgangsspannung und damit der Ausgangsstrom größere Werte annehmen, steigt der Spannungsabfall an R 2 bzw. R 3 entsprechend an, so daß ein Teilstrom über die Basis von T 1 oder T 2 fließen kann. Je nachdem, ob es sich um die positive oder die negative Halbwelle einer Sinuskurve handelt, steuert dann entweder T 1 oder T 2 der Kurvenform entsprechend durch und unterstützt somit die Aufgabe des IC 1. Je größer der erforderliche Ausgangsstrom, desto höher wird der von den Transistoren beigesteuerte Anteil am Ausgangssignal.

Die Verstärkung wird über das Widerstandsverhältnis R 4/R 6 festgelegt, während die Verstärkung des IC 2 um 180 Grad phasenverschoben über das Widerstandsverhältnis R 10/R 6 bestimmt wird. C 8 dient zur gleichspannungsmäßigen Entkopplung.

Die Kondensatoren C 1 bis C 5 sowie C 9 bis C 13 dienen der Schwingneigungsunterdrückung, ebenso wie die R/C-Glieder R 5/C 6, R 7/C 7, R 11/C 14.

D 1 bis D 4 besitzen Schutzfunktionen im Hinblick auf Überspannungsspitzen, die vom Ausgang eingepreßt werden.

Ein wesentlicher Vorteil des hier verwendeten Brückenverstärker-Konzeptes liegt darin, daß der Laststromkreis von negativen Einflüssen des Versorgungsstromkreises gut entkoppelt ist, da jeder Brückenast seine eigene Störunterdrückung besitzt. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß die angeschlossene Bela-

stung (Lautsprecher) direkt zwischen die beiden Brückenhälften geschaltet wird und somit keine Störungen auf die Schaltungsmasse geben kann. Besonders hervorzuheben ist darüber hinaus, daß kein Ausgangselko erforderlich ist, so daß ohne Probleme auch sehr niedrige Frequenzen bei voller Ausgangsleistung übertragen werden können.

### Das Netzteil

Eine wesentliche Voraussetzung zur Erzielung der gewünschten Ausgangsleistung ist die ausreichende Dimensionierung des Netzteils. Wir haben uns für einen Ringkern-Transformator entschieden, der sich u. a. durch einen sehr geringen Innenwiderstand auszeichnet.

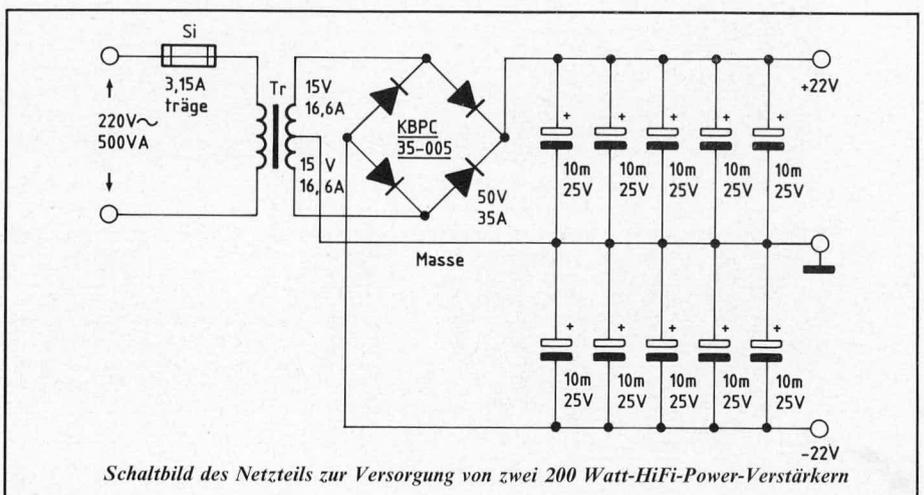
Ein nachgeschalteter Brückengleichrichter (50 V/35 A) speist daraus die Ladekondensatoren, die mit insgesamt 10 x 10 000  $\mu$ F reichlich dimensioniert sind.

Jeweils 50 000  $\mu$ F dienen zur Pufferung der positiven und weitere 50 000  $\mu$ F zur Pufferung der negativen Betriebsspannung. Hierdurch wird eine gute Glättung der Ausgangsspannung auch unter voller Belastung erreicht, so daß auf eine weitere Stabilisierung verzichtet werden kann — insgesamt also ein Konzept mit gutem Wirkungsgrad.

Beim Brückengleichrichter ist für ausreichende Kühlung zu sorgen. Hierzu dient z. B. ein Kühlkörper des Typs SK 88 oder auch eine entsprechende wärmeableitende Fläche eines Metallchassis.

### Zum Nachbau

Anhand des Bestückungsplanes werden zunächst die Widerstände, dann die Dioden und anschließend die Lötstifte, Folienkondensatoren und Elkos in gewohnter Weise auf die Platine gesetzt und verlötet.



Schaltbild des Netzteils zur Versorgung von zwei 200 Watt-HiFi-Power-Verstärkern

Als letztes werden die beiden ICs 1 und 2 mit ihren 5 Anschlußbeinchen sowie die Transistoren T1 bis T4 eingelötet.

Die genaue Positionierung muß so erfolgen, daß diese Bauteile anschließend ohne mechanische Verspannungen an die erforderlichen Leistungskühlkörper geschraubt werden können.

In die Kühlkörper werden an den erforderlichen Stellen 3 Bohrungen mit einem Durchmesser von jeweils 4 mm eingebracht. Die ICs 1 und 2 sowie die Transistoren T1 bis T4 werden anschließend über Glimmerscheiben, Isoliernippel sowie Schrauben und Muttern befestigt.

Da ein guter Wärmeübergang zwischen Halbleitern und Kühlkörper wesentliche Voraussetzung für einwandfreie Funktion ist, empfiehlt es sich, etwas Wärmeleitpaste zwischen Halbleiter, Glimmerscheibe und Kühlkörper einzufügen. Hierbei reichen jedoch sehr kleine Mengen aus, um eine hohe Effektivität zu erzielen.

Vor der endgültigen Inbetriebnahme prüft man mit Hilfe eines Ohmmeters die einwandfreie Isolation zwischen dem Metallgehäuse der ICs, den Transistoren und dem Kühlkörper.

Die Inbetriebnahme selbst erfolgt sicherheitshalber nicht direkt aus dem leistungsstarken Netzteil, sondern über ein regelbares Doppelnetzteil oder 2 in Reihe geschaltete Einzelnetzteile, deren Spannung langsam von 0 V (bzw.  $\pm 5$  V) beginnend bis zur maximalen Spannung hochgefahren wird. Die positive und negative Versorgungsspannung sollte hierbei zu jedem Zeitpunkt ungefähr gleich

sein. Im Ruhezustand, d. h. ohne Eingangssignal, liegt der Ruhestrom bei rund 100 mA (50 mA bis 150 mA bei  $\pm 20$  V).

Bevor das Leistungsnetzteil eingeschaltet wird, vergewissert man sich nochmals sorgfältig, daß die Polarität des Brückengleichrichters und die Polarität der angeschlossenen Elkos korrekt ist. Ohne einwandfrei dimensionierte vorgeschaltete Sicherung darf dieses Netzteil niemals in Betrieb genommen werden, da im Störfall extrem hohe Ströme fließen könnten, mit entsprechenden Folgen. Wer schon einmal einen kleinen 10  $\mu$ F Elko hat explodieren sehen, mag sich vorstellen, welche Auswirkungen es haben kann, wenn ein 10 000  $\mu$ F Elko bei falscher Polarität mit maximalem Strom beaufschlagt wird.

Aufgrund der großen Leistung des Netzteils ist es jedoch normal, wenn bei entladenen Elkos im Einschaltmoment das Licht etwas flackert. Wenn dies stört, der greife zur „Einschaltoptimierung für Großverbraucher“, die im ELV journal Nr. 45 beschrieben wurde.

Die Leiterbahnen zwischen den Einspeisungspunkten der Versorgungsspannung und den Kollektor- bzw. Emitteranschlüssen der Endstufentransistoren sowie die Leiterbahnen von den Lautsprecher-Ausgangspunkten zu den Endstufentransistoren sollten reichlich verzinkt werden. Noch besser ist es, wenn diese Leiterbahnen mit Kupferdrähten, deren Querschnitt mindestens 0,75 mm<sup>2</sup> betragen sollte, verstärkt werden. Hierdurch wird der Wirkungsgrad aufgrund des herabgesetzten Innenwiderstandes weiter erhöht.

### Stückliste: 400 Watt-HiFi-Stereo- Power-Verstärker Halbleiter

IC 1, IC 2	.....	TDA 2030
T 1, T 3	.....	BD 250
T 2, T 4	.....	BD 249
D 1-D 4	.....	1 N 4001

### Kondensatoren

C 1, C 3, C 9, C 11	.....	10 $\mu$ F/40 V
C 2, C 4, C 10, C 12	.....	47 nF
C 5, C 6, C 13, C 14	.....	220 nF
C 7	.....	1,5 nF
C 8	.....	10 $\mu$ F/16 V
C 15	.....	1 $\mu$ F/16 V

### Widerstände

R 1	.....	22 k $\Omega$
R 4, R 10	.....	100 k $\Omega$
R 2, R 3, R 8, R 9	.....	2,2 $\Omega$
R 5, R 11	.....	1 $\Omega$
R 6, R 7	.....	3,3 k $\Omega$

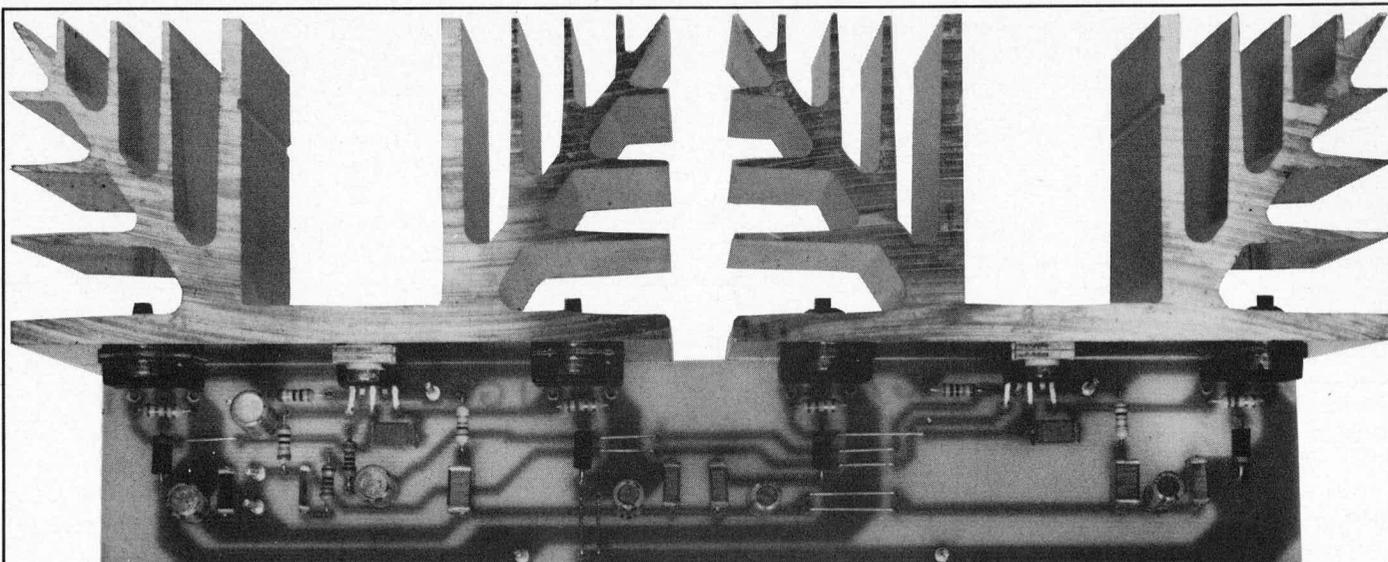
### Sonstiges

- 7 Lötstifte
- 20 cm Silberdraht
- 6 Isoliernippel
- 6 Schrauben M 3 x 16
- 6 Muttern M 3
- 4 Glimmerscheiben TO 3 P
- 2 Glimmerscheiben TO 220
- 2 Kühlkörper SK 88

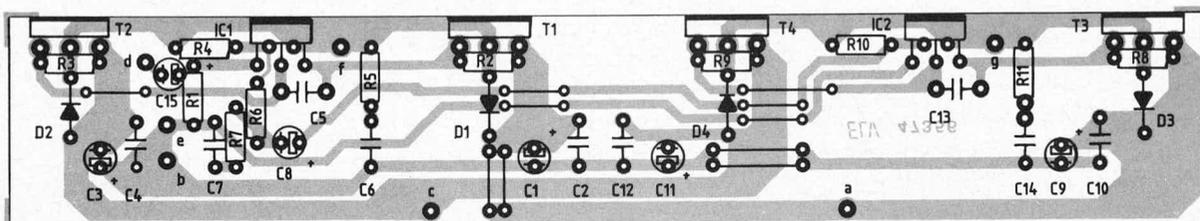
### Netzteil

- 1 Ringkerntrafo: prim.: 220 V/500 VA  
sek.: 2 x 15 V/16,6 A

- 10 10 nF/25 V
- 1 Brückengleichrichter KBPC 35-005
- 1 Sicherung 3,15 träge
- 1 Einbausicherungshalter



Ansicht einer fertig aufgebauten 200 Watt-HiFi-Power-Endstufe (vor dem Einbau ins Gehäuse)



Bestückungsplan der Verstärkerplatine einer 200 Watt-HiFi-Power-Endstufe

# Digitaler Energiezähler

*Ähnlich wie ein Haushalts-Energiezähler arbeitet auch dieser von ELV entwickelte elektronische Energiezähler. Der kumulierte Leistungsverbrauch wird auf einem 4-stelligen LC-Display angezeigt und gespeichert.*

*Darüber hinaus bietet das Gerät die Möglichkeit der direkten Verbrauchsanzeige im Bereich von 0 bis 2500 Watt mit einer Auflösung von 1 Watt.*

## Allgemeines

Speziell für die Überwachung des Energieverbrauchs sowie der Leistungsaufnahme von Verbrauchern, die an das 220-V-Netz anzuschließen sind, wurde im ELV-Labor ein digitaler Energiezähler entwickelt, der mit seinen 4 Meßbereichen nahezu alle im Haushaltsbereich vorkommenden Geräte überwachen kann. Die Anzeige erfolgt direkt in kWh, genau wie dies von den Haushalts-Energiezählern bekannt ist. Auf diese Weise läßt sich der tatsächliche Verbrauch von Kühlschränken, Gefriertruhen, Fernsehgeräten, Haus- und Gartenbeleuchtung usw. genauestens ermitteln.

Ein fünfter Meßbereich bietet die Möglichkeit der direkten Anzeige des Momentanwertes in Watt, und zwar im Bereich von 0 bis 2500 W mit einer Auflösung von 1 W, ähnlich wie dies der im ELV journal Nr. 32 vorgestellte „ELV Kompakt-Leistungsmesser“ vornimmt.

Die gesamte Schaltung findet in einem Steckergehäuse mit integrierter Schuko-Steckdose Platz. Durch die kompakte Bauform ist das Gerät leicht in der Handhabung und wird einfach zwischen die Netzsteckdose und den anzuschließenden Verbraucher eingefügt. Die Anzeige erfolgt über ein großes und gut ablesbares 4-stelliges LC-Display.

## Zur Schaltung

Die 220 V Netzwechselspannung, die zur Speisung des zu überwachenden angeschlossenen Verbrauchers sowie der Schaltung dient, liegt an den Schaltungspunkten „a“ und „b“. Der Strom fließt zunächst über die Sicherung Si 1, dann durch den Verbraucher und anschließend über die Shunt-Widerstände R 1, R 2 zum Schaltungspunkt „b“ ab.

Zur Leistungsmessung muß der Momentanwert des Stromes, der durch den Verbraucher hindurchfließt, mit dem Momentanwert der Spannung, die an dem Verbraucher abfällt, multipliziert werden.

In unserer Schaltung wird die Multiplikation mit dem integrierten Analog-Multiplizierer IC 4 des Typs ICL 8013 vorgenommen.

Die am zu überwachenden Verbraucher

abfallende Spannung wird über die Vorwiderstände R 4 bis R 7 heruntergeteilt und auf den ersten Multiplikationseingang (Pin 6) des IC 4 gegeben.

Der durch den Verbraucher hindurchfließende Strom erzeugt an den Shunt-Widerständen R 1, R 2 einen direkt proportionalen, wenn auch sehr kleinen Spannungsabfall, der über R 3 auf den invertierenden (-) Eingang (Pin 2) des OP 1 gegeben wird. OP 1 ist mit seiner Zusatzbeschaltung als 10-fach-Verstärker eingesetzt, so daß an seinem Ausgang (Pin 1) eine hinreichend große, dem Strom proportionale Spannung zur Verfügung steht. Diese wird auf den zweiten Multiplikationseingang (Pin 1) des IC 4 gegeben.

In dem Analog-Multiplizierer des Typs ICL 8013 werden die an Pin 1 und 6 anstehenden Momentanwerte miteinander multipliziert und das Produkt an Pin 4 (IC 4) ebenfalls als Spannung ausgegeben.

Die Trimmer R 14 bis R 16 dienen der Offsetkompensation, auf die wir später noch näher eingehen.

Der dem Ausgang des IC 4 nachgeschaltete Tiefpaß nimmt eine Glättung vor. Über R 18 gelangt die so aufbereitete Spannung, die der aufbereiteten Leistung des angeschlossenen Verbrauchers direkt proportional ist, auf den Spannungs/Frequenzumsetzer.

Dieser Schaltungsteil, dessen Eingang der invertierende (-) Eingang (Pin 6) des OP 2 darstellt, ist mit OP 2, IC 5 sowie deren Zusatzbeschaltung aufgebaut. An Pin 3 des IC 5 steht eine Frequenz im Bereich zwischen 0 und ca. 10 kHz an, die der Eingangsspannung proportional ist und damit gleichzeitig auch der Leistungsaufnahme des angeschlossenen Verbrauchers entspricht. Mit R 23 wird der Skalenfaktor eingestellt. Bei einer Leistung von 2500 W beträgt die Ausgangsfrequenz 10000 Hz, entsprechend einer Leistung von 100 W und 400 Hz.

Um auf 1 Hz pro Watt zu kommen, muß diese Frequenz durch 4 geteilt werden. Da der Leistungsverbrauch jeweils auf eine Stunde bezogen wird, muß eine weitere Teilung durch 3600 (1 h = 3600 s) vorgenommen werden. Dies erfolgt im IC 6 des Typs CD 4020, das eine Teilung



durch 14400 ( $4 \times 3600 = 14400$ ) vornimmt.

Am Ausgang (Pin 11) des IC 6 steht pro Watt Aufnahmeleistung (des angeschlossenen Verbrauchers) 1 Impuls pro Stunde zur Verfügung. Bei 2500 Watt, also 2500 Impulse je Stunde.

Befindet sich der Drehschalter S 1 in Stellung „3“, gelangen diese Impulse auf den Zählereingang (Pin 9 des IC 15) und erhöhen somit pro Watt und Stunde den Zählerstand jeweils um 1, und zwar fortlaufend. Beträgt die Leistungsaufnahme zum Beispiel 1000 W, so erhöht sich der Zählerstand innerhalb einer Stunde um 1000 Digit, das heißt also, alle 3,6 Sekunden um 1 Digit. Nach 2 Stunden zeigt der Zählerstand bereits 2000 Digits usw.

Damit der insgesamt 4-stellige Digitalzähler bei höheren Leistungsaufnahmen nicht bereits nach wenigen Stunden seinen Endstand (10000 Digit) erreicht hat, stehen 3 weitere Meßbereiche zur Verfügung. Mit dem IC 7 des Typs CD 4040 wird in der Schalterstellung „4“ eine Teilung durch 10, in der Schalterstellung „5“ eine Teilung durch 100 und in der Schalterstellung „6“ eine Teilung durch 1000 vorgenommen, wodurch sich gleichzeitig über die Dezimalpunktsteuerung (S 1b) mit den Gattern N 1 bis N 3 eine Verschiebung des Dezimalpunktes ergibt.

In dem größten Meßbereich (Schalterstellung „6“) wird bei einer Leistungsaufnahme von 1000 W der Zählerstand pro Stunde um 1 Digit erhöht, d. h. erst nach 10000 Stunden (mehr als 1 Jahr) ist der Zählerendstand erreicht. Auf diese Weise kann selbst bei verhältnismäßig großen Verbrauchern die Registrierung über einen längeren Zeitraum erfolgen.

Bevor ein Überwachungszeitraum (Zählvorgang) beginnt, wird der Wahlschalter zunächst in Stellung „2“ (Reset) gebracht, um den Zähler definiert auf „0000“ zu setzen. Nach Verlassen der Schalterstellung „2“ bleibt die Reset-Funktion für ca. 1 Sekunde erhalten, bevor der eigentliche Zählvorgang beginnt.

Während eines Meßvorganges, auch wenn dieser einen längeren Zeitraum in Anspruch nimmt, sollte der Schalter nicht betätigt werden, da hierdurch das Meß-

ergebnis verfälscht wird. Vor einem Meßbereichswechsel ist er ein jedesmal wieder in Stellung „2“ zu bringen.

Mit einem zusätzlichen Meßbereich (Schalterstellung „1“) kann außerdem die aktuelle Leistungsaufnahme eines angeschlossenen Verbrauchers auf der Digitalanzeige abgelesen werden.

Hierzu wird eine Ausgangsfrequenz des IC 5 (Pin 3) direkt über S 1a auf den Zählengang (Pin 9 des IC 15) gegeben. Gleichzeitig wird über S 1b die Ablaufsteuerung freigegeben, die mit IC 13 und IC 16 realisiert wird. IC 13 stellt mit seiner Zusatzbeschaltung einen Quarzoszillator/Teiler dar, an dessen Ausgängen Pin 2 und Pin 3 Rechtecksignale mit einer Puls/Pausen-Zeit von 0,125 s bzw. 0,25 s bereitstellen. Mit den Gattern N 5 bis N 8 werden daraus die Torzeit sowie die Speicher- und Reset-Impulse für den dann als Frequenzzähler arbeitenden 4-stelligen Dezimalzähler (IC 14 und IC 15) gewonnen.

Aufgrund der Torzeit von 0,25 s wird automatisch eine Teilung der Ausgangsfrequenz des IC 5 durch 4 vorgenommen. Von 10 000 Impulsen pro Sekunde (10 000 Hz) gelangen in 0,25 s lediglich 2 500 Impulse auf den Eingang (Pin 9 des IC 15). Dies entspricht bei einer Leistung von 1 000 W ( $4000 \text{ Hz} \times 0,25 \text{ s} = 1000$ ) eine Anzeige von „1000“. Die Meßfolgeschwindigkeit beträgt 2 Messungen pro Sekunde.

Die Stromversorgung der Elektronik erfolgt ohne Transformator direkt aus dem 200 V-Wechselspannungsnetz. Über den zur Strombegrenzung dienenden entsprechend spannungsfesten Folienkondensator C 1 gelangt die Netzwechselspannung auf die Gleichrichterioden D 3 und D 6. R 8, R 9 dienen lediglich zur Reduzierung der Stromspitzen im Einschaltmoment.

D 4 und D 5 nehmen eine erste Stabilisierung vor. C 2 und C 5 dienen der Pufferung.

Mit dem Festspannungsregler IC 2 wird die positive und mit IC 3 die negative Versorgungsspannung auf +15 V bzw. -15 V stabilisiert.

D 3 und D 6 brauchen nicht die volle Wechselspannung verarbeiten zu können, da jeweils eine der beiden Dioden leitend ist und an der gesperrten Diode maximal 40 bis 45 V abfallen können (aufgrund der Spannungsbegrenzung von D 4 und D 5).

Durch das Fehlen eines Trenntrafos ist zu beachten, daß die gesamte Schaltung unter lebensgefährlicher Netzwechselspannung steht. Der Betrieb darf daher ausschließlich erfolgen, wenn sich die Schaltung in einem entsprechend berührungssicheren geschlossenen Gehäuse befindet.

## Zum Nachbau

Die Schaltung wird auf insgesamt 3 Leiterplatten aufgebaut, deren Layout so konzipiert ist, daß die bestückten Platinen in ein Stecker-Steckdosen-Gehäuse eingebaut werden können.

Zunächst werden die Platinen in gewohnter Weise bestückt. Erst werden die passiven und anschließend die aktiven Bauelemente eingesetzt und verlötet, wobei zu beachten ist, daß die ICs 9 bis 12 unter der LCD-Anzeige angeordnet sind. Die Anzeige wird daher als letztes Bauelement mit der Platine verlötet.

Die auf den drei Platinen mit identischen Bezeichnungen versehenen Punkte sind jeweils mit flexiblen isolierten Leitungen untereinander zu verbinden, wie dies auch aus dem Schaltbild und den Bestückungsplänen hervorgeht („e“ mit „e“ bis „p“ mit „p“). Eine Besonderheit bilden die Punkte „n“ und „o“, die insgesamt dreimal vorhanden sind, d. h. daß von der größten Platine (Basisplatine) je eine Verbindung der Punkte „n“ und „o“ zu den entsprechenden Punkten der beiden anderen Platinen zu ziehen ist. Der Querschnitt der hierfür verwendeten flexiblen isolierten Zuleitungen spielt eine untergeordnete Rolle und ist mit 0,25 mm<sup>2</sup> vollkommen ausreichend.

Die Verbindung der Platinenanschlüßpunkte „a, b, c, d“ mit dem Stecker und der Steckdose sowie die Verbindung des Schutzleiters erfolgt mit möglichst kurzen isolierten, flexiblen Zuleitungen, die einen Querschnitt von mindestens 1,5 mm<sup>2</sup> aufweisen müssen (aufgrund des Maximalstromes von 10 A).

Die beiden Pole des im Gehäuseunterteil integrierten Schuko-Steckers werden mit den Platinenanschlußpunkten „a“ und „b“ verbunden, während die beiden Pole der im Gehäuseoberteil integrierten Schuko-Steckdose an die Platinenanschlußpunkte „c“ und „d“ anzuschließen sind. Der gelb-grüne Schutzleiter wird direkt zwischen den Schutzkontaktanschlüssen von Stecker und Steckdose angeschlossen.

Vor dem Einbau ins Gehäuse sollte die Bestückung nochmals sorgfältig kontrolliert werden.

Die mechanische Verbindung von Basis- und Schalterplatine sowie die Befestigung im Gehäuse erfolgt mit 2 Schrauben M 3 x 40 mm sowie 4 Abstandshülsen.

Die beiden Schrauben werden von der Bestückungsseite aus durch die Schalterplatine gesteckt. Anschließend schiebt man 2 Abstandshülsen mit einer Länge von 13 mm darüber (15 mm Hülsen auf 13 mm kürzen). Es folgen zwei 20 mm lange Abstandshülsen und zum Abschluß die Basisplatine. Hierbei hält man die Platinen zweckmäßigerweise nach unten weisend fest, um zuletzt das Gehäuseunterteil von oben aufzusetzen und die beiden Schrauben festzuziehen. Der Abstand beider Platinen zueinander beträgt somit 33 mm.

Danach wird die Anzeigenplatine mit 1 Schraube M 3 x 20 mm, 1 Mutter M 3 sowie einer 12 mm langen Abstandshülse (15 mm auf 12 mm kürzen) mit der Schalterplatine verbunden.

Damit eine Berührung der unter Netzspannung stehenden Schaltung nach der Fertigstellung des Gerätes ausgeschlossen ist, muß der für die LCD-Anzeige vorge-

nommene Ausschnitt sorgfältig mit einer 2 mm starken Plexiglasscheibe von innen abgedeckt werden.

Abschließend wollen wir noch besonders ausdrücklich darauf hinweisen, daß bei anliegender Netzspannung am geöffneten Gerät auf gar keinen Fall Untersuchungen vorgenommen werden dürfen.

Es ist daher erforderlich, sowohl bei Einstellarbeiten als auch bei einer evt. Fehlersuche bzw. Überprüfung, die Schaltung unbedingt vom Netz zu trennen. Die Versorgung wird dann entweder von einer 25 V-Wechselspannung oder von zwei 18 V-Gleichspannungen vorgenommen.

Der einzige Schaltungsteil, der bei dieser Methode nicht im Detail überprüft werden kann, ist der Gleichrichterteil, bestehend aus R 8, R 9, C 1 sowie D 3 bis D 6.

Das Gerät darf ausschließlich von Profis nachgebaut werden, die mit den entsprechenden Sicherheitsbestimmungen hinreichend vertraut sind. Die Netzspannung darf nur angeschlossen werden, wenn sich das Gerät im geschlossenen, berührungssicheren Gehäuse, ohne zusätzlich angeklebte Meßgeräte befindet. Dies ist außerordentlich wichtig, da die gesamte Schaltung die volle Netzspannung führt.

Die VDE-Bestimmungen sind zu beachten.

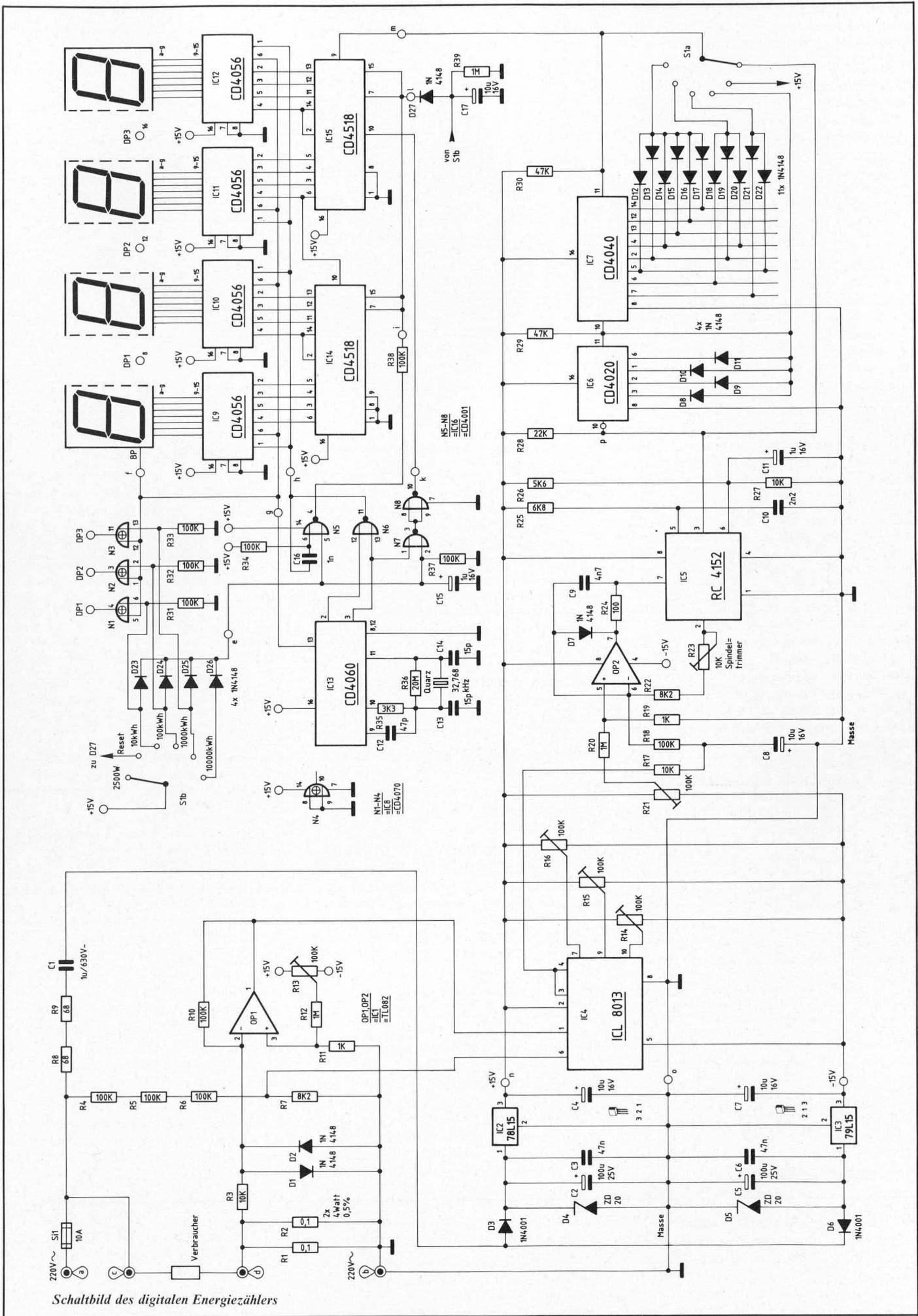
## Kalibrierung

Die Einstellung (Kalibrierung) ist mit einfachen Mitteln durchführbar, da sie sich lediglich auf die Nullpunkt- und Skalenfaktoreinstellung beschränkt.

Zunächst wird die Schaltung mit der erforderlichen Versorgungsspannung beaufschlagt.

Soll sie mit einer 25 V-Wechselspannung betrieben werden, so wird zunächst C 1 ausgelötet. Am Verbindungspunkt von C 1, D 3, D 6 wird ein 150  $\Omega$  Vorwiderstand angelötet und die Wechselspannung daran angeschlossen. Der zweite Einspeisungspunkt ist der Platinenanschlußpunkt „b“ (Schaltungsmasse). Am Ausgang der ICs 2 und 3 kann jetzt auf Schaltungsmasse bezogen eine Spannung von +15 V sowie -15 V gemessen werden. Die Abweichung darf  $\pm 0,6 \text{ V}$  betragen. Zu Kontrollzwecken überprüft man, ob die Versorgungsspannung auch an den übrigen ICs ansteht, wobei zu berücksichtigen ist, daß die ICs 5 bis 16 lediglich +15 V und Masse erhalten (nicht -15 V).

Stehen zwei Gleichspannungsnetzteile bzw. 1 Doppelnetzteil zur Verfügung, braucht C 1 nicht ausgebaut zu werden und die Einspeisung von +17 V bis +18 V erfolgt am +Anschluß von C 2 sowie die Einspeisung von -17 bis -18 V am -Anschluß von C 5. Der dritte Netzteilanschlußpunkt ist jeweils die Schaltungsmasse (Platinenanschlußpunkt „b“). Eine höhere Spannung könnte D 4 bzw. D 5 zerstören, während eine niedrigere Spannung nicht zum Betrieb der ICs 2 und 3 ausreicht.



Schaltbild des digitalen Energiezählers

Die Stromaufnahme im positiven Versorgungsspannungszweig beträgt 20 mA bis 30 mA und im negativen Versorgungsspannungszweig 10 bis 20 mA.

Da im vorliegenden Fall die Schaltung unbedingt vom 220 V Netz getrennt sein muß und daher auch kein Verbraucher angeschlossen werden kann, liegt sowohl der Spannungs-Multipliziereingang (Pin 6 des IC 4) über R 7 als auch der Strom-Multipliziereingang (Pin 1 des IC 4) über OP 1 (Pin 1) auf 0 V. Der Eingang des OP 1 liegt seinerseits wieder über R 3 sowie R 1/R 2 auf Schaltungsmasse (0 V).

Zunächst wird die Offsetspannung des OP 1 mit R 13 eingestellt. Der Minusanschluß eines Voltmeters ist hierzu mit der Schaltungsmasse (Platinenanschlußpunkt „b“) und der Pluspol mit Pin 1 des OP 1 zu verbinden. Mit R 13 wird die gemessene Spannung auf 0 V gebracht (max. 1 mV).

Nun kann die Offsetspannung des IC 4 kompensiert werden. Der Pluspol des Voltmeters wird jetzt an den Ausgang (Pin 4) des IC 4 angeschlossen. Mit R 15 wird die Spannung auf 0 V eingestellt (max. 1 mV).

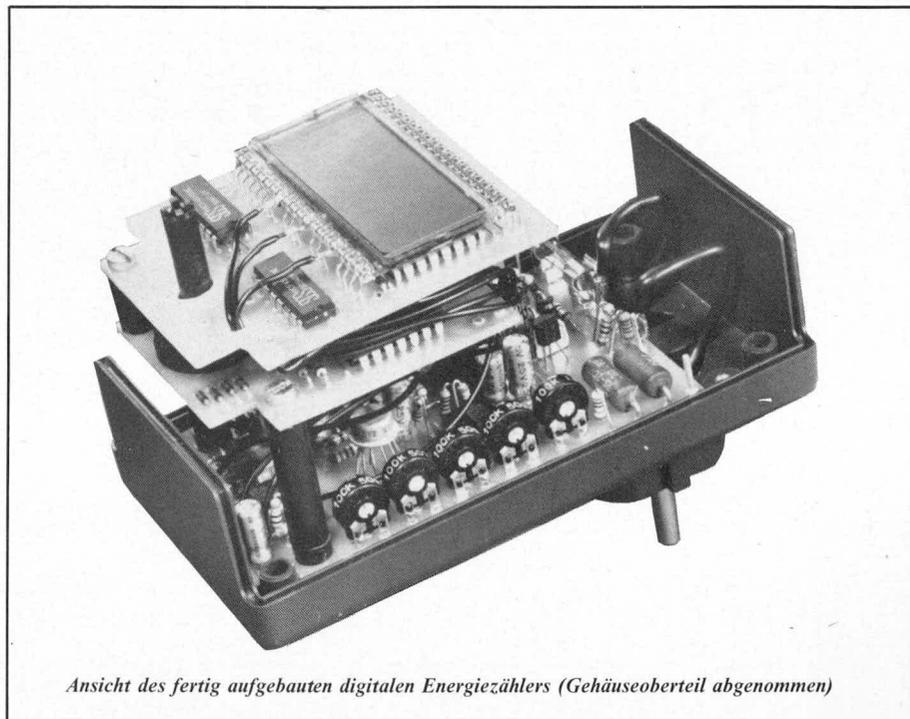
Als nächstes wird eine 50 Hz bis 100 Hz Sinus-Wechselspannung von  $\pm 5$  bis  $\pm 7$  V (Effektivwert entsprechend maximal  $20 V_{ss}$ ) über einen  $100 \text{ k}\Omega$  Vorwiderstand an Pin 2 des OP 1 eingespeist. Der Bezugspunkt (2. Anschlußpunkt) ist die Schaltungsmasse (Platinenanschlußpunkt „b“). Diese Spannung erscheint jetzt in gleicher Größe, jedoch phasenverschoben am Ausgang (Pin 1) des OP 1 und damit am zweiten Multipliziereingang (Pin 1) des IC 4. Mit dem Trimmer R 16 wird jetzt die Ausgangsspannung des IC 4 (Pin 4) auf Minimum abgeglichen. Hierzu dient entweder ein hinreichend empfindliches AC-Voltmeter oder aber ein Oszilloskop. Nach erfolgter Einstellung von R 16 wird die Einspeisung an Pin 2 des OP 1 wieder entfernt.

Anschließend wird die gleiche Wechselspannung ohne Vorwiderstand direkt an Pin 6 (erster Multipliziereingang) des IC 4 angeschlossen (wieder auf Schaltungsmasse bezogen). Nun wird R 14 so eingestellt, daß am Ausgang des IC 4 die Spannung möglichst klein wird.

Zuletzt ist nochmals der Nullpunkt mit R 15, falls erforderlich, nachzukalibrieren (Ausgangsspannung maximal 1 mV).

Da sich die Einstellungen der drei Trimmer R 14 bis R 16 gegenseitig geringfügig beeinflussen, empfiehlt es sich, vorstehend beschriebenen Abgleich einige Male zu wiederholen, bis sich ein Optimum, d. h. möglichst kleine Ausgangsspannungen, ergeben.

Sind die Einstellungen zur Zufriedenheit abgeschlossen, wird anschließend die Offsetspannung des Spannungs-Frequenzumsetzers vorgenommen. Hierzu wird die Ausgangsspannung (Pin 7) des OP 2 gemessen und R 21 so eingestellt, daß der Ausgang des OP 2 gerade eben von ca. +14 V auf ca. -0,6 V wechselt und dort bleibt. Auch nach 10 Minuten darf kein



*Ansicht des fertig aufgebauten digitalen Energiezählers (Gehäuseoberteil abgenommen)*

Impuls auftreten. Man kann auch R 21 zunächst an den oberen Anschlag bringen (entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht), wobei dann OP 2 mit einer sehr niedrigen Frequenz schwingt. Durch langsames Verdrehen von R 21 wird die Frequenz des OP 2 immer niedriger werden (kleiner als 1 Hz) und schließlich ganz abreißen. Genau dies ist der korrekte Einstellpunkt. Würde R 21 noch weiter gedreht, ergäbe dies einen Meßfehler, da der Spannungs-Frequenzumsetzer nicht bereits bei wenigen mV Eingangsspannung zu arbeiten beginnt, sondern erst bei 10 mV oder 20 mV. Pro 10 mV Eingangsspannungsfehler ergibt sich ein Meßfehler von zusätzlich 0,1 %.

Den letzten Kalibrierschritt stellt die Einstellung des Skalenfaktors mit dem Spindeltrimmer R 23 dar.

Dies ist recht einfach, da mit dem 4-Quadranten-Multiplizierer nicht nur Wechselspannungen verarbeitet werden können, sondern genauso Gleichspannungen und Gleichströme. Der Abgleich kann daher mit einer Gleichspannung und einem Gleichstrom erfolgen. Hierzu geht man wie folgt vor:

An die beiden parallel geschalteten Referenzwiderstände R 1/R 2 wird ein weiteres Netzgerät angeschlossen, das auf einen Strom von 2 bis 10 A einzustellen ist.

An die Reihenschaltung, bestehend aus R 4 bis R 7, wird eine Gleichspannung von 190 bis 200 V angelegt. Steht eine entsprechend große Gleichspannung nicht zur Verfügung, sind auch kleinere Werte von z. B. 50 V ausreichend, wobei man sich dann jedoch nicht mehr im Meßbereichsendwert des Leistungsmessers befindet. Hierdurch verringert sich die maximal erreichbare Genauigkeit allerdings nur geringfügig. Man muß allerdings beachten, daß ein Fehler von  $\pm 1$  Digit um so größer wird, je weiter man sich vom Meßbereichsendwert entfernt.

Die Polarität des fließenden Stromes sowie der angelegten Spannung sollte in beiden Fällen gleich sein, d. h. in beiden Fällen positiv oder negativ, damit die Ausgangsspannung (Pin 4) des IC 4 in jedem Fall negativ wird.

Jetzt kann rechnerisch nach der Formel  $P = U \times I$  der Leistungswert ermittelt werden, der auf der LCD-Anzeige im Meßbereich „1“ erscheinen müßte.

Bei einem fließenden Strom von z. B. 5 A und einer angelegten Spannung von z. B. 200 V beträgt der korrekte Leistungswert 1000 W.

Auf diesen Wert ist die LCD-Anzeige mit Hilfe des zur Skalenfaktoreinstellung dienenden Spindeltrimmers R 23 einzustellen (Meßbereich 1).

Grundsätzlich kann die Kalibrierung auch auf andere Weise vorgenommen werden, indem ein rein ohmscher Verbraucher (z. B. Glühlampe) angeschlossen wird, dessen Stromaufnahme mit der anliegenden Spannung multipliziert wird. Anschließend wird mit R 23 die Anzeige auf diesen Wert eingestellt. Hierbei ist zu beachten, daß R 23 in kleinen Schritten zu verdrehen ist, wobei vorher jeweils das Gerät vom Netz getrennt werden muß.

Damit ist die Kalibrierung dieses hochwertigen und besonders nützlichen Gerätes bereits beendet. Alle übrigen Meßbereiche stimmen aufgrund der quartzgenauen Ablaufsteuerung automatisch.

Reicht der Einstellbereich des Trimmers R 23 nicht aus, kann der Widerstand R 22 im Bereich von  $4,7 \text{ k}\Omega$  bis  $15 \text{ k}\Omega$  variiert werden.

Die Inbetriebnahme des Gerätes darf ausschließlich in geschlossenem und berührungssicheren Gehäuse erfolgen, da die gesamte Schaltung unter lebensgefährlicher Netzwechselspannung steht.

Die VDE-Bestimmungen sind zu beachten.

**Stückliste:**  
**Digitaler Energiezähler**

**Halbleiter**

IC 1 .....	TL 082
IC 2 .....	78 L 15
IC 3 .....	79 L 15
IC 4 .....	ICL 8013
IC 5 .....	RC 4152
IC 6 .....	CD 4020
IC 7 .....	CD 4040
IC 8 .....	CD 4070
IC 9-IC 12 .....	CD 4056
IC 13 .....	CD 4060
IC 14, IC 15 .....	CD 4518
IC 16 .....	CD 4001
D 1, D 2, D 7-D 27 .....	1 N 4148
D 3, D 6 .....	1 N 4001
D 4, D 5 .....	ZD 20

**Kondensatoren**

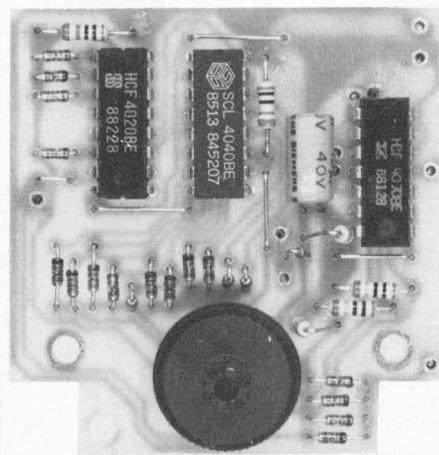
C 1 .....	1 $\mu$ F/630 V
C 2, C 5 .....	100 $\mu$ F/25 V
C 3, C 6 .....	47 nF
C 4, C 7, C 8, C 17 .....	10 $\mu$ F/16 V
C 9 .....	4,7 nF
C 10 .....	2,2 nF
C 11, C 15 .....	1 $\mu$ F/16 V
C 12 .....	47 pF
C 13, C 14 .....	15 pF
C 16 .....	1 nF

**Widerstände**

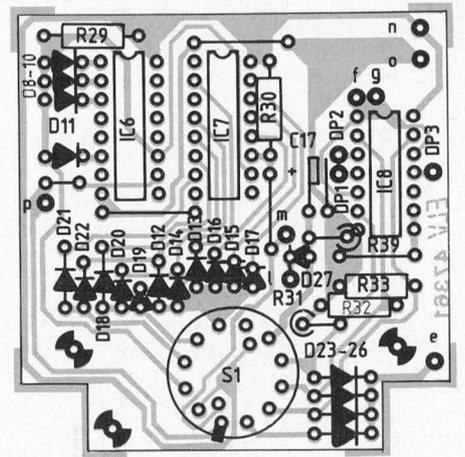
R 1, R 2 .....	0,1 $\Omega$ , 4 W, 0,5 %
R 3, R 17, R 27 .....	10 k $\Omega$
R 4-R 6, R 10, R 18 .....	100 k $\Omega$
R 7 .....	8,2 k $\Omega$
R 8, R 9 .....	68 $\Omega$
R 11, R 19 .....	1 k $\Omega$
R 12, R 20, R 39 .....	1 M $\Omega$
R 13-R 16,	
R 21 ..	100 k $\Omega$ , Trimmer, stehend
R 22 .....	8,2 k $\Omega$
R 23 .....	10 k $\Omega$ , Spindeltrimmer
R 24 .....	100 $\Omega$
R 25 .....	6,8 k $\Omega$
R 26 .....	5,6 k $\Omega$
R 28 .....	22 k $\Omega$
R 29, R 30 .....	47 k $\Omega$
R 31-R 34, R 37, R 38 .....	100 k $\Omega$
R 35 .....	3,3 k $\Omega$
R 36 .....	20 M $\Omega$

**Sonstiges**

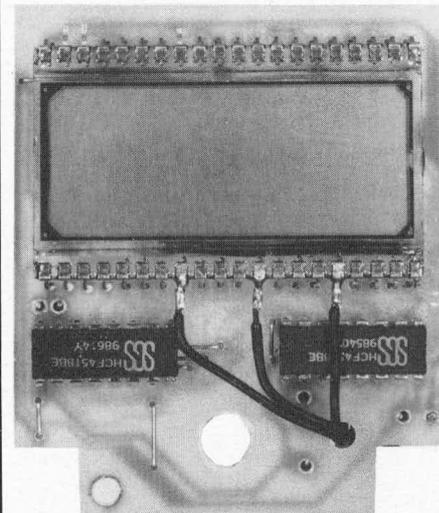
- S 1 .... Präzisionsdrehgeber 6.2
- 2 Schrauben M 3 x 40
- 1 Schraube M 3 x 20
- 1 Mutter M 3
- 2 Abstandsrollchen 20 mm
- 3 Abstandsrollchen 15 mm
- 1 Platinensicherungshalter
- 1 10 A Sicherung
- 4 Lötstifte
- 25 cm Silberdraht
- 200 cm isolierter Schaltdraht
- 1 4stellige LCD-Anzeige
- 1 Quarz 32,768 kHz



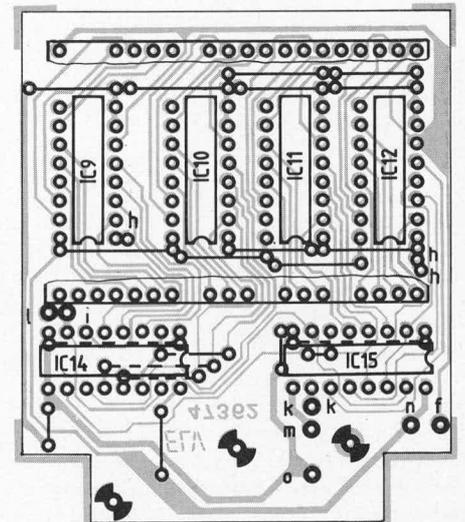
Ansicht der Schalterplatine des digitalen Energiezählers



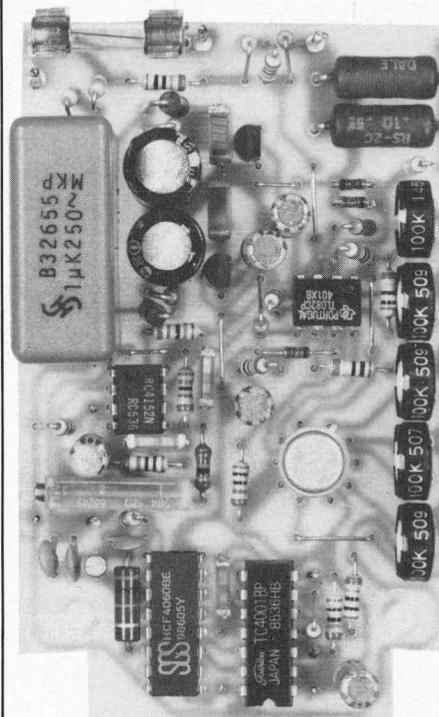
Bestückungsplan der Schalterplatine des digitalen Energiezählers



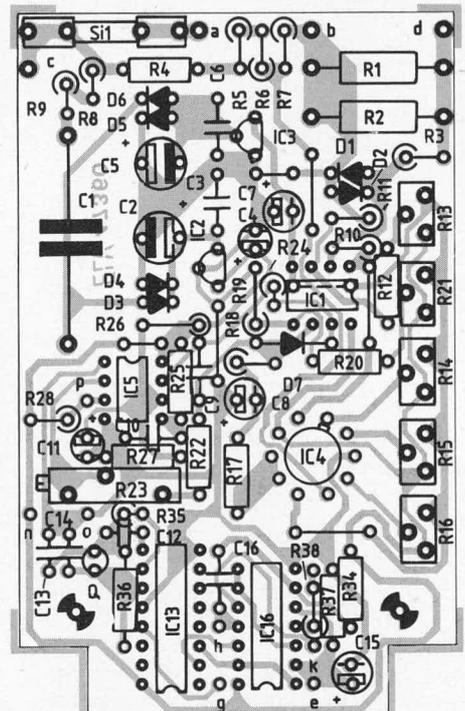
Ansicht der Anzeigenplatine des digitalen Energiezählers



Bestückungsplan der Anzeigenplatine des digitalen Energiezählers



Ansicht der Basisplatine des digitalen Energiezählers



Bestückungsplan der Basisplatine des digitalen Energiezählers

# Low-Cost 250°C-Digital-Thermometer



Die Meßbereiche der inzwischen recht preiswert erhältlichen LCD-Digital-Thermometer reichen häufig nur bis 120° bzw. 150° C. Für diejenigen unter unseren Lesern, die auch höhere Temperaturen messen möchten, stellen wir hier eine preiswerte Alternative vor, mit der Messungen bis zu 250° C (Dauertemperatur) möglich sind.

## Allgemeines

Digitale elektronische Temperaturmeßgeräte gibt es bereits in großer Zahl. Die meisten der zum Teil recht preiswerten Geräte weisen einen Temperaturbereich auf, der bis 80° C, manchmal bis 120° C und selten bis 150° C reicht – für die meisten Anwendungsfälle sicherlich zufriedenstellend. Zahlreiche Anwendungsfälle erfordern dagegen einen größeren Meßbereich.

Mit dem hier vorgestellten preiswert aufzubauenden Gerät können Temperaturen im Bereich von -50° C bis +250° C im Dauerbetrieb gemessen werden. Die Genauigkeit liegt im Mittel bei ca. 1 K (Kelvin), während die Auflösung im Bereich bis 199,9° C bei 0,1 K liegt und ab 200° C bei 1 K.

In Tabelle I sind die typischen, systematischen Abweichungen aufgezeigt, die mit einer Genauigkeit von ca. 0,3 K reproduzierbar sind.

Für die meisten Anwendungsfälle ist sowohl der Meßbereich als auch die erzielbare Genauigkeit dieses Gerätes ausreichend.

## Zur Schaltung

Als Meßwertempfänger dient ein industriell gefertigter Temperaturfühler. Hierbei handelt es sich um einen besonders temperaturstabilen Temperatursensor, der in einem besonderen Verfahren in ein Edelstahlrohr eingebaut und mit Griffstück und Zuleitung versehen wurde. Diese Einheit wird komplett montiert geliefert, da die Fertigung die Beherrschung besonderer Techniken erfordert (z. B. mechanische Befestigung und Anlöten der Zuleitung ist mit Weichlot nicht möglich, da der Schmelzpunkt bei 180° C liegt; andererseits zerstören zu hohe Temperaturen, wie sie beim Hartlöten auftreten, den Halbleitersensor).

Der polarisierte Halbleitersensor setzt die Temperatur in einen Widerstand um, wobei der Widerstandswert leicht überproportional zur Temperaturerhöhung ansteigt.

In Verbindung mit dem Linearisierungsvorwiderstand R1 wird die Sensorkennlinie soweit linearisiert, daß die Abweichungen den Werten, die in der Tabelle I angegeben sind, entsprechen. Es handelt

tatsächliche Temperatur (°C)	angezeigte Temperatur (°C)	Abweichung (K)
-50	-42,5	+7,5
-40	-34,7	+5,3
-30	-26,6	+3,4
-20	-17,9	+2,1
-10	- 9,1	+0,9
± 0	0,0	±0,0
10	9,4	-0,6
20	19,1	-0,9
30	28,7	-1,3
40	38,7	-1,3
50	48,7	-1,3
60	58,9	-1,1
70	68,9	-1,1
80	79,2	-0,8
90	89,7	-0,3
100	100,0	0
110	110,3	+0,3
120	120,5	+0,5
130	130,5	+0,5
140	140,8	+0,8
150	151,0	+1,0
160	161,3	+1,3
170	170,7	+0,7
180	180,7	+0,7
190	190,3	+0,3
200	200	0
210	209	-0,6
220	219	-1,2
230	228	-2,1
240	237	-3,0
250	245	-4,8

sich hierbei, wie bereits erwähnt, um systematische Abweichungen, die mit einer Genauigkeit von ca. 0,3 K reproduzierbar sind. Unter Verwendung der Tabelle 1 läßt sich die gemessene Temperatur auf ca. ± 0,3 K genau bestimmen.

Über den Spannungsteiler R2/R3 gelangt die am Sensor TS1 abfallende und der Temperatur proportionale Spannung auf den positiven Meßeingang (Pin10) des IC2. Hierbei handelt es sich um den A/D-Wandler des Typs ICL7126R. Von diesem IC wird eine zwischen den Anschlußbeinchen 10 und 11 anliegende Gleichspannung in einen dazu proportionalen Digitalwert umgesetzt, der zur direkten Ansteuerung einer 3,5-stelligen LCD-Anzeige geeignet ist.

Der negative Meßspannungseingang (Pin11) des IC2 liegt am Mittelabgriff des Trimmers R5, mit dem ein Teilbetrag der Referenzspannung abgegriffen wird, der zur Nullpunkteinstellung dient.

Der Skalenfaktor wird über den Trimmer R8 eingestellt. Hierzu eine Erläuterung:

Im IC1 des Typs CD4053 sind 3 elektronische Umschalter (ES1, ES2, ES3) integriert.

Ist der Meßbereichumschalter S2 zur Umschaltung der Auflösung von 0,1 K auf 1 K (für Temperaturmessungen ab 200° C) in der eingezeichneten Stelle, so befinden sich auch die beiden davon angesteuerten elektronischen Umschalter ES1 und ES2 in der eingezeichneten Position.

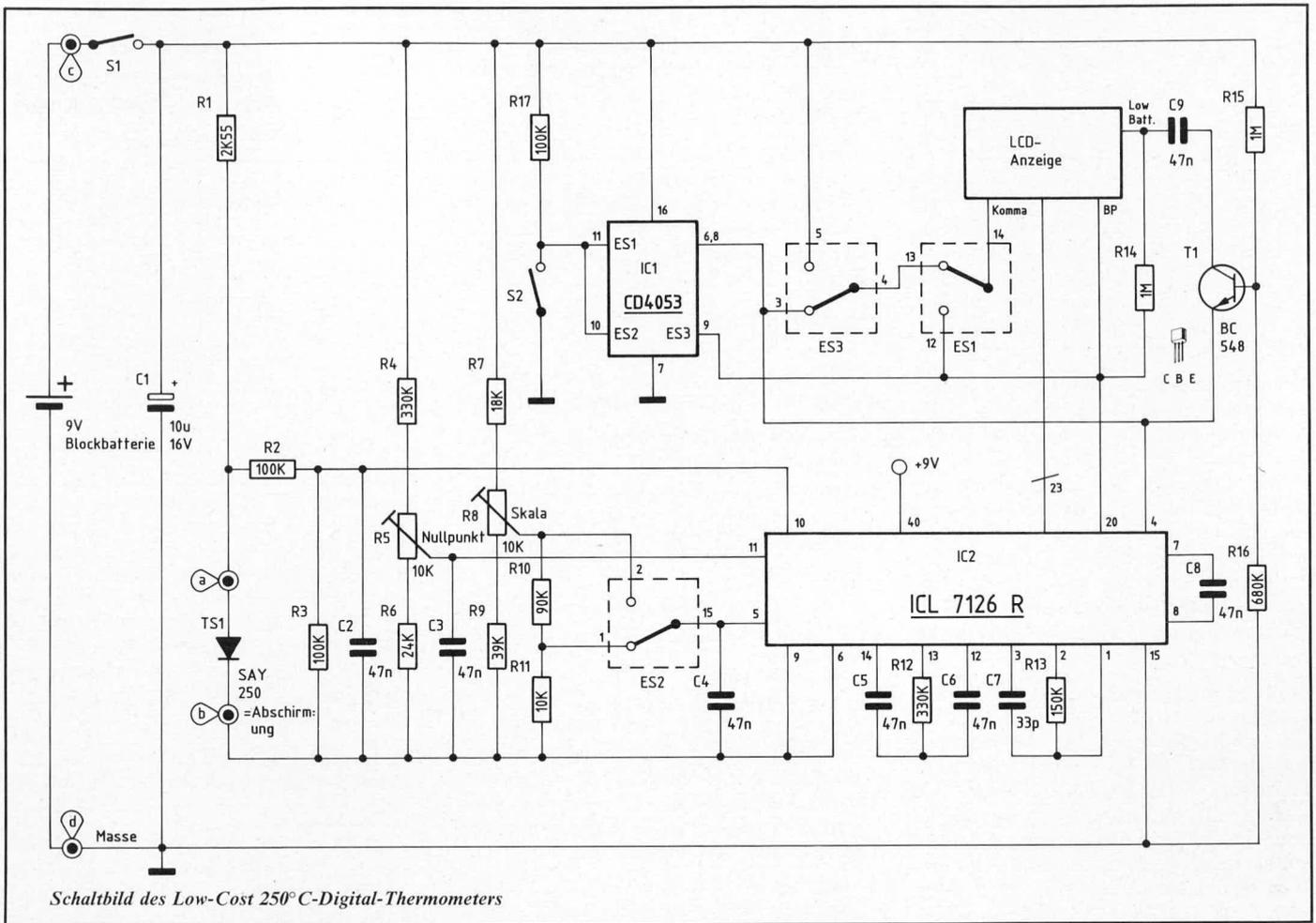
Über den Spannungsteiler R10, R11 gelangt jetzt 1/10 der mit R8 eingestellten Referenzspannung auf den positiven Referenzspannungseingang (Pin5 des IC2). Der negative Referenzspannungseingang (Pin6) liegt mit dem Referenz-Massepunkt des IC2 (Pin9) zusammen. Das hier anstehende Potential wird durch die interne, im IC2 integrierte Referenzspannung immer ca. 2,7V unterhalb der positiven Versorgungsspannung gehalten. Zwar kann der Absolutwert von IC zu IC zwischen 2,6V und 3,2V schwanken (gemessen zwischen Pin40 und Pin9), jedoch wird er aufgrund der guten Stabilisierungseigenschaften sehr konstant gehalten.

Sowohl die Versorgungsspannung des Temperatursensors TS1 als auch die Gewinnung der Spannung zur Nullpunkteinstellung (mit R5) sowie die Referenzspannung zur Skalenfaktoreinstellung (mit R8) werden hieraus gespeist. Durch diese Maßnahme werden Versorgungsspannungsschwankungen und sogar Langzeitveränderungen der IC-Referenzspannung weitgehend unterdrückt.

Wird S2 geschlossen (Meßbereich ab 200° C), wechseln ES1 und ES2 in die entgegengesetzte Schaltposition.

Über ES2 gelangt jetzt die volle, mit R8 eingestellte Skalen-Referenzspannung auf den positiven Referenzspannungseingang Pin5 des IC2, während gleichzeitig ES1 den Dezimalpunkt (Komma für zehntel Gradanzeige) mit dem Backplane-Signal verbindet (das Komma verlischt).

Der Schalter ES3 dient lediglich zur Invertierung des Backplane-Signals, damit in der eingezeichneten Schalterstellung von ES1 der Dezimalpunkt durch Anlegen des invertierten Backplane-Signals erscheint. In zahlreichen Applikationen wird für die Invertierung des Backplane-



Signals ein EXOR-Gatter verwendet. Dies würde in unserem Fall jedoch den Einsatz eines weiteren ICs bedeuten, für das auf der Platine nur schwer Platz vorhanden ist. Wir haben daher den noch zur Verfügung stehenden 3. elektronischen Schalter (ES 3) für diese Aufgabe herangezogen.

Über R 14, C9 wird eine Phasenverschiebung des Backplane-Signals erreicht, das zur Ansteuerung der Unterspannungsanzeige (Pfeil oder „B“) dient. Dies jedoch nur, wenn der Transistor T1 durchgesteuert ist. Bei ausreichend großer Versorgungsspannung ist T1 über den Spannungsteiler R 15/R 16 gesperrt. Erst wenn die Batteriespannung auf zu geringe Werte absinkt, reicht die negative Vorspannung über R 16 nicht aus und T1 steuert über R 15 durch, so daß C9 eine Phasenverschiebung bewirken kann. Die Unterspannungsanzeige erscheint.

### Zum Nachbau

Die hier vorgestellte Schaltung ist von ELV für einen namhaften deutschen Hersteller zur Großserienfertigung entwickelt worden. Beim Nachbau sind daher einige Besonderheiten zu beachten. In diesem Zusammenhang muß allerdings angemerkt werden, daß die kommerziellen Nutzungsrechte für diese Schaltung bereits vergeben sind, der private Nachbau in Einzelstücken jedoch selbstverständlich, wie bei allen ELV-Schaltungen, gestattet ist. Wir möchten Ihnen, verehrte Leser, diese interessante Schaltung nicht vorenthalten.

Als erstes fällt dem interessierten Hobby-Elektroniker sicherlich auf, daß die LCD-Anzeige weder Anschlußbeinchen noch einen Sockel besitzt. Sie wird, wie bei Großserienfertigung heutzutage vielfach üblich, über einen speziellen Leitgummistreifen mit der Leiterplatte verbunden. Hierzu später jedoch mehr.

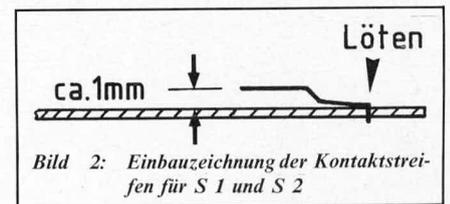
Zunächst wird die Platine in gewohnter Weise bestückt. Die Stärke des Platinenmaterials beträgt nicht, wie sonst üblich, 1,5 mm, sondern lediglich 1,0 mm, da das für den späteren Einbau vorgesehene Gehäuse speziell auf dieses dünnere Leiterplattenmaterial ausgelegt ist.

Sämtliche Bauelemente finden auf der Bestückungsseite der Platine Platz, mit Ausnahme der beiden Schalter-Kontaktstreifen (S 1 und S 2) sowie der LCD-Anzeige.

Eine weitere Besonderheit der Schaltung liegt im Aufbau der beiden Schalter S 1 und S 2. Die beiden zugehörigen Schalterknöpfe befinden sich jeweils im Gehäuseoberteil und sind mechanisch nicht mit den Kontaktstreifen verbunden. Vielmehr wird durch Betätigen (Verschieben) eines Schalters der darunter auf der Leiterplatte angeordnete Kontaktstreifen nach unten gedrückt, wodurch sich die leitende Verbindung bildet.

Der elektrische Kontakt selbst besteht aus einem korrosionsbeständigen, federnden Metallstreifen, dessen ca. 1 mm abgewinkelte Seite in das Langloch auf der Leiterbahnseite eingesetzt und verlötet

wird. Im Ruhezustand beträgt der Abstand zur Platine ca. 1 mm (Bild 2).



Als nächstes werden die beiden Adern des Batterieclips (rot entspricht Pluspol) sowie die beiden vom Temperatursensor kommenden Adern mit den entsprechenden Punkten auf der Platine verlötet. Auch beim Temperatursensor ist auf die richtige Polarität zu achten, da dieses Halbleiterbauelement ebenfalls gepolt ist. Bei versehentlichem Fehlschluß nimmt der Sensor keinen Schaden. Bemerkbar macht sich dies im allgemeinen erst bei Temperaturen über 150° C, indem der Widerstand in dem Temperaturbereich plötzlich wieder stark abnimmt, d. h. auch die Anzeige geht trotz steigender Temperatur auf deutlich kleinere Werte zurück. In diesem Fall ist die Polarität zu vertauschen und das Gerät neu abzugleichen.

Nachdem die bestückte und gelötete Platine nochmals sorgfältig kontrolliert wurde, kann die LCD-Anzeige in die dafür vorgesehene Aussparung ins Gehäuseoberteil lose eingelegt werden. Das Gehäuseoberteil liegt hierbei zweckmäßigerweise mit der Frontseite nach untenweisend auf der Arbeitsplatte. Die einsei-

tige Kontaktierungsleiste des LC-Displays weist zur Gehäusestirnseite (entgegengesetzte Seite zum Batteriefach).

Nun legt man vorsichtig den Leitgummistreifen der Länge nach auf die Kontaktierungsleiste des LC-Displays, und zwar so, daß eine der beiden schmalen Längsseiten auf dem LC-Display aufliegt. Im unteren Drittel des Displays wird zusätzlich ein Stückchen Schaumstoff aufgebracht, wodurch später über die Leiterplatte ein leichter Druck auf die Displayrückseite ausgeübt wird, damit es gut am Gehäuseoberteil anliegt.

Jetzt kann die Leiterplatte in das Gehäuseoberteil eingelegt und mit den 3 entsprechenden kleinen Knipping-Schrauben festgezogen werden. Zu beachten ist hierbei, daß sich der Leitgummistreifen nicht verschiebt. Die zweite der beiden schmalen Längsseiten dieses Leitgummistreifens drückt auf die Leiterbahnseite der Platine, und zwar genau an den Stellen, an denen sich die entsprechenden Ansteuerkontakte für das LC-Display befinden.

Zum besseren Verständnis muß hierzu noch gesagt werden, daß es sich bei dem Leitgummistreifen um ein verhältnismäßig kompliziertes, in Sandwich-Bauweise gefertigtes Gebilde handelt, das aus hauchdünnen Schichten sich abwechselnder, leitender und nicht leitender Schichten besteht, wodurch sich die Übertragung der Steuersignale von der Leiterplatte zum LC-Display ergibt (aus diesem Grunde sind entsprechende Leitgummistreifen verhältnismäßig teuer).

Sollte sich beim späteren Betrieb des Gerätes ein Ausfall einiger Segmente zeigen, so ist die Leiterplatte nochmals zu lösen und die LCD-Anzeige nachjustieren (etwas verschieben). Es schadet dem Leitgummistreifen nicht, wenn er mehrfach ein- und wieder ausgebaut bzw. neu positioniert wird.

Das Herausführen der Zuleitung zum Meßfühlergriffel erfolgt durch die auf der Gehäuserückseite eingebrachte Aussparung.

Abschließend wird das Gehäuseunterteil mit einer Knipping-Schraube an das Gehäuseoberteil geschraubt. Nach Einsetzen der Batterie und durchgeführter Kalibrierung ist das Gerät betriebsbereit.

Auf der Gehäuserückseite ist ein ca. 30 mm langer Aufstellbügel im Gehäuse integriert, der in den schmalen Schlitz über dem Batteriefach gesteckt eine schräge Aufstellung ermöglicht.

Außerdem befindet sich auf der Gehäuserückseite eine integrierte Aussparung, die über ein Kunststoffplättchen abgedeckt werden kann. Hier ist Platz zum Aufwickeln der Sensorzuleitung, sofern diese nicht in voller Länge benötigt wird.

### Kalibrierung

Für den Abgleich wird das Gerät mit S1 eingeschaltet und S2 in die obere Stellung (0,1 K Auflösung) gebracht.

Zuerst wird der Nullpunkt mit dem Trimmer R5 eingestellt.

Hierzu wird der Temperaturfühler ca. 5 cm tief in ein Glas eingetaucht, das mit einem Gemisch aus kleinstoßen Eiswürfeln und Wasser gefüllt ist.

Es ist darauf zu achten, daß die Eiswürfel klein (wenige Millimeter Durchmesser) gehackt sind und nur verhältnismäßig wenig Wasser (weniger als 50 %) in dem Glas ist. Alle Eiswürfel müssen mit Wasser bedeckt sein. Mit Hilfe des Fühlers wird das Eis/Wasser-Gemisch mehrere Minuten kontinuierlich umgerührt, damit sich auch wirklich eine Temperatur von 0° C einstellt. Die Anzeige ist dann mit R5 auf „000“ einzustellen.

Nachdem der Nullpunkt korrekt abgeglichen wurde, kann als nächstes der Skalenfaktor mit dem Trimmer R8 eingestellt werden. Dazu taucht man den Sensor ca. 5 cm tief in kochendes Wasser (muß richtig sprudelnd kochen – Vorsicht! Verbrennungsgefahr). Wichtig ist, daß der Sensor nicht den Topfboden berührt, da dieser u. U. auch heiß sein kann und das Ergebnis dadurch verfälschen könnte.

Bei einem Luftdruck von 1013,25 mbar (entspricht ungefähr dem mittleren Luftdruck) ist die Temperatur des kochenden Wassers (Siedepunkt) genau 100,0° C. Aus der Tabelle 2 (Siedepunkt des Wassers in Abhängigkeit des Luftdruckes) kann die Temperatur des kochenden Wassers bei unterschiedlichen atmosphärischen Luftdrücken abgelesen werden. Auf den so ermittelten Wert wird anschließend die Digitalanzeige mit dem

Luftdruck in mbar	Siedetemperatur in °C
950	98,2
960	98,5
970	98,8
980	99,1
990	99,3
1000	99,6
1010	99,9
1013,25	100,0
1020	100,2
1030	100,5
1040	100,7
1050	101,0

Trimmer R8 eingestellt. Den genauen Luftdruck erfährt man zum Beispiel bei einem in der Nähe ansässigen Wetteramt oder Flugplatz. Da der Luftdruckeinfluß auf die Siedetemperatur nur einen geringen Einfluß hat, kann die Abgleichtemperatur immerhin noch in einem Bereich von ca. 1 % liegen, auch ohne Berücksichtigung des aktuellen Luftdruckes während des Abgleichs.

Der Abgleich ist damit beendet und das Gerät ist über den gesamten Bereich kalibriert.

Zu beachten ist noch, daß bei abgenommener Gehäuserückseite die Funktion der Schiebeschalter nicht mehr einwandfrei gewährleistet ist, da der Gegendruck des rückseitigen Gehäusesteges fehlt. Gegebenenfalls muß dann S1 für die Zeit des Abgleichs extern überbrückt werden.

### Stückliste:

#### Low-Cost 250° C-Digital-Thermometer Halbleiter

IC 1	.....	CD 4053
IC 2	.....	ICL 7126 R/7136 R
T 1	.....	BC 548

#### Kondensatoren

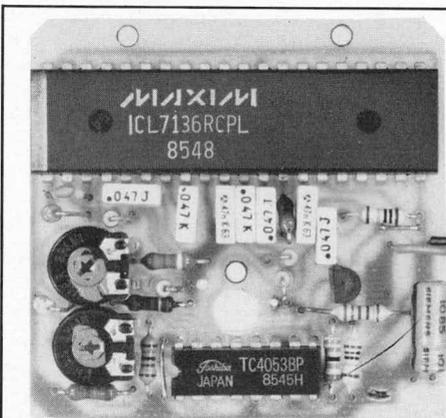
C 1	.....	10 µF/16 V
C 2-C 6, C 8, C 9	.....	47 nF, RM 5
C 7	.....	33 pF

#### Widerstände

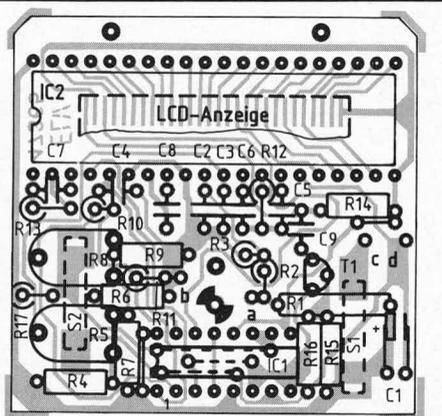
R 1	.....	2,55 kΩ
R 2, R 3, R 17	.....	100 kΩ
R 4, R 12	.....	330 kΩ
R 5, R 8	.....	10 kΩ, Trimmer, liegend
R 6	.....	24 kΩ
R 7	.....	18 kΩ
R 9	.....	39 kΩ
R 10	.....	90 kΩ
R 11	.....	10 kΩ
R 13	.....	150 kΩ
R 14, R 15	.....	1 MΩ
R 16	.....	680 kΩ

#### Sonstiges

- 1 9 V-Batterieclip
- 1 Spezial 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub>stellige LCD-Anzeige, einseitig kontaktiert
- 1 Temperaturfühler SAY 250, komplett mit Fühlergriff
- 1 Leitgummi
- 2 Federmetallstreifen
- 1 Gehäuse
- 3 Knippingschrauben 2,5 x 3



Ansicht der fertig bestückten Platine des Low-Cost 250° C-Digital-Thermometers



Bestückungsplan der Platine des Low-Cost 250° C-Digital-Thermometers

# DCF-synchronisierte Präzisions-Quarzeitbasis

## Teil 1



*Hohe Genauigkeitsanforderungen sowohl im professionellen als auch im Hobby-Bereich haben uns veranlaßt, eine Präzisions-Quarzeitbasis zu entwickeln, deren Genauigkeit rund 10 000fach (!) besser ist als die von „normalen“ Quarzeitbasen. Erreicht wird dies durch Synchronisation mit einem Atomzeitnormal. In dem hier vorliegenden ersten Teil dieses dreiteiligen Artikels werden grundlegende Zusammenhänge sowie das Blockschaltbild beschrieben. Der zweite Teil befaßt sich ausführlich mit der Schaltung, während im dritten Teil der Nachbau beschrieben wird.*

### Allgemeines

Zur Erzeugung genauer Frequenzen, für die in der Elektronik ein vielfältiger Bedarf besteht, werden im allgemeinen Quarzoszillatoren eingesetzt.

Ohne Abgleich liegen die Abweichungen bei 0,01 % (entsprechend 100 ppm), während mit Abgleich die Abweichungen auf 0,001 % (entsprechend 10 ppm) und besser reduziert werden können. Im Bereich von 1 ppm stößt man hier jedoch auf eine Grenze, die allein durch den Temperatureinfluß nur mit größerem Aufwand zu unterschreiten ist.

Durch den Einsatz eines hochstabilen Thermostaten, der den Schwingquarz auf konstanter Temperatur hält, in Verbindung mit künstlicher Voralterung sowie häufigem Nachabgleich läßt sich die Genauigkeit nochmals um gut eine Zehnerpotenz steigern. Doch spätestens im Bereich von 0,01 ppm ( $1 \times 10^{-8}$ ) ist ein Quarzoszillator auch mit noch so großem Aufwand an der Grenze seiner erreichbaren Frequenzstabilität. Allein aufgrund der Alterung sind hier kaum mehr Verbesserungen möglich, selbst wenn alle anderen äußeren Einflüsse ausgeschaltet werden.

Hält man sich vor Augen, daß eine Genauigkeit von 0,01 ppm eine Unsicherheit von 1 Impuls auf 100 Millionen Schwingungen bedeutet, so wird es leicht verständlich, daß selbst geringste Veränderungen hinsichtlich Temperatur und Versorgungsspannung störend sind. Auch der Einfluß der übrigen am Oszillator beteiligten Bauelemente kann sich, wenn auch in geringem Maße, ungünstig auswirken.

Vorstehende Ausführungen lassen erkennen, daß nur in Ausnahmefällen selbständig und unabhängig arbeitende Quarzoszillatoren mit einer Genauigkeit von besser als 0,1 ppm wirtschaftlich einge-

Sender	Land	Frequenz (kHz)	Genauigkeit ( $10^{-12}$ )	Leistung (kW)
Allouis	Frankreich	163,84	$\pm 50$	500
Donebach	Deutschland	151	$\pm 5$	250
DCF 77	Deutschland	77,5	$\pm 2$	38
Droitwich	Großbritannien	200	$\pm 20$	400
MSF	Großbritannien	60	$\pm 10$	50
HBG	Schweiz	75	$\pm 2$	20
NAA	Maine USA	17,8	$\pm 10$	1000
WWVB	Colorado USA	60	$\pm 10$	13
NDT	Japan	17,4	$\pm 10$	50
OMA	CSSR	50	$\pm 50$	5
RV 166	UDSSR	200	$\pm 50$	40

setzt werden können, zumal der Betriebsaufwand nicht zuletzt im Hinblick auf die erforderlichen Nachkalibrierungen verhältnismäßig hoch ist.

Erfreulicherweise gibt es nun eine elegante Möglichkeit, genaue Referenzfrequenzen zu erzeugen. Weltweit werden von verschiedenen Nationen hochpräzise Atomzeitnormale gesendet, deren Frequenzen überwiegend im Langwellenbereich angesiedelt sind. In Tabelle I sind die bekanntesten davon zusammengestellt.

Durch Anbindung des eigenen Quarzoszillators an eine dieser hochgenauen Referenzquellen kann die Genauigkeit des Quarzoszillators extrem gesteigert werden.

Mit Hilfe einer PLL-Stufe, die als Phasenkomparator arbeitet, wird der Quarzoszillator mit der Referenzfrequenz synchronisiert, d. h. phasenstarr verbunden.

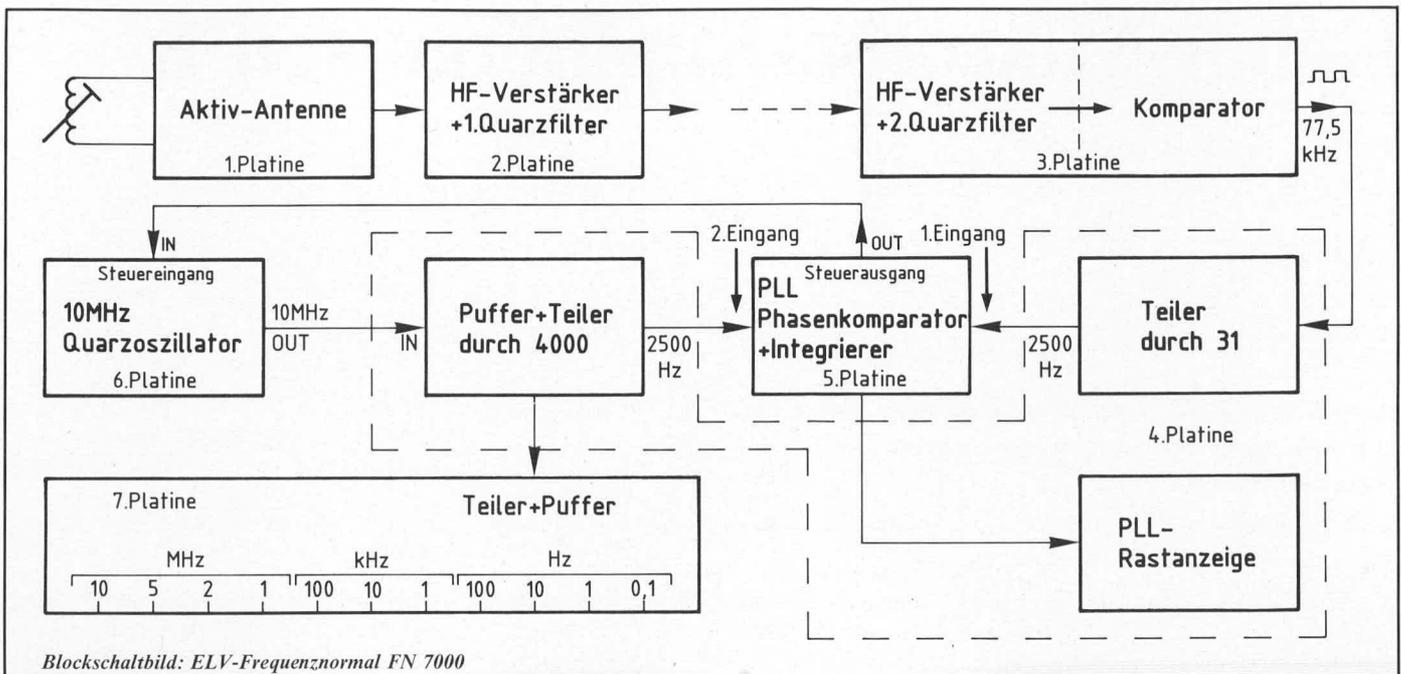
Für die Bundesrepublik Deutschland bietet sich als Referenzquelle die hochgenaue 77,5 kHz Trägerfrequenz des Zeitzeichensenders der PTB in Frankfurt/

Mainflingen DCF 77 an. Die Kurzzeitstabilität liegt bei  $2 \times 10^{-12}$ , im Mittel über einen Tag bei besser als  $1 \times 10^{-12}$  und im Mittel über 100 Tage bei besser als  $2 \times 10^{-13}$ .

Aufgrund der Ausbreitungsbedingungen langwelliger Sendefrequenzen sind je nach Entfernung zum Senderstandort Abstriche von dieser Grundgenauigkeit zu machen, auf die wir im weiteren Verlauf dieses Artikels noch näher eingehen. Je nach Qualität des Empfangsteiles können jedoch auch in größeren Entfernungen noch exzellente Ergebnisse erzielt werden.

### Das Blockschaltbild

Eine der wichtigsten Voraussetzungen zum Aufbau einer DCFsynchronisierten Quarzeitbasis ist die Gewinnung der Referenzfrequenz. Hierzu ist zum einen eine empfindliche Aktiv-Antenne und zum anderen eine hochwertige Verstärker/Filter-Kombination erforderlich, damit das 77,5 kHz-Signal in absolut störungsfreier Form zur Verfügung steht.



Beim PTB-Sender DCF 77 ist die Gewinnung des Empfangssignals schwierig, da die Sendefrequenz nicht mit konstanter Amplitude, sondern moduliert abgestrahlt wird. Im Klartext bedeutet dies, daß in jeder Sekunde mit Ausnahme der 59. Sekunde die Amplitude von 100 % auf 25 % abgesenkt wird und zwar für die Zeitdauer von 100 ms bzw. 200 ms. Diese gravierende Trägerabsenkung auf  $\frac{1}{4}$  der Grundamplitude ist im Hinblick auf eine möglichst stabile Phasenlage zu sehen und entsprechend problematisch. Speziell diesem Punkt wurde daher bei der Entwicklung im ELV-Labor hohe Bedeutung zugemessen.

Eine Aktiv-Antenne, wie sie vom ELV-Funkuhrensysteem DCF 86 vielen Lesern bereits bekannt ist, stellt die erste Stufe in der langen Kette der Signalgewinnung und -aufbereitung dar. Auf einer zweiten, ebenfalls räumlich dicht der Antenne zugeordneten Platine befindet sich ein integrierter HF-Verstärker mit automatischer Amplitudenregelung. Die Regelung selbst besitzt eine so große Zeitkonstante, daß nur langsam ablaufende Amplitudenschwankungen ausgeregelt werden (atmosphärisch bedingte Schwankungen sowie Standortänderungen).

Es folgt ein hochwertiger, extrem schmalbandiger Quarzfilter zur Unterdrückung von Störsignalen sowie zum Verschleifen der Modulationsübergänge. Hieran schließt sich ein zweiter integrierter HF-Verstärker an, dessen ebenfalls automatische Verstärkungsregelung den auftretenden Amplitudenschwankungen direkt folgen kann. Am Ausgang des nachgeschalteten Pufferverstärkers steht dann das 77,5 kHz Signal mit einer konstanten Amplitude von ca. 2 V<sub>ss</sub> an.

Bis zu diesem Punkt befinden sich sämtliche elektronischen Komponenten unmittelbar in räumlicher Nähe zum Ferrit-Antennenstab, d. h. innerhalb des Kunststoff-Antennenrohrs mit einem Durchmesser von 37 mm.

Von hieraus führt eine 2adrige abgeschirmte, isolierte Zuleitung zum Eingang eines weiteren HF-Verstärkers, der sich im Basisgerät befindet. Die Leitungslänge kann ohne Probleme mehrere 10 m ohne Qualitätseinbußen betragen.

Der zweite HF-Verstärker befindet sich auf einer dritten Platine, zusammen mit einem weiteren hochwertigen 77,5 kHz-Filter und einem nachgeschalteten Komparator mit konstanter Hysterese. Am Ausgang dieses Komparators steht dann das 77,5 kHz-Signal als hochkonstante Rechteckfrequenz mit einem Tastverhältnis von ungefähr 1 : 1 an.

Damit diese hochgenaue Referenzfrequenz zur Synchronisierung des 10 MHz-Quarzoszillators herangezogen werden kann, müssen beide Frequenzen ganzzahlig so geteilt werden, daß sich eine gemeinsame Grundfrequenz ergibt. Diese beträgt im vorliegenden Fall 2500 Hz. Teilt man 77,5 kHz durch 31 sowie 10 MHz durch 4000 so erhält man in beiden Fällen 2500 Hz. Die beiden unabhängig voneinander arbeitenden Teiler sowie die PLL-Rastanzeige befinden sich gemeinsam auf einer vierten Platine.

Die fünfte Platine beinhaltet den PLL-Phasenkomparator, der die beiden 2500 Hz-Frequenzsignale miteinander vergleicht sowie den als Integrierer arbeitenden Regler. Der Ausgang des Reglers arbeitet auf den Steuereingang des 10 MHz-Quarzoszillators, der sich auf einer separaten, sechsten Platine befindet.

Sobald eine Phasendifferenz zwischen 77,5 kHz- und 10 MHz-Signal auftritt, wird dies vom Phasenkomparator registriert und der Regler erzeugt ein Ausgangssignal, das über den Steuereingang des 10 MHz Quarzoszillators dessen Frequenz nachregelt, damit wieder beide Frequenzsignale phasenstarr miteinander verbunden sind.

Das synchronisierte, hochgenaue 10 MHz-Oszillatorsignal wird auf einer 7. Platine mehrfach geteilt und gepuffert. Insgesamt

stehen 11 hochgenaue Rechteckfrequenzen mit steilen Anstiegs- und Abfallflanken an den Ausgängen zur Verfügung.

Um Störeinstreuungen zu vermeiden, befindet sich der zweite HF-Verstärker/Komparator (dritte Platine) in einem HF-dichten Metallgehäuse. Gleichfalls sind die Platinen 5 und 6 ebenfalls gemeinsam in einem HF-dichten Metallgehäuse untergebracht. Dies ist empfehlenswert, damit die wichtigen und entsprechend empfindlichen Komponenten hinreichend störsicher arbeiten können.

Als weitere Maßnahme zur Sicherstellung einer korrekten Arbeitsweise der Gesamtanordnung dient die Versorgung aller entscheidenden Komponenten mit separaten, stabilisierten Festspannungen, um so Rückwirkungen und Übersprechen auszuschließen.

In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll, sich nochmals vor Augen zu halten, daß die Genauigkeitsanforderungen extrem hoch gesteckt sind. Auf mehr als 1000 Millionen Schwingungen soll nicht einmal ein einziger Störimpuls bzw. eine einzige Fehlzählung kommen und dies bei einem Empfangssignal, das im Bereich von 1/1000 Volt und weniger liegen kann.

Ein entsprechend hochwertiges und sicher arbeitendes Gerät kann daher nur durch umfangreiche und ausgereifte Entwicklung in Verbindung mit sorgfältigem Aufbau erstellt werden.

Trotz des verhältnismäßig hohen schaltungstechnischen Aufwandes ist das Gerät recht einfach nachzubauen, bei einem sehr günstigen Preis-/Leistungsverhältnis. Der interessierte Hobby-Elektroniker mit etwas Erfahrung im Aufbau elektronischer Geräte wird ohne großen Aufwand dieses hochwertige und nützliche Gerät erstellen können.

Im zweiten Teil dieses Artikels stellen wir Ihnen das komplette Schaltbild und im dritten Teil den Nachbau vor.

# Gehör-Mikrofon-Kopfhörer Teil 6

*In dem hier vorliegenden sechsten Teil der Artikelserie „Gehör-Mikrofon-Kopfhörer“ werden die gebräuchlichsten Kopfhörer ausführlich beschrieben.*

## 6. Kopfhörer

Kopfhörer sind Schallsender. Sie wandeln die von ihnen aufgenommene elektrische Energie in Schallenergie um (s. a. Teil 4 dieser Reihe). Wie es der Name schon sagt, werden Kopfhörer am Kopf getragen. Sie bestehen im Prinzip aus zwei gleichen Einzelhörerkapseln mit ohranliegenden bzw. ohrumschließenden Muscheln (oder auch: Polstern) und einem beide miteinander verbindenden Kopf- oder Tragebügel, der für einen guten und möglichst auch angenehmen Sitz sowie einen ausreichenden Andruck der beiden Hörer an unsere Ohrmuscheln sorgt. Der Tragekomfort eines jeden Kopfhörers wird in erheblichem Maße sowohl von den mechanischen Eigenschaften des Kopfbügels als auch von der allgemeinen Beschaffenheit der Hörerpolster mitbestimmt.

Kopfhörer gibt es seit über 100 Jahren. Die ersten Kopfhörer arbeiteten nach dem elektromagnetischen Wandlerprinzip (s. a. Teil 4). Sicht man vom relativ guten Wirkungsgrad einmal ab, so war die mit jenen Hörern erreichbare Übertragungsqualität – gemessen an unseren heutigen Vorstellungen von einem Kopfhörer – unzureichend. Im Laufe der Zeit wurden weitere Wandlerprinzipie bekannt, durch deren Anwendung die Übertragungseigenschaften von Kopfhörern entscheidend verbessert werden konnte. Unsere modernen Kopfhörer arbeiten heute, bis auf einige wenige Ausnahmen, durchweg nach dem elektrodynamischen Wandlerprinzip.

Kopfhörer bieten zweifellos die beste Möglichkeit für eine unmittelbare, zweikanalige Schallübertragung bis hin zu unseren beiden Ohren. Die große Beliebtheit, derer sich heutzutage gute Stereokopfhörer (s. a. Teil 2) erfreuen, kommt insofern nicht von ungefähr; Kopfhörer vermitteln den deutlichsten Stereoeindruck und bieten zudem stets das gleiche Klangbild, unabhängig davon, ob sich ihr Träger während seines musikalischen Genusses im weichen Sessel zurücklehnt oder umhergeht. Den vermeintlichen „Nachteil“, daß die akustische Abbildung eines Schallereignisses im „Hinterkopf“ und nicht im umgebenden Raum erfolgt, nimmt man dabei meist gern in Kauf.

Elektrisch gesehen kommt man infolge des sehr geringen Abstandes zwischen Hörer und Ohr beim Kopfhörerbetrieb mit außerordentlich kleinen elektrischen Signalleistungen aus – verglichen mit dem, was Lautsprecher aufnehmen.

Ein weiterer Vorzug von Kopfhörern ist ihre akustische „Umweltfreundlichkeit“. Musikdarbietungen, die bei Lautsprecherbetrieb zur vollen Entfaltung ihrer Klangfülle mehr als ‚nur Zimmerlautstärke‘ benötigen, können Musikliebhaber mit Kopfhörern auch in hellhörigen (Miet-)Wohnungen uneingeschränkt genießen, ohne ihre Nachbarn – meist gegen deren Willen – daran zu beteiligen. Dennoch fand der Kopfhörer in den weiter zurückliegenden Jahren nur sehr bescheidenen Zuspruch unter den Freunden elektroakustisch übertragener und dargebotener Musik, was nicht zuletzt auch daran lag, daß man sich beim Tragen eines solchen

von der Außenwelt mehr oder weniger hermetisch abgekapselt fühlte. Glücklicherweise gibt es inzwischen, d. h. seit mehr als anderthalb Jahrzehnten, auch sogenannte „offene“\*) Kopfhörer, so daß die Ohren nur noch von leichten, offeneren Schaumnetzpolstern bedeckt sind, hinter denen sich die schallerzeugenden und -abstrahlenden Hörerkapseln befinden. Den Kopfhörer selbst spürt man in diesem Falle kaum noch. Offene Kopfhörer vermitteln überdies ein außergewöhnlich freies und unbeschwertes Hörerlebnis, und man bleibt für seine Umwelt stets ansprechbar.

Über die unterschiedlichen Eigenschaften von geschlossenen und offenen Kopfhörern sowie über die Messung und Beurteilung ihres Übertragungsverhaltens wird nachfolgend noch ausführlich berichtet. Desweiteren wird in diesem Beitrag auch über Hör-/Sprechgarnituren, d. h. über



*Bild 6.1: Ausführungsbeispiel für einen geschlossenen Kopfhörer: Typ HD 230 von Sennheiser electronic*

Kombinationen aus Kopfhörern und Mikrofonen gesprochen. Spezielle Kopfhörerausführungen, zu denen u. a. auch „drahtlose Kopfhörer“ mit eingebauten Infrarotlicht-Empfängern gehören, beschließen diesen sechsten und letzten Teil der Aufsatzreihe „Gehör-Mikrofon-Kopfhörer“.

\*) 1968 brachte Sennheiser electronic den ersten „offenen“ Stereokopfhörer (Typ HD 414) auf den Markt und meldete zugleich ein Schutzrecht (DBP 15 37 700) dafür an. Dieses Schutzrecht wurde seitdem von vielen namhaften Kopfhörerherstellern gegen Lizenz in Anspruch genommen. Dank der Transparenz des dargebotenen Klangbildes konnte sich dieses damals noch neue, offene Hörerprinzip sehr schnell durchsetzen.

## 6.1 Der geschlossene Kopfhörer

Unter einem geschlossenen Kopfhörer versteht man i. a. einen Hörer, der auf Grund seines Aufbaus das Ohr von der Außenwelt akustisch weitgehend abschließt. Das hat zur Folge, daß alle Umgebungsgeräusche entweder überhaupt nicht oder nur sehr stark gedämpft durch den Kopfhörer hindurch an das Trommelfell des umschlossenen Ohres gelangen. Das gleiche gilt natürlich auch für den vom Hörer erzeugten Schall; auch er dringt beim geschlossenen Hörer äußerstfalls nur gedämpft nach außen.

Von der akustischen Funktion her kann man sich einen am Ohr getragenen, geschlossenen Kopfhörer als ein Gebilde vorstellen, das aus zwei in sich abgeschlossenen, akustisch jedoch verschiedenartigen Hohlräumen bzw. Kammern besteht. Beide Kammern sind durch eine gemeinsame Trennwand räumlich voneinander getrennt, die ihrerseits im wesentlichen aus der akustisch durchlässigen Kopfhörermembran besteht. Die Membran, die bei elektrodynamischen Kopfhörern von einer Schwingspule (s. a. Bild 4.2) angetrieben wird, arbeitet somit nach beiden Seiten gegen zwei Raumvolumina mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften. Der eine Raum befindet sich auf der vorderen, dem Ohr zugewandten Membranseite. Er ist durch das Ohrpolster nach außen abgedichtet und wird in der Fachsprache auch als „Druckkammer“ bezeichnet. Kopfhörer dieser Art nennt man daher auch Druckkammerhörer. – Den anderen, ebenfalls geschlossenen Raum findet man auf der hinteren, dem Ohr abgewandten Seite der Kopfhörermembran. Die Übertragungsqualität eines geschlossenen Kopfhörers wird sehr wesentlich von der Größe dieses Raumvolumens mitbestimmt. Man kann die rückwärtige Kammer zwar durch eine geeignete Öffnung nach außen praktisch unendlich groß machen, verläßt damit aber gleichzeitig das Prinzip des (völlig) geschlossenen Kopfhörers mit der Konsequenz, daß von außen kommender Schall durch die dünne, akustisch durchlässige Hörermembran hindurch bis ans Ohr gelangen kann.

Infolge ihres physikalisch bedingten Tiefpaßverhaltens ist der Übertragungsbereich von geschlossenen, ohrumschließenden Hörern nach hohen Frequenzen

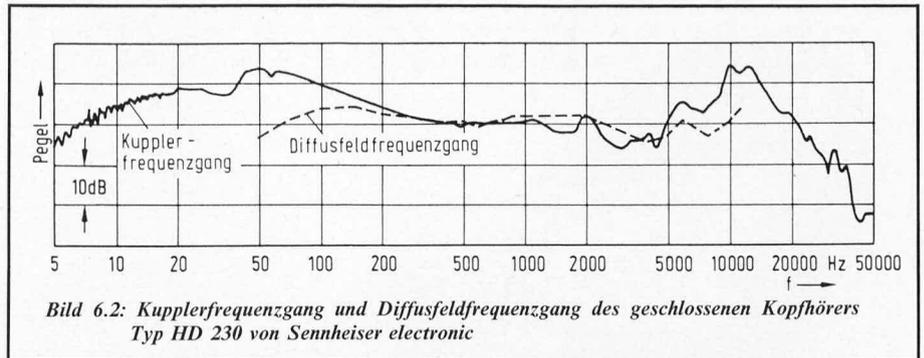


Bild 6.2: Kupplerfrequenzgang und Diffusfeldfrequenzgang des geschlossenen Kopfhörers Typ HD 230 von Sennheiser electronic

hin eingeschränkt. Wenn man mit derartigen Kopfhörern dennoch eine breitbandige Wiedergabe bis zu Frequenzen von deutlich mehr als 10 kHz schafft, so liegt das ausschließlich an einer geschickten Dimensionierung des Systemaufbaus. Durch den zusätzlichen Einbau eines speziellen, ebenfalls elektrodynamischen Hochtonsystems kann man den Hochton-Übertragungsbereich sogar noch weit über 20 kHz hinaus erweitern; man bekommt dabei ein sogenanntes Zwei-Wege-System. Hörer dieser Art nennt man daher auch Zwei-Wege-Hörer. Als praktisches Ausführungsbeispiel dafür zeigt Bild 6.1 den Kopfhörer Typ HD 230 von Sennheiser. Seine Ankopplung an das Ohr geschieht ohrumschließend. Die technischen Daten dieses Hörers weisen einen Übertragungsbereich von 10 Hz–30 kHz aus, d. h. er überträgt einen Bereich, der von extrem tiefen Frequenzen bis weit über den oberen Bereich des menschlichen Hörvermögens hinausgeht. Im Bild 6.2 sind sowohl der Kuppler- als auch der Diffusfeld-Frequenzgang des HD 230 abgebildet; über die meßtechnische Ermittlung und Interpretation von Kopfhörer-Frequenzgängen wird im Abschnitt 6.3 noch berichtet. Der Kuppler-Frequenzgang wurde hier bewußt über den oberen Hörbereich hinaus gemessen, um so den erweiterten Hochtonbereich deutlich zu demonstrieren. Die Nennimpedanz dieses Hörers beträgt 600  $\Omega$ . Er erreicht einen Kennschalldruckpegel\*) von ca. 94 dB. Seine Nennbelastbarkeit\*\*) ist mit 200 mW angegeben. Das Gewicht (ohne Kabel) liegt bei 260 g, und die Bügelandruckkraft beträgt 4 N.

Geschlossene Kopfhörer zeichnen sich durch eine besonders gute Baßwiedergabe (Druckkammerprinzip!) aus. Das setzt allerdings voraus, daß die Hörermuscheln dicht am Kopf abschließen, was wiederum eine erhöhte Andruckkraft verlangt. Manche Musikfreunde empfinden das als unangenehm. Dieses Problem entfällt beim offenen Kopfhörer.

\*) Der Kennschalldruckpegel eines Kopfhörers ist der Schalldruckpegel, der bei einer aufgenommenen elektrischen Leistung von 1 mW (bei 1 kHz) erzielt wird. Die Messung erfolgt mit Hilfe eines sogenannten künstlichen Ohres (Typ 4153 von Brüel & Kjaer).

\*\*) Die Nennbelastbarkeit stellt die Grenze der betriebsmäßigen Dauerbelastung von Kopfhörern dar. Ihre meßtechnische Bestimmung erfolgt nach DIN 45 582 mittels eines speziellen Rauschsignals.

## 6.2. Der offene Kopfhörer

Beim offenen Kopfhörer sind beide Räume, d. h. sowohl vor als auch hinter der Hörermembran akustisch weitgehend offen. Der offene Kopfhörer erlaubt daher ein nahezu ungedämpftes „Hindurchhören“ durch das Hörsystem. Die ohrseitige Öffnung nach außen kann entweder durch ein zwischen dem Kopfhörer und dem Ohr angebrachtes Schaumnetzissen oder aber – bei dichten Ohrpolstern – durch andere, bewußt vorgesehene Öffnungen bewerkstelligt werden. Das offenerporige Schaumnetzissen trägt im übrigen gleichzeitig dazu bei, daß etwaige störende Resonanzen, die sich zwischen der Membranvorderseite und dem Ohringang ausbilden könnten, von vornherein vermieden werden. Der rückwärtige Hörerraum ist, wie eben schon erwähnt, ebenfalls geöffnet, so daß man durch die Hörermembran hindurch „nach außen hören“ kann. Offene Kopfhörer erreichen dadurch eine Transparenz und Durchsichtigkeit des Klangbildes, was von geschlossenen Hörern kaum nachzuvollziehen ist. Ihre Hochtonwiedergabe ist exzellent.

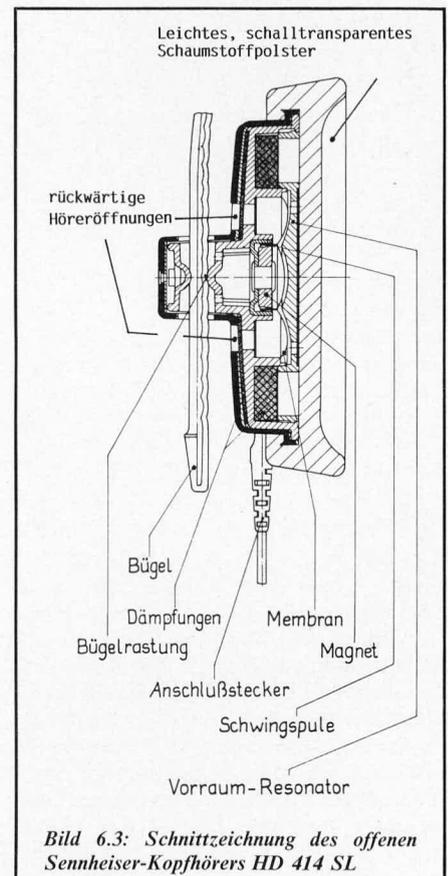


Bild 6.3: Schnittzeichnung des offenen Sennheiser-Kopfhörers HD 414 SL

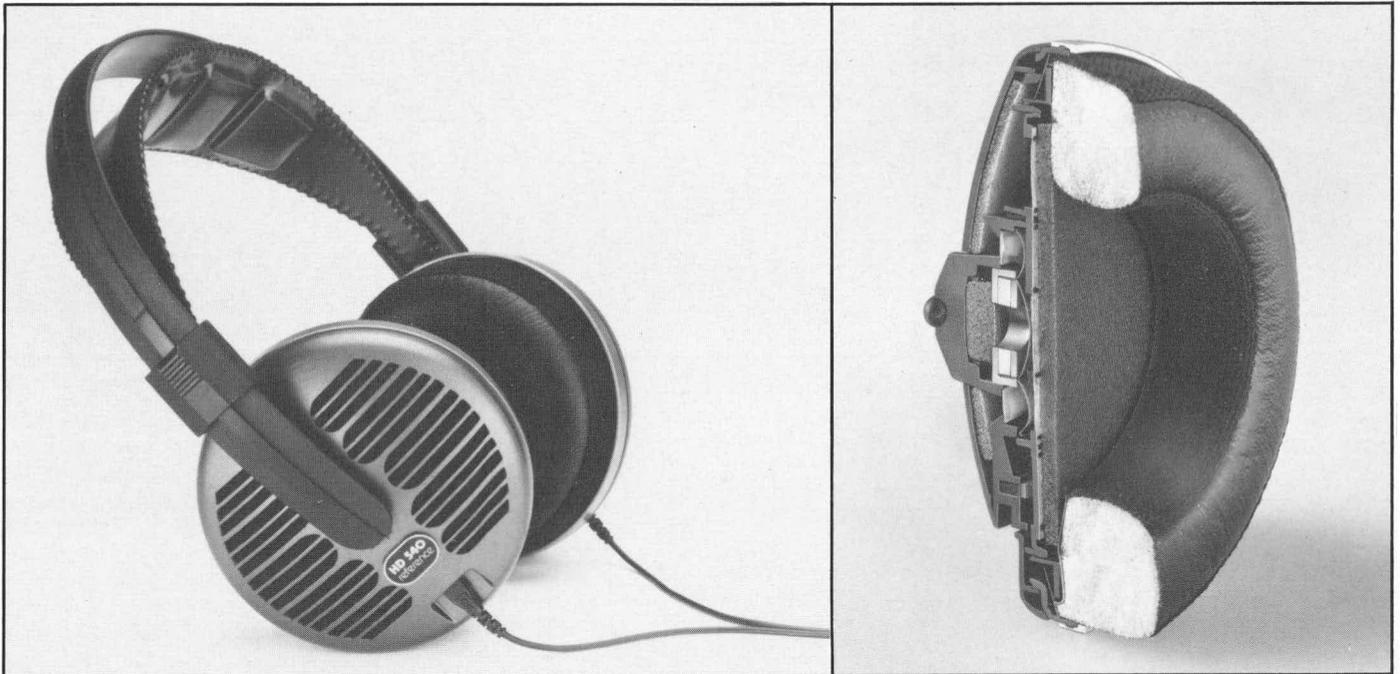


Bild 6.4: Ausführungsbeispiel für einen offenen Kopfhörer: Typ HD 540 reference (Werkfoto: Sennheiser electronic); links: Gesamtansicht (a); rechts: Schnitt-Darstellung (b)

Durch eine mechanische Tiefabstimmung des schwingenden Membran-Tauchspul-Systems läßt sich im übrigen eine nahezu gleich gute Wiedergabe der tiefen Frequenzen erzielen, wie man sie von geschlossenen Kopfhörern her kennt. Es entfällt hier jedoch die Notwendigkeit, dicht abschließende Ohrpolster mit einer ausreichend hohen Andruckkraft am Kopf zu tragen, was den Tragekomfort verständlicherweise erhöht. Bei offenen Kopfhörern befinden sich zwischen den Ohrmuscheln und den Hörern lediglich leichte, ohraufliegende Schaumstoffpolster. Leise Musikpassagen können bei einer Darbietung über offene Kopfhörer daher schon mal im „Teppich“ eines lauten Umweltgeräusches untergehen.

Den grundsätzlichen Aufbau eines offenen Kopfhörers zeigt das Bild 6.3, dargestellt anhand einer Schnittzeichnung des Sennheiser-Hörers HD 414 SL (das SL bedeutet: Slimline). Man erkennt darin sehr deutlich das auffallend kleine, antreibende Magnetsystem mit der darin eintauchenden Schwingspule.

Die kleine Masse der Schwingspule sowie die diesen Hörer eigene Breitbandigkeit gewährleisten eine gute Impulsfestigkeit. Ohrseitig ist der Hörer über ein schalltransparentes, leichtes Schaumstoffpolster nach außen geöffnet, während die Membranrückseite über geeignet bemessene Öffnungen mit der Außenwelt in Verbindung steht.

Bild 6.4 zeigt als Ausführungsbeispiel eines besonders hochwertigen offenen Kopfhörers den Typ HD 540 reference. In der Darstellung a) ist der Kopfhörer in seiner Gesamtheit zu sehen, während die Abbildung b) einen sehr anschaulichen und gleichermaßen informativen Schnitt durch denselben zeigt. Der Übertragungsbereich dieses Kopfhörers liegt zwischen 16 Hz und 25 kHz. Seine Nennimpedanz beträgt 600  $\Omega$  pro System. Der Hörer erreicht einen Kennschalldruck-

pegel von 94 dB und eine Nennbelastbarkeit von 200 mW. Mit einer Andruckkraft von 3 N und einem Gewicht (ohne Kabel) von 250 g liegt er im oberen Bereich der für offene Hörer typischen Werte. Der zuvor erwähnte offene Hörer HD 414 SL hat im Vergleich dazu ein Gewicht von 100 g und eine Andruckkraft von 2,5 N. Ein rastend verstellbarer Kopfbügel und ein weich gepolstertes Kopfband sorgen beim HD 540 reference für Rutschfestigkeit und äußerste Bequemlichkeit – auch bei längerem Hören.

Der HD 540 reference stellt einen hochwertigen offenen Kopfhörer der Spitzenklasse dar, dessen circumaurale Ohrpolster einen sehr wesentlichen Beitrag zu seinen als hervorragend beurteilten Klangeigenschaften leisten.

Im Bild 6.5 ist der Frequenzgang des Lautheits-Diffusfeld-Übertragungsmaßes (s. a. Abschnitt 6.3) vom HD 540 reference dargestellt, und zwar für den Bereich von 100 Hz bis 10 kHz. Die dort

gezeigte Übertragungskurve bewegt sich innerhalb eines sehr schmalen Toleranzbandes von nur  $\pm 2,5$  dB.

Neben der geschlossenen und offenen Bauweise gibt es außerdem noch die sogenannten halboffenen Kopfhörer, die, wie man unschwer errät, eine Kompromißlösung darstellen. Mit der halboffenen Bauform will man die Vorzüge der beiden anderen Ausführungsarten miteinander vereinen, was z. T. auch recht gut gelingt. Bei diesen Kopfhörern läßt man den rückwärtigen Hörerraum offen und schließt lediglich den Raum zwischen der Membranvorderseite und dem Ohr dicht ab, so daß erstens eine ausgezeichnete Baßwiedergabe erreicht wird und zweitens das vom offenen Hörer bekannte „Hindurchhören“ durch die Membran erhalten bleibt. Dieser Bauweise begegnet man vorzugsweise bei elektrostatischen Kopfhörern, deren leichte und schalltransparente Membran hierfür besonders geeignet ist.

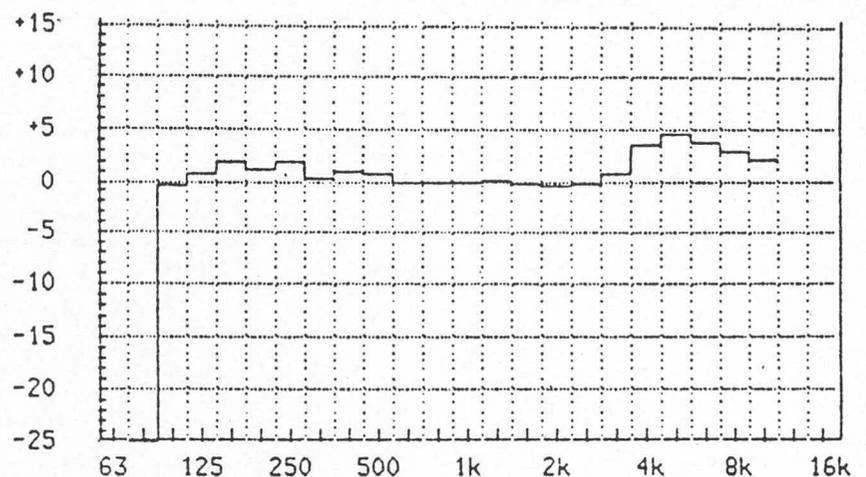
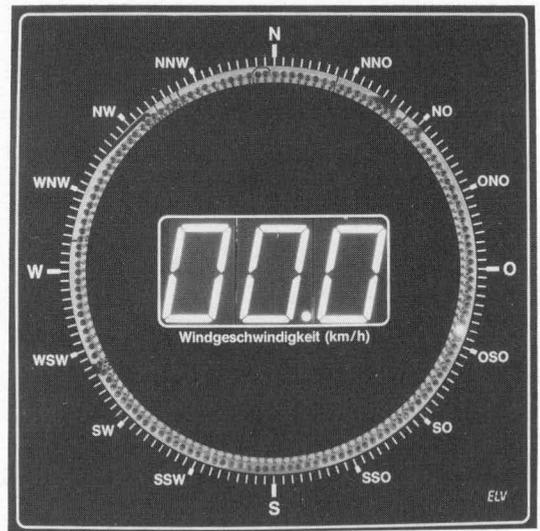
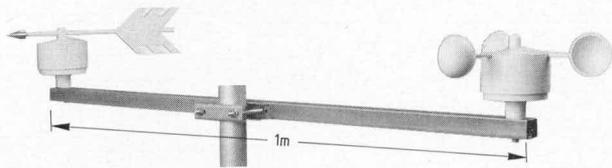


Bild 6.5: Lautheits-Diffusfeld-Übertragungsmaß des offenen Sennheiser-Kopfhörers HD 540 reference (Original-Hardcopy; aus: V. Rhenius, „Entwicklung eines diffusfeldentzerrten Kopfhörers“, Fernseh & Kino-Technik, Nr. 5, Mai 1986, S. 204)

(Fortsetzung und Schluß folgt im „ELV journal“ Nr. 48)

# ELV-Wind-Großanzeige



Abmessungen: 250 mm x 250 mm

Die aus 144 Leuchtdioden bestehende Windrose mit einem Durchmesser von 185 mm zeigt die Windrichtung mit einer Auflösung von 2,5 Grad an.

Zur Anzeige der Windgeschwindigkeit dienen 3 LED-Großdisplays, mit einer Höhe von 50 mm.

Als Sensoren dienen die professionellen Meßwertaufnehmer für Windrichtung und Windgeschwindigkeit der ELV-Komfort-Wetterstation WS 7000.

Durch die konstruktive Ausführung bietet die ELV-Wind-Großanzeige neben einem imposanten Aussehen genaue Meßwerte mit einer hohen Auflösung. Aufgrund der gerätespezifischen Systemkonstanten in Verbindung mit einer Quarz-Ablaufsteuerung ergibt sich eine hohe Langzeitkonstanz, die einen Abgleich vollkommen erübrigt.

Ob als Schmuckstück in Büro, Eingangshalle, Wohnung, als Blickfang in Schau fenstern und auf Messen, oder ausschließlich als Präzisions-Meßgerät zur hochgenauen Anzeige der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit, in jedem Fall bietet die im ELV-Labor entwickelte Wind-Großanzeige etwas Außergewöhnliches.

Als Meßwertaufnehmer dienen die gleichen, professionellen Geber für Windrichtung und Windgeschwindigkeit, wie sie auch in der ELV-Komfort-Wetterstation WS 7000 eingesetzt werden (beschrieben in einem 3-teiligen Artikel im ELV journal Nr. 42, 43 und 44). Die hohe Auflösung von 2,5 Grad wird mit Hilfe einer komplexen Elektronik erreicht und auf einer Windrose dargestellt, die aus 144 LEDs besteht. Eine zusätzliche Digitalanzeige in Grad ist bei diesen hohen Auflösungen nur in Sonderfällen noch sinnvoll, da die Windrichtung in den meisten Fällen ohnehin etwas schwankt. Wir haben uns aus diesem Grunde sowie nicht zuletzt aus Designgründen für die ausschließliche Anzeige der Windrichtung auf einer Windrose entschieden.

Die Windgeschwindigkeit wird digital auf einem 3-stelligen Großdisplay mit einer Anzeigehöhe von 50 mm (!) und einer Auflösung von 0,1 km/h angezeigt.

In diesem Zusammenhang sollte noch erwähnt werden, daß das Gerät zwar auch aus größeren Entfernungen gut ab-

gelesen werden kann, für eine Positionierung im Freien jedoch ungeeignet ist, da Leuchtdioden und entsprechende 7-Segmentanzeigen bei Sonnenschein im Freien nicht mehr ablesbar sind.

## Zur Schaltung

Der Meßwertaufnehmer für die Windgeschwindigkeit liefert als Ausgangssignal eine Rechteckfrequenz, die aufgrund der hochwertigen Konstruktion direkt proportional zur Windgeschwindigkeit ist, und dies mit einer bemerkenswerten Linearität. Der Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Ausgangsfrequenz entspricht der Formel:

$$v = \frac{f}{a} + b$$

$v$  = Windgeschwindigkeit in Kilometern pro Stunde

$f$  = Ausgangsfrequenz des Meßwertaufnehmers in Hz

$a$  = systemspezifische Umsetzkonstante (hier 12,3 Hz/kmh)

$b$  = Anlaufhysterese bzw. Parallelverschiebung (hier 3 kmh)

Aus der Formel ist zu ersehen, daß die Anlaufreibung mit ca. 3 kmh für ein so robustes und hoch belastbares System wie dieses extrem gering ist (3 kmh sind weniger als 1 Meter pro Sekunde). Wie hoch die Ansprechempfindlichkeit tatsächlich ist, wird durch folgendes Experiment eindrucksvoll unterstrichen:

Man bewegt seine Hand zwischen zwei 1 Meter auseinanderliegenden Punkten innerhalb einer Sekunde. Dies entspricht einer Geschwindigkeit von 1 Meter pro Sekunde. Den dort spürbaren Luftwiderstand wertet der ELV-Windgeschwindigkeitsaufnehmer bereits aus.

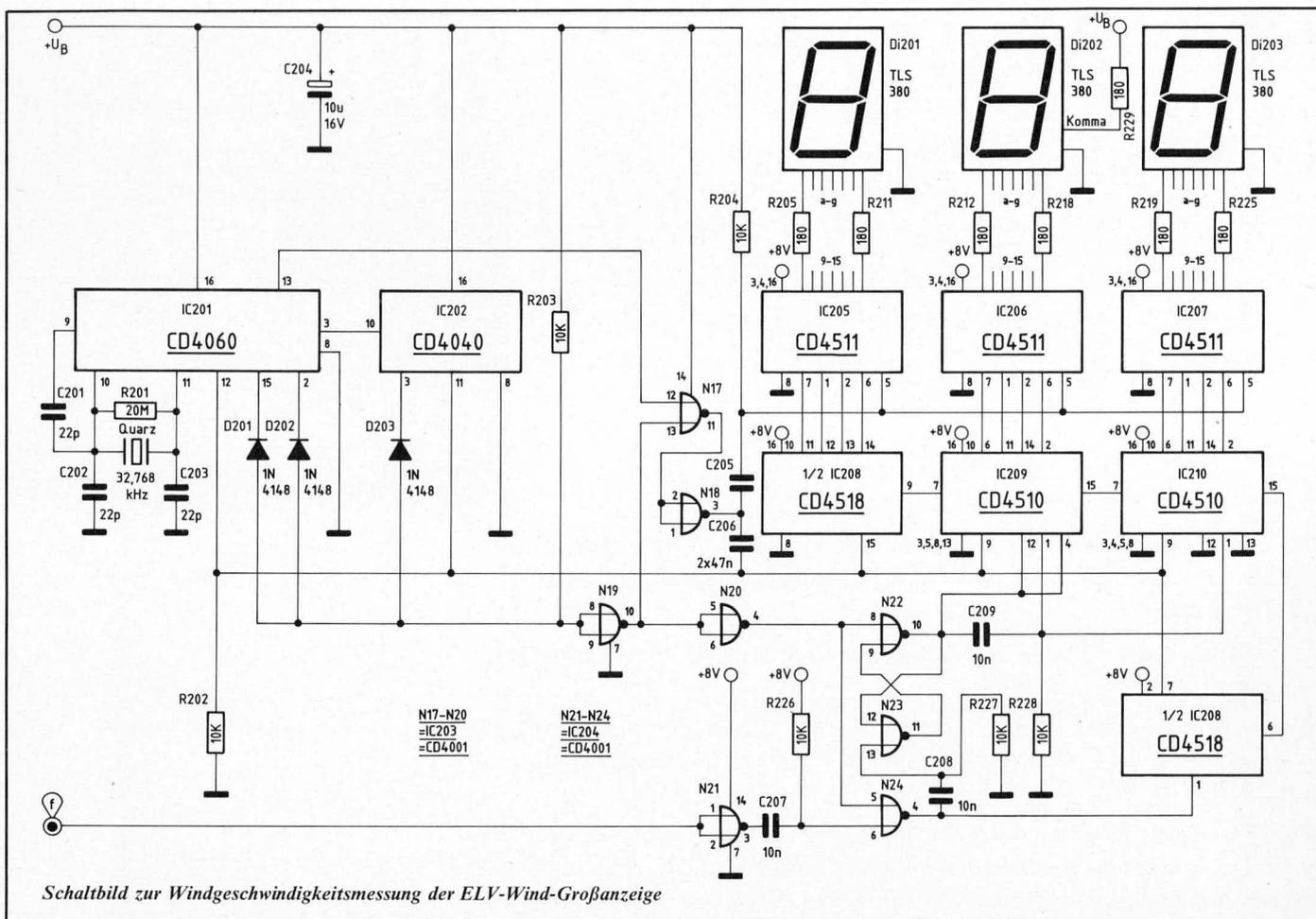
Für andere Anwendungen mit etwas geringeren Genauigkeitsanforderungen kann die Parallelverschiebung der Kurve vernachlässigt werden und von einer Umsetzrate von 12 Impulsen pro 1 kmh Windgeschwindigkeit ausgegangen werden.

Die Kurve ist linear bis hin zu höchsten Windgeschwindigkeiten (getestet bis 200 kmh — Hurricane entspricht ca. 120 kmh).

Der Windrichtungsaufnehmer besitzt 3 Datenleitungen. Die Amplitude der Steuersignale beträgt ca. 8 V.

1. Nullimpuls (entspricht Norden)
2. 72 auf den Umfang gleichmäßig verteilte Rechteck-Steuerimpulse
3. Signal wie unter 2 jedoch um 90 Grad phasenverschoben zur Drehrichtungserkennung

Die Elektronik hat nun die Aufgabe, beginnend beim Nullimpuls, die Signalimpulse zu zählen, unter Berücksichtigung der Drehrichtung. Auf diese Weise kann jederzeit die exakte Position der Windfahne bestimmt werden, wobei lediglich 3



Schaltbild zur Windgeschwindigkeitsmessung der ELV-Wind-Großanzeige

Datenleitungen erforderlich sind (zusätzlich natürlich noch Schaltungsmasse und die Stromversorgung).

Auf die detaillierte Schaltungsbeschreibung der Windmeßaufnehmer ist bereits in dem Artikel „ELV-Komfort-Wetterstation WS 7000“ in ELV journal Nr. 42 bis 44 ausführlich eingegangen, so daß an dieser Stelle auf eine weitere Erläuterung verzichtet werden soll.

### Windgeschwindigkeitsmessung

Die vom Windgeschwindigkeitsaufnehmer kommenden Rechteckimpulse gelangen über den Platinenanschlußpunkt „f“ auf den Eingang des Gatters N 21. Hier werden die Impulse geformt, invertiert und anschließend über C 207, R 226 differenziert. Diese Maßnahme dient dazu, daß bei stehendem Rotor an Pin 6 des Gatters N 24 „high“-Potential anliegt und der Zählerstand des nachfolgenden Dezimalzählers exakt „000“ beträgt.

Der zweite Eingang (Pin 5) des als Tor arbeitenden Gatters N 24 erhält die Freigabeimpulse (Torsteuerung). Dies bedeutet, daß für genau 8,13 Sekunden Pin 5 von N 24 „low“-Potential führt. Die Eingangsimpulse gelangen für diese Zeit auf den Eingang (Pin 1) des Dezimalteilers (1/2 IC 208). Hier werden die Signale durch 10 geteilt, um anschließend über Pin 6 dem Eingang (Pin 15 des IC 210) des 3-stufigen Digitalzählers zugeführt zu werden. Dieser besteht aus den beiden programmierbaren Dezimalzählern IC 209 und IC 210 sowie der dritten, nicht programmierbaren Stufe (1/2 IC 208).

Die Ausgänge dieser ICs steuern direkt die 3 Speicher/Dekoder/Treiber-ICs des Typs CD 4511 an (IC 205 bis IC 207), deren Ausgänge über R 205 bis R 225 die 3 Großdisplays treiben.

IC 209 und IC 210 werden auf die Anlaufhysterese programmiert. Im vorliegenden Fall ist eine feste Programmierung des IC 209 mit der Dezimalzahl 3 (3 kmh) entsprechend der Dualzahl „0011“ vorgenommen, während IC 210 auf „0000“ vorprogrammiert ist. Dem Endanwender steht die Möglichkeit offen, durch Auftrennen und Umlegen der Programmierleiterbahnen einen Feinabgleich der Anlaufhysterese vorzunehmen, die dem individuellen Meßwertaufnehmer entspricht, um so die Genauigkeit bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten zu optimieren. Da diese Möglichkeit jedoch nur in seltenen Fällen ausgeschöpft werden wird, haben wir eine feste Verdrahtung der Leiterplatte auf 3 kmh Anlaufhysterese vorgenommen, was dem mittleren, tatsächlichen Wert entspricht. Zu berücksichtigen ist hier selbstverständlich das Einlaufverhalten der Meßwertaufnehmer. Dies bedeutet, daß sich Präzisionswellen und Gleitlager aufeinander einstimmen müssen, um die minimalen Reibungswerte zu erreichen. Nach ca. 100 Stunden ist dieser Vorgang weitgehend abgeschlossen.

Die quartzgesteuerte Torzeit wird mit Hilfe der beiden ICs 201 und 202 mit Zusatzbeschaltung gewonnen und über N 19 und N 20 auf das Tor (N 24) gegeben.

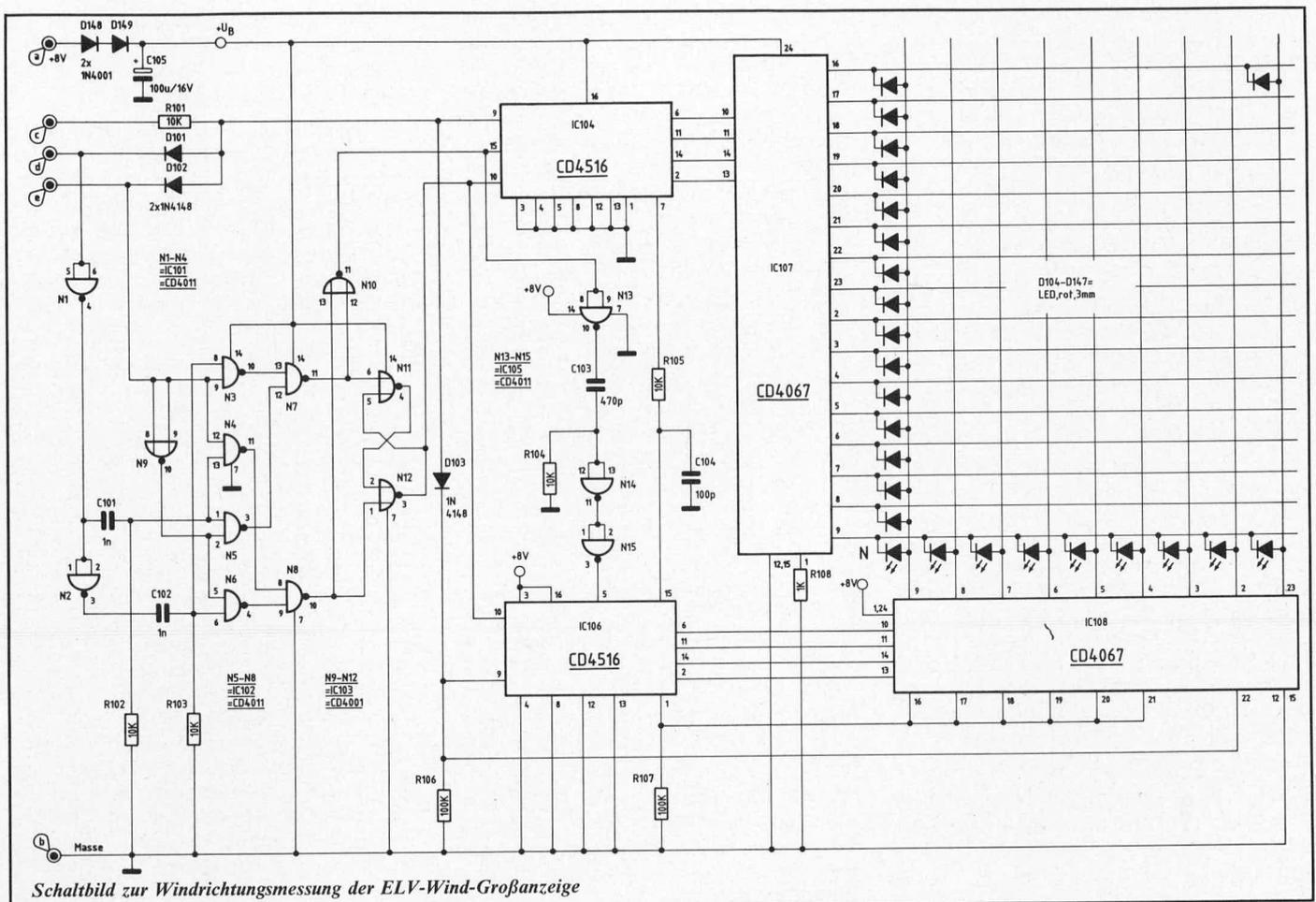
Die als Speicher geschalteten Gatter N 22, N 23 haben die Aufgabe, bei der Windgeschwindigkeit „000“ die Vorprogrammierung der ICs 209 und 210 zu unterdrücken. Erst wenn mindestens 1 Zählimpuls vom Windgeschwindigkeitsaufnehmer über C 208 auf N 23 (Pin 13) gelangt ist, wird der Speicher (N 22, N 23) gesetzt und die Vorprogrammierung ist aktiviert. Der Zähler (IC 208 bis IC 210) beginnt bei „3,0“ (kmh) zu zählen. Beim Ende einer jeden Torzeit wird ein Übernahmeimpuls über C 209 auf die entsprechenden Eingänge der ICs 209 und 210 gegeben, um die Übernahme zu ermöglichen. In der Praxis bedeutet dies, daß bei anhaltender Windstille erst bei der zweiten Messung die Anlaufhysterese hinzuzugewonnen wird.

Der Speicherimpuls zur Übernahme des Zählerstandes in den Anzeigenspeicher wird mit den Gattern N 17/N 18 sowie C 205/R 204 gewonnen, während der nachfolgende Reset-Impuls mit Hilfe von N 17/N 18 und C 206/R 202 erzeugt wird.

### Die Windrichtungsanzeige

Die drei vom Windrichtungsaufnehmer kommenden Datenleitungen werden an die Platinenanschlußpunkte „c“ (Nullimpuls), „d“ (Impulsleitung 1) sowie „e“ (Impulsleitung 2, um 90 Grad gegenüber Impulsleitung 1 phasenverschoben) angeschlossen.

Da der Nullimpuls etwas breiter als 1 Taktimpuls ist, wird er zusätzlich über D 101 und D 102 in Verbindung mit dem



Vorwiderstand R 101 verkürzt. Durch diese schaltungstechnische Maßnahme kann eine sehr präzise Nullimpulsabgabe realisiert werden. Am Reset-Eingang (Pin 9) des IC 104 sowie über D 103 des IC 106 wird ein exaktes „Nullsetzen“ (Richtung: Norden) bewirkt.

Vom Nullimpuls (Norden) ausgehend, stehen an den beiden Hauptdatenleitungen (d und e) für eine volle Umdrehung (360 Grad) 72 Rechteckimpulse an, die um 90 Grad gegeneinander phasenverschoben sind. Durch eine entsprechende Zählung der Impulse unter Berücksichtigung der Drehrichtung kann daraus die exakte Position zu jeder Zeit bestimmt werden. Grundsätzlich ist der Nullimpuls nur einmal nach dem Einschalten erforderlich, um das System in einen definierten Anfangszustand zu setzen. Dadurch, daß der Nullimpuls jedoch jedesmal beim Durchlaufen der Windfahne durch „Norden“ erneut auftritt, wird eine zusätzliche Störsicherheit erreicht.

Die weitere Auswertung der Windrichtung sieht nun wie folgt aus:

Die am Platinenanschlusßpunkt „d“ anstehenden Signalimpulse werden über die Gatter N 1 und N 2 geformt, invertiert und anschließend mit C 101/R 102 und C 102/R 103 differenziert. Es steht sowohl an jeder steigenden als auch an jeder fallenden Flanke eines jeden Rechteckimpulses ein Steuerimpuls zur Verfügung. Hierdurch wird die Auflösung verdoppelt (72 Rechteckimpulse entsprechen 144 Flankenwechsel). Die Auflösung liegt somit bei 360 Grad : 144 = 2,5 Grad.

Die differenzierten Impulse gelangen auf einen Digital-Umschalter, der mit den Gattern N 3 bis N 9 aufgebaut wurde.

Das am Platinenanschlusßpunkt „e“ anstehende zweite Steuersignal dient zur Ansteuerung des elektronischen Digital-Umschalters.

Am Ausgang (Pin 11) des Gatters N 7 stehen dann die Impulse zur Aufwärtszählung an, während am Ausgang (Pin 10) des Gatters N 8 die Impulse zur Abwärtszählung erscheinen. Die Impulse selbst haben eine Breite von 10 µsec.

Jeweils zu Beginn eines Impulses wird der mit N 11/N 12 aufgebaute Speicher gesetzt. Der Ausgang (Pin 3 von N 12) steuert die Auf-/Ab-Zähler IC 104 und IC 106 von Aufwärtszählern („high“) auf Abwärtszählen („low“).

Das Gatter N 10 gibt an seinem Ausgang (Pin 11) einen invertierten („low“) Impuls ab, der unabhängig vom Aufwärts- oder Abwärtszählen erscheint. Mit der steigenden Flanke (bei Impulsende) wird dann das Zähler-IC 104 an Pin 15 jeweils weitergeschaltet. Da 10 µsec vorher (beim Impulsanfang) der Speicher N 11/N 12 zur Richtungserkennung gesetzt wurde, ist eine korrekte Zählung unter Berücksichtigung der Drehrichtung gewährleistet.

Beim IC 104 des Typs CD 4516 handelt es sich um einen vorprogrammierbaren 4-stufigen Binär-Auf-/Ab-Zähler (Teiler durch 16). In der vorliegenden Beschaltung des IC 104 wird von der Vorpro-

grammierung kein Gebrauch gemacht, da die gesamte Zählkapazität (0 bis 15) zum Einsatz kommt.

Insgesamt sind 144 Leuchtdioden anzusteuern, so daß ein weiterer Zähler mit einer Zählkapazität von 0 bis 8 (Teiler durch 9) benötigt wird ( $16 \times 9 = 144$ ).

Diese Aufgabe übernimmt das IC 106 (ebenfalls CD 4516), das über R 105 dem IC 104 nachgeschaltet ist. Den Eingang stellt Pin 15 des IC 106 dar. C 104 bewirkt eine geringfügige Verzögerung der Eingangsimpulse, damit die Auf-/Ab-Funktion gesetzt ist, bevor der Übernahmeimpuls auf Pin 15 des IC 106 gelangt. Ähnlich verhält es sich mit den Impulsformstufen N 13 bis N 15 mit zwischengeschaltetem Differenzierglied, die auf den Anschluß Pin 5 des IC 106 arbeiten und bei bestimmten Zählerständen den Übernahmeimpuls unterdrücken. Dies ist wichtig, damit in allen Betriebsbereichen ein einwandfreies Zählen in beide Richtungen ohne Fehlimpulse gewährleistet ist.

Eine weitere Besonderheit stellt die Begrenzung auf den Zählerstand „8“ dar. Beim Aufwärtszählen wird beim Erreichen des Zählerstandes „9“ IC 106 über IC 108 sofort auf „0“ zurückgesetzt (Reset-Impuls auf Pin 9 des IC 106).

Wird hingegen rückwärts gezählt, soll nach dem Zählerstand „0“ nicht der Zählerstand „15“, sondern „8“ folgen. Hier kommt nun die Programmiermöglichkeit zum Tragen. Sobald der Zähler auf die Position „15“ springt, wird sofort ebenfalls wieder über IC 108 der Program-

miereingang (Pin 1 des IC 106) aktiviert und der Zähler nimmt unmittelbar die Stellung „8“ ein. Auf diese Weise wird sowohl beim Aufwärts- als auch beim Abwärtszählen nur im Bereich von 0 bis 8 bzw. von 8 bis 0 gearbeitet.

Bei den ICs 107 und 108 des Typs CD 4067 handelt es sich um 16-Kanal-Multiplexer. IC 107 wird von IC 104 angesteuert, während IC 108 dem IC 106 nachgeschaltet ist.

Die 144 Leuchtdioden werden in 16 Zeilen vom IC 107 sowie in 9 Spalten vom IC 108 angesteuert. Auf diese Weise kann jede der 144 Leuchtdioden vollkommen getrennt von den übrigen eingeschaltet werden.

Wie bereits erwähnt, dienen die 9 Ausgänge 0 bis 8 des IC 108 zur Spaltungsansteuerung der LEDs, während der Ausgang „9“ zum Rücksetzen des IC 106 und die Ausgänge 10 bis 15 zum Vorprogrammieren (über Pin 1) des IC 106 dienen. Hierbei wäre eigentlich nur der Ausgang „15“ erforderlich. Um definierte Bedingungen auch im Einschaltmoment zu erhalten, falls sich entsprechend andere Zählerstände des IC 106 einstellen würden, sind die übrigen Ausgänge (10 bis 15) ebenfalls mit beschaltet.

R 108 dient zur Strombegrenzung der jeweils eingeschalteten Leuchtdiode (D 104 bis D 147).

### Das Netzteil

Die Stromversorgung der ELV-Wind-Großanzeige erfolgt über einen Netztransformator mit einer Leistung von 35 VA.

Das Basisgerät selbst benötigt hiervon lediglich ca. 5 VA für Elektronik und Digitalanzeige. Die Hauptmenge wird für die Wind-Meßwertempfänger bereitge-

stellt und hier im wesentlichen für die Heizung. Im Jahresmittel wird in unseren Breitengraden die erforderliche Heizleistung zwischen 5 Watt und 10 Watt liegen, die dann zu der Leistungsaufnahme der Basisstation hinzuzurechnen ist. Sinken jedoch die Außentemperaturen deutlich unter den Gefrierpunkt, fordern die beiden Heizungsregler für Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsaufnehmer mehr Leistung ab, wodurch die Gesamtstromaufnahme entsprechend ansteigt.

Die Versorgung der Basisstation erfolgt aus der 9 V/0,6 A-Wicklung.

Die beiden 11 V/1 A-Wicklungen (22 V mit Mittelanzapfung) versorgen sowohl den Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsaufnehmer (einschl. Heizung), als auch die darin angeordnete Elektronik, wobei eine interne Spannungsstabilisierung innerhalb der Windmeßaufnehmer-einheiten vorhanden ist.

### Zum Nachbau

Von den Windmeßwertempfängern einmal abgesehen, deren Beschreibung im „ELV journal“ Nr. 42 bis 44 ausführlich dargestellt ist, wird die gesamte, hier vorgestellte Schaltung auf 2 Leiterplatten aufgebaut.

Die Stromversorgung findet auf einer einseitigen Leiterplatte Platz, während die gesamte übrige Elektronik auf einer doppelseitig durchkontaktierten Platine untergebracht wird.

Die Bestückung wird in gewohnter Weise vorgenommen, wobei zunächst die passiven und anschließend die aktiven Bauelemente auf die Platine gesetzt und verlötet werden.

Die 144 Leuchtdioden sind in einem Abstand von 12 mm auf die Platine zu set-

zen und auf der Rückseite zu verlöten (gemeint ist der Abstand von der Bestückungsseite der Platine zur Gehäuseunterseite der Leuchtdiode).

Da es sich um eine durchkontaktierte Leiterplatte handelt, brauchen die Lötungen ausschließlich von der Platinenunterseite durchgeführt zu werden. Die zahlreichen, nicht mit Bauteilen bestückten Bohrungen haben die Aufgabe, aufgrund ihrer Durchkontaktierung eine leitende Verbindung von oberer zu unterer Platine herzustellen.

Die drei 7-Segment-Großdisplays werden als letztes über jeweils drei 5 mm Distanzhülsen und zugehörigen Schrauben und Muttern mit der Basisplatine verschraubt. Die elektrische Verbindung erfolgt über 22, direkt von oben nach unten durchgelöte, ca. 10 mm lange Silberdrahtabschnitte.

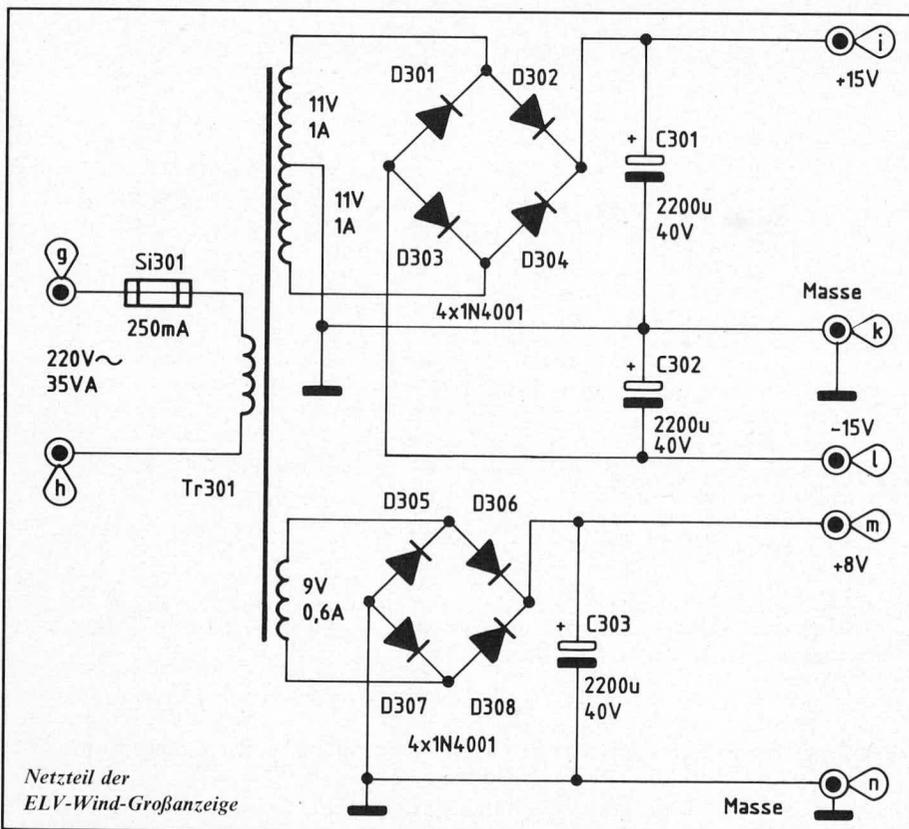
Vom Netzteil, das in einem geschlossenen, berührungssicheren Gehäuse unterzubringen ist, führen 2 Leitungen („n“ und „m“) zur Basisstation und 3 Anschlüsse („i“, „k“, „l“) zu den Windmeßaufnehmern. Zusätzlich führen 4 Steuerleitungen (3 für Windrichtung und 1 für Windgeschwindigkeit) von den Windmeßaufnehmern zur Basisstation. Grundsätzlich bietet es sich an, wie auch bei der ELV-Komfort-Wetterstation WS 7000 eine 8-adrige Zuleitung von den Windmeßaufnehmern zum Netzteil zu legen. Die Verteilung der 8 Adern sieht wie folgt aus:

1. + 15 V
  2. und 3.: Masse (doppelt legen)
  4. - 15 V
  5. Signalleitung für Windgeschwindigkeit
  6. Signalleitung für Windrichtung-Nullimpuls
  7. Signalleitung für Windrichtung-Signal 1
  8. Signalleitung für Windrichtung-Signal 2
- Vom Netzteil aus führen die 4 Signalleitungen sowie die Schaltungsmasse (ebensofalls wieder zweifach legen) und die positive 8 V Versorgungsspannung zur Basisstation.

Da die Basisstation ausschließlich mit Niederspannung betrieben wird, kann die Elektronik teilweise sichtbar bleiben, d. h. das verwendete Gehäuse braucht nicht unbedingt hermetisch geschlossen und berührungssicher zu sein (wohl aber das Netzteilgehäuse).

Die 3adrige Netzzuleitung wie auch die beiden anderen Kabelstränge werden über 3 Kabeldurchführungen mit Knickschutztüle und Zugentlastung in das Netzteilgehäuse geführt. Der Schutzleiter wird mit der Schaltungsmasse verbunden.

Als besonders dekorativ erweist sich z. B. eine 3 mm starke rote, transparente Plexiglasscheibe. An die Rückseite können an den entsprechenden 4 Stellen Abstandbefestigungsbolzen geklebt werden, die anschließend mit der Leiterplatte zu verschrauben sind oder aber es können 4 Bohrungen durch die Frontplatte gebohrt werden, so daß dann über Schrauben und Distanzhülsen die mechanische Verbindung zustandekommt.



Netzteil der ELV-Wind-Großanzeige

**Stückliste:**  
**Wind-Großanzeige**  
**Windrichtungsanzeige**

**Halbleiter**

IC 101, IC 102, IC 105	.....	CD 4011
IC 103	.....	CD 4001
IC 104, IC 106	.....	CD 4516
IC 107, IC 108	.....	CD 4067
D 101-D 103	.....	1 N 4148
D 104-D 147	.....	LED, 3 mm, rot
D 148, D 149	.....	1 N 4001

**Kondensatoren**

C 101, C 102	.....	1 nF
C 103	.....	470 pF
C 104	.....	100 pF
C 105	.....	100 µF/16 V

**Widerstände**

R 101-R 105	.....	10 kΩ
R 106, R 107	.....	100 kΩ
R 108	.....	1 kΩ

**Sonstiges**

6 Lötstifte

**Windgeschwindigkeitsanzeige**

**Halbleiter**

IC 201	.....	CD 4060
IC 202	.....	CD 4040
IC 203, IC 204	.....	CD 4001
IC 205-IC 207	.....	CD 4511
IC 208	.....	CD 4518
IC 209, IC 210	.....	CD 4510
D 201-D 203	.....	1 N 4148
Di 201-Di 203	.....	TLS 380

**Kondensatoren**

C 201-C 203	.....	22 pF
C 204	.....	10 µF/16 V
C 205, C 206	.....	47 nF
C 207-C 209	.....	10 nF

**Widerstände**

R 201	.....	10 MΩ
R 202-R 204, R 226-R 228	.....	10 kΩ
R 205-R 225, R 229	.....	180 Ω

**Sonstiges**

- 1 Quarz 32,768 kHz
- 30 cm Silberdraht
- 9 Schrauben M 3 x 10
- 9 Muttern M 3
- 9 5 mm Abstandsrollchen

**Netzteil**

**Halbleiter**

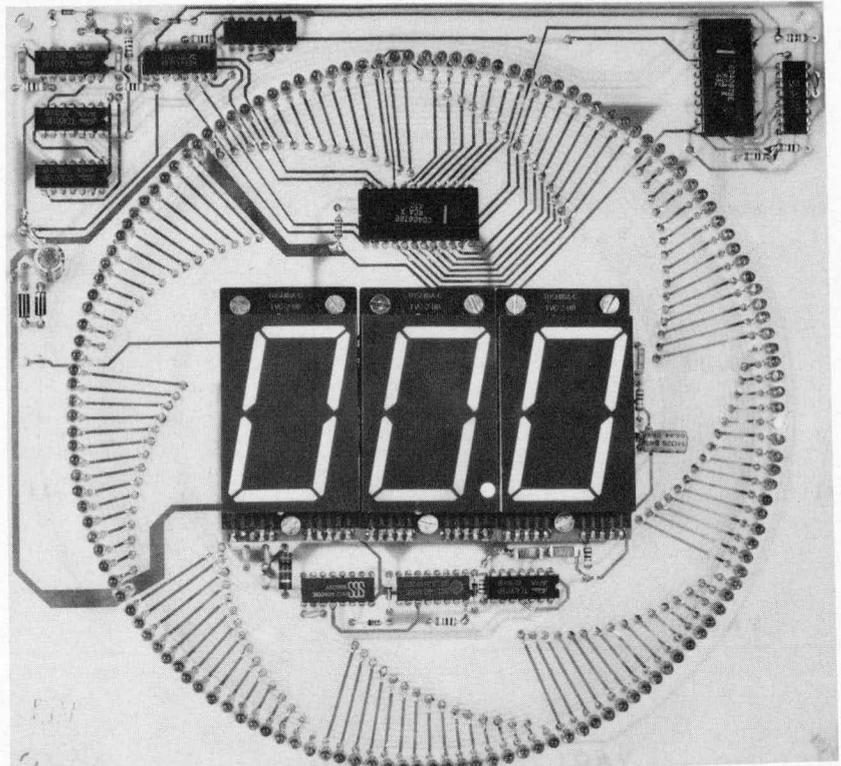
D 301-D 308	.....	1 N 4001
-------------	-------	----------

**Kondensatoren**

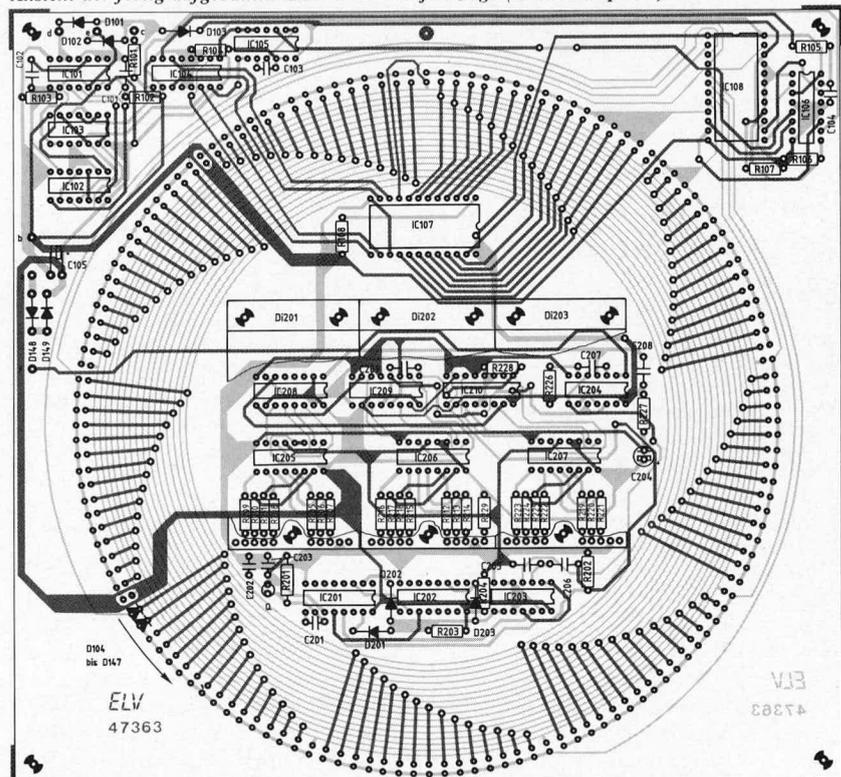
C 301-C 303	.....	2200 µF/40 V
-------------	-------	--------------

**Sonstiges**

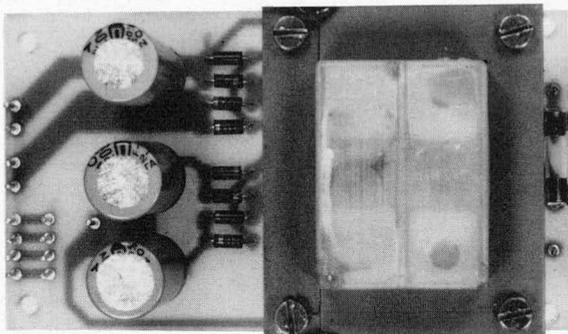
- Si 301 ..... 250 mA Sicherung
- Tr 301 ..... Trafo prim.: 220 V/35 VA  
sek.: 2 x 11 V/1 A, 1 x 9 V/0,6 A
- 1 Platinensicherungshalter
- 17 Lötstifte
- 4 Schrauben M 4 x 55
- 12 Muttern M 4
- 4 Schrauben M 3 x 5
- 3 Zugentlastungen mit Knickschutz
- 1 3adrige Netzleitung



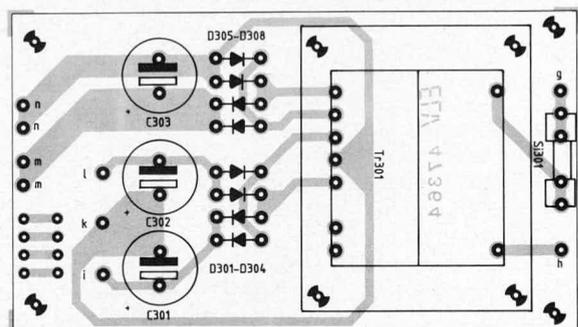
Ansicht der fertig aufgebauten ELV-Wind-Großanzeige (ohne Frontplatte)



Bestückungsplan der ELV-Wind-Großanzeige (Originalgröße: 220 mm x 200 mm)



Ansicht des Netzteils zur ELV-Wind-Großanzeige



Bestückungsplan (Originalgröße: 69 mm x 125 mm)

# Geiger-Müller-Zähler GMZ 2

Für professionellen Einsatz

- *Gamma-Strahlungsmesser mit Valvo-Zählrohr ZP 1310*
- *4-stellige Digital-LCD Anzeige*
- *6 Meßbereiche:*
  - 1. kumulierend (fortlaufend zählend mit einer Empfindlichkeit von ca. 0,17  $\mu\text{rem}$  pro Impuls),*
  - 2. 1 mrem/h, Auflösung 0,1  $\mu\text{rem}/\text{h}$  (!)*
  - 3. 10 mrem/h, Auflösung 1  $\mu\text{rem}/\text{h}$*
  - 4. 100 mrem/h, Auflösung 10  $\mu\text{rem}/\text{h}$*
  - 5. 1 rem/h, Auflösung 100 mrem/h*
  - 6. 10 rem/h, Auflösung 1 mrem/h*
- *hohe Grundgenauigkeit von typ. 5 %*
- *große Auflösung von 0,1  $\mu\text{rem}/\text{h}$  (!)*
- *Meßzeiten von ca. 0,6 sec (Meßbereich 6) bis 6000 sec. (Meßbereich 2)*
- *zusätzlich zur Digitalanzeige wahlweise akustische oder optische Anzeige eines jeden Zählimpulses (kurzer 2kHz Signalton oder LED-Leuchtimpuls)*
- *Anzeige direkt in der gebräuchlichen Einheit „Millirem pro Jahr“*
- *hohe Ansprechempfindlichkeit, d. h. bereits die normale Umweltstrahlung von ca. 10 bis 40  $\mu\text{rem}/\text{h}$  wird mit einer Stelle hinter dem Komma (z. B. 20,0  $\mu\text{rem}/\text{h}$ ) aufgelöst*
- *elektronisch stabilisierte 400 V-Zählrohrspannung mit hohem Wirkungsgrad*
- *geringer Stromverbrauch von ca. 2,5 mA*
- *Unterspannungs- und Überlaufanzeige*



## Allgemeines

Bestückt mit insgesamt 13 zum Teil höher integrierten ICs, 7 Transistoren, 12 Dioden sowie zahlreichen passiven Bauelementen ist dieser hochwertige professionelle Geiger-Müller-Zähler auf einer doppelseitig durchkontaktierten Leiterplatte in kompakter Bauweise gefertigt. Nicht zuletzt daraus resultiert die hohe Leistungsfähigkeit des Gerätes mit insgesamt 6 Meßbereichen. Da für den Abgleich stark radioaktiv strahlende Präparate benötigt werden, wird der GMZ 2 nur als Fertiggerät angeboten.

Im „ELV journal“ Nr. 46 ist unter der Überschrift „Radioaktivität – Entstehung, Messung und Wirkung“ von Prof. Dr. rer. nat. Siegfried Fellmann auf 10 Seiten ein ausführlicher Bericht veröffentlicht, der sich mit dem komplexen Thema rund um die Radioaktivität befaßt. Hierbei werden neben den Grundlagen ausführlich die Strahlendosimetrie, die Strahlenbelastung, die Strahlenschädigung, der Strahlenschutz sowie aktuelle Komponenten ausführlich behandelt. Wir wollen uns daher an dieser Stelle auf die Eigenschaften des hier vorgestellten GMZ 2 beschränken.

Darüber hinaus ist ebenfalls im „ELV journal“ Nr. 46 die ausführliche Bauanleitung des Geiger-Müller-Zählers GMZ 1 veröffentlicht. Im Rahmen des 5-seitigen Artikels ist neben einer leicht verständlichen allgemeinen Einführung in die Ra-

dioaktivitätsmessung ein Kapitel den Auswirkungen auf den Menschen sowie ein weiteres Kapitel den Verhaltensempfehlungen bei erhöht auftretender radioaktiver Strahlung gewidmet. Der interessierte Leser wird in den beiden vorstehend erwähnten Artikeln sicherlich viele Informationen finden.

## Allgemeine Betriebshinweise

Auf der linken Geräteseite befindet sich ein 3-stelliger Schiebeschalter.

In Mittelstellung („aus“) ist das Gerät ausgeschaltet. Wird der Schiebeschalter in die obere Stellung (Lautsprechersymbol) gebracht, so ertönt bei jedem Zählrohrimpuls ein kurzer, 30 millisec. andauernder 2-kHz-Signalton.

In der unteren Schalterstellung (Lampensymbol) erfolgt die Anzeige eines jeden Zählrohrimpulses optisch über eine LED. Der 2-kHz-Signalgeber ist ausgeschaltet.

Ein Rücksetzen der 4-stelligen Digitalanzeige auf „0000“ erfolgt durch Drehen des 6-stelligen Meßbereichsschalters aus einer beliebigen Stellung heraus auf Stellung „1“.

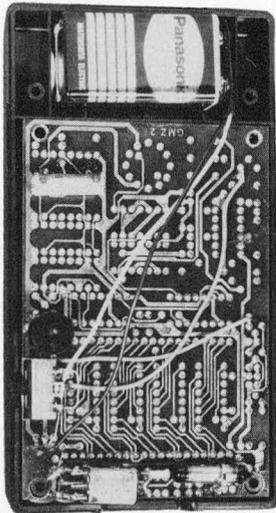
Die Lebensdauererwartung des verwendeten Zählrohres beträgt  $5 \times 10^{10}$  Impulse. Dies entspricht einer ca. 10-jährigen Dauerbetriebszeit bei einer Dosisleistung von 10 mrem/h (Meßbereichsendwert des 3. Meßbereiches).

## Meßbereiche des GMZ 2

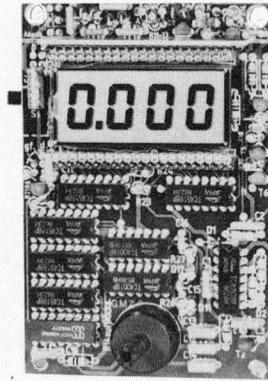
Die eingangs beschriebenen herausragenden Daten des GMZ 2 konnten durch den konsequenten Einsatz neuester Technologie realisiert werden. Hierzu zählt u. a. der sehr große Meßbereichsumfang, der 8 Dekaden überstreicht (gemeint ist das Verhältnis vom Meßbereichsendwert des größten Meßbereiches zur Auflösung des kleinsten Meßbereiches; hier: 10 rem/h : 0,1  $\mu\text{rem}/\text{h}$  = 100 000 000). Auf diese Weise kann sowohl die kleinstmögliche zu erwartende Umweltstrahlung mit guter Auflösung gemessen werden, als auch extrem hohe Dosisleistungen. Das Gerät ist somit universell einsetzbar.

### 1. Meßbereich:

Dieser erste Meßbereich unterscheidet sich von den 5 weiteren Bereichen wesentlich. Hier werden die vom Zählrohr abgegebenen Impulse fortlaufend gezählt (kumulierende Messung), und zwar ohne zeitliche Begrenzung. Jeder angezeigte Impuls steht hierbei für eine mittlere typische Strahlendosis von 0,17  $\mu\text{rem}$ . Die Meßzeit kann somit für einen nahezu beliebigen Zeitraum manuell festgelegt werden. In dem Moment, in dem der 6stellige Meßbereichswahlschalter in Stellung „1“ gebracht wird, erfolgt ein automatisches Zurücksetzen des Zählers und der Anzeige auf „0000“. Die maximal mögliche Meßzeit wird lediglich durch die Zählkapazität von  $5 \times 10^{10}$  Impulsen und



Rückansicht des ELV-Geiger-Müller-Zählers GMZ 2 (Gehäuserückwand abgenommen)



Ansicht der fertig bestückten Platine des ELV-Geiger-Müller-Zählers GMZ 2



Ansicht des betriebsfertigen ELV-Geiger-Müller-Zählers GMZ 2

die Batteriebensdauer (je nach verwendetem Typ bis zu 200 Stunden) begrenzt. Geeignet ist dieser Meßbereich bevorzugt für die Registrierung sehr geringer radioaktiver Strahlung.

## 2. Meßbereich:

Dies ist der empfindlichste Meßbereich zur Messung kleinster Dosisleistungen. Der Meßbereichsendwert beträgt 1 mrem/h bei einer Auflösung von 0,1  $\mu$ mrem/h. Die Meßzeit beträgt hierbei ca. 100 Minuten. Beim Einschalten des Gerätes zeigt die Anzeige einen beliebigen Wert. Durch Verdrehen des Meßbereichswahlschalters zunächst in Stellung „1“ und anschließend wieder auf „2“ (oder eine andere Stellung) wird die Anzeige auf „0000“ zurückgesetzt. Nach Ablauf von ca. 100 Minuten erscheint dann der Meßwert auf der Anzeige. Dieser Wert bleibt solange erhalten, bis nach weiteren 100 Minuten der bei der 2. Messung ermittelte Wert zur Anzeige gebracht wird usw. Die Messungen erfolgen fortlaufend, wobei das Ergebnis unmittelbar nach Beendigung eines jeden Meßzyklus angezeigt wird, wobei gleichzeitig der nächste Meßzeitraum beginnt.

## 3. Meßbereich:

Der Meßbereichsendwert beträgt 10 mrem/h bei einer Auflösung von 1  $\mu$ mrem/h und einer Meßzeit von ca. 10 Minuten pro Meßzyklus.

## 4. Meßbereich:

Der Meßbereichsendwert beträgt 100 mrem/h bei einer Auflösung von 10  $\mu$ mrem/h und einer Meßzeit von ca. 1 Minute pro Meßzyklus.

## 5. Meßbereich:

Der Meßbereichsendwert beträgt 1000 mrem/h entsprechend 1 rem/h bei einer Auflösung von 100  $\mu$ mrem/h und einer Meßzeit von ca. 6 Sekunden pro Meßzyklus.

## 6. Meßbereich:

Der Meßbereichsendwert beträgt 10000 mrem/h entsprechend 10 rem/h bei einer Auflösung von 1 mrem/h und einer Meßzeit von ca. 0,6 Sekunden pro Meßzyklus.

## Genauigkeit:

Die Grundgenauigkeit des Gerätes, d. h. der Elektronik einschließlich des Zählrohres liegt bei typ. 3 %. Dies gilt für die Meßbereiche 2 bis 6. Der Meßbereich 1 ist nicht kalibrierfähig, so daß dort die Genauigkeit bei typ. 5 % liegt.

Im folgenden soll noch auf eine wesentliche Besonderheit im Zusammenhang mit der Messung radioaktiver Strahlung hingewiesen werden:

Die Impulsrate des Geiger-Müller-Zählrohres steht in weiten Grenzen in direktem linearen Zusammenhang mit der Stärke der radioaktiven Strahlung. Die Impulshäufigkeit folgt jedoch darüber hinaus statistischen Gesetzmäßigkeiten. In den Meßergebnissen ist demzufolge eine gewisse Unregelmäßigkeit zu erkennen.

In der Praxis bedeutet dies, daß bei einer konstanten Dosisleistung die Streuung der einzelnen Meßwerte der mathematischen Gauß-Verteilungskurve folgen. In der Praxis bedeutet dies, daß 70 % der Meßwerte im Bereich  $x \pm \sqrt{x}$  liegen, während 95 % der Meßwerte im Bereich  $x \pm 2\sqrt{x}$  liegen und 99,7 % der Meßwerte im Bereich von  $x \pm 3\sqrt{x}$ . Mit „x“ ist hierbei der absolut korrekte Meßwert bezeichnet.

Zum besseren Verständnis soll folgendes Beispiel dienen:

Wir nehmen hierzu an, daß der korrekte Wert („x“) der Dosisleistung 9000 mrem/h beträgt.

Wird nun im Meßbereich 3 gemessen, so würde aufgrund der Auflösung in diesem Meßbereich die korrekte Anzeige 9000 mrem/h betragen. Ca. 70 % der Meßwerte, die auf der Anzeige nacheinander abzulesen sind, liegen jetzt im Bereich zwischen  $9000 \text{ mrem/h} \pm \sqrt{9000} \text{ Digit} = 9000 \pm 95$ , also 8905 und 9095.

Wird die gleiche Messung im 4. Meßbereich durchgeführt, so erscheint beim korrekten Meßwert auf der Anzeige „0900“, also nur 900 Digit. 70 % der

nacheinander folgenden Meßwerte liegen somit im Bereich zwischen  $900 \pm \sqrt{900} = 900 \pm 30$ , also 870 und 930.

Aus vorstehendem Beispiel ist zu erkennen, daß die Genauigkeit mit steigender Anzahl der auf der Anzeige erscheinenden Digits zunimmt.

Abschließend sei noch erwähnt, daß vorgenanntes Verhalten keine spezielle Eigenschaft des GMZ2 ist, sondern grundsätzlich bei der Messung radioaktiver Strahlung zu berücksichtigen ist.

Die verhältnismäßig lange Meßzeit der empfindlichsten Meßbereiche zur Erzielung der extrem hohen Auflösung spielt im allgemeinen eine untergeordnete Rolle, da üblicherweise bei der Ausmessung extrem geringer Dosisleistungen keine Eile geboten ist.

Ist zu vermuten, daß eine erhöhte radioaktive Strahlung vorhanden ist, die möglichst sofort erfaßt werden soll, beginnt man mit der Messung sinnvollerweise im Meßbereich 6, da hier das Ergebnis bereits nach weniger als 1 Sekunde angezeigt wird. Liegt das Ergebnis im Bereich von wenigen Digits (oder sogar bei 0), so schaltet man auf Meßbereich 5 (6 Sekunden Meßzeit) zurück, um eine genauere Aussage zu erhalten. Ist die Dosisleistung so gering, daß auch hier nur wenige Digits bzw. „0“ auf der Anzeige erscheint, kann auf Meßbereich 3 oder 2 zurückgeschaltet werden, um bei entsprechendem Zeitaufwand eine hohe Auflösung zu erreichen.

In der Mitte des 4-stelligen Displays befindet sich ein Doppelpunkt, der beim Meßbereichsüberlauf sowie bei Batterieunterspannung erscheint. Ist die Überschreitung der Anzeigenkapazität die Ursache, verlischt der Punkt, sobald auf den größten Meßbereich („6“) geschaltet wird (wir gehen hierbei davon aus, daß keine höheren Dosisleistungen als 10 rem/h auftreten). Ist eine Batterieunterspannung die Ursache, so muß innerhalb der nächsten wenigen Stunden eine frische Batterie eingesetzt werden.

# ELV-Serie micro-line

## Funkuhrensystem DCF 86

### Teil 3

*Im hier vorliegenden dritten und letzten Teil dieses Artikels stellen wir Ihnen die komplette Aufbaubeschreibung mit den Platinenlayouts vor.*

#### Zum Nachbau

Der Aufbau des eigentlichen Funkuhrensystems DCF 86 erfolgt auf 3 Leiterplatten, die in ein Gehäuse der ELV-Serie micro-line eingebaut werden können. Es sind dies

1. die Anzeigenplatine
2. die Basisplatine mit dem Haupt-IC des Typs ELV 8602 sowie
3. die Empfängerplatine (nicht zu verwechseln mit der Antennenplatine).

Darüber hinaus ist eine kleine Leiterplatte für die aktive Empfangsantenne erforderlich, die über eine ca. 2,5 m lange flexible, isolierte, 2adrige abgeschirmte Leitung mit der eigentlichen Funkuhr verbunden wird.

Außerdem besteht die Möglichkeit, das Funkuhrensystem DCF 86 zum Schalten von Verbrauchern, die aus dem 220 V-Netz betrieben werden, einzusetzen. Hierzu steht eine kleine Relaisplatine zur Verfügung, die in ein Steckergehäuse mit integrierter Schuko-Steckdose eingebaut werden kann. Sie wird über eine 2adrige, mit einem 3,5 mm Klinkenstecker versehene Zuleitung, nach Bedarf an die eigentliche Funkuhr angekoppelt. Auf der Gehäuserückseite besitzt die DCF 86 hierzu 2 Stück 3,5 mm Klinkenbuchsen, da 2 voneinander unabhängige Schaltgänge zur Verfügung stehen.

Eine dritte Klinkenbuchse des gleichen Typs dient zur Einspeisung der 9 V Betriebsgleichspannung aus einem Stecker-Netzteil.

Der Aufbau wird in gewohnter Weise vorgenommen. Zunächst werden die passiven und anschließend die aktiven Bauelemente anhand der Bestückungspläne auf die Platinen gesetzt und verlötet. Da sämtliche Bauelemente einschließlich Antennenstab (über Sockel), Printtaster und Buchsen auf den Platinen untergebracht sind, ist der Aufbau recht einfach durchzuführen.

Nachdem die Bestückung nochmals sorgfältig kontrolliert wurde, wird die Anzeigenplatine senkrecht an die Basisplatine gelötet, und zwar so, daß die Anzeigenplatine ca. 1,5 mm unterhalb der Leiterbahnseite der Basisplatine hervorsteht.

Die Empfängerplatine, auf der auch Platz für die 9 V Blockbatterie (bzw. Akku) vorhanden ist, wird über 11 Silberdrahtstücke in einem Abstand von 36 mm mit der Basisplatine verbunden. Die

Bestückungsseiten beider Platinen weisen hierbei zueinander hin, d. h. die Bauelemente der oberen Empfängerplatine weisen nach unten. Die Silberdrahtabschnitte stehen hierbei senkrecht auf den beiden Platinen.

In die Gehäuserückwand werden 11 Bohrungen an den entsprechenden Stellen für die 5 Taster, die beiden Klinkenbuchsen für die Schaltausgänge, die Klinkenbuchse für die Stromversorgung, die Schallöffnung für den 2 kHz-Signalgeber, die Bohrung zur Helligkeitseinstellung sowie für die Antennenzuleitung eingebracht.

Die abgeschirmte Antennenzuleitung wird an die Platinenanschlußpunkte „a“ (positive 5 V Versorgungsspannung), „b“ (Signalleitung) und „c“ (Abschirmung = Schaltungsmasse) angelötet.

Bei der Aktiv-Empfangsantenne ist zu beachten, daß die Spulen L101/L102 abzugleichen sind. Durch geringfügiges Verschieben auf dem Ferritstab (Vorsicht, Zuleitungen nicht abreißen) kann ein Feinabgleich des Empfangskreises auf die Sendefrequenz von 77,500 kHz vorgenommen werden. Die optimale Einstellung ist an einer möglichst hohen Spannung an Pin 10 des ICs 201 zu erkennen. Das Spannungsmaximum ist stark von der jeweiligen Empfangslage abhängig und liegt im Bereich zwischen 50 mV und 800 mV.

Die fertig aufgebaute und abgegliche Aktivantenne kann anschließend in ein Kunststoffrohr eingebaut werden. Hierzu wird sie mit etwas Schaumstoff umwickelt, um anschließend vorsichtig in das Rohr geschoben zu werden. Die Rohrenden können mit 2 kreisrunden Leiterplattenausschnitten abgedeckt und verklebt werden. Es besteht auch die Möglichkeit, die gesamte Anordnung mit Gießharz auszufüllen, wodurch sich eine besonders widerstandsfähige Ausführung ergibt.

Die beiden Schaltzusätze sind identisch aufgebaut. Die kleine Relaisplatine mit dem Sicherungshalter wird in ein Steckergehäuse mit integrierter Schuko-Steckdose eingebaut und in dem Gehäuse mit 2 Schrauben M3 x 5 mm verschraubt. Die Verbindung von Schuko-Stecker zu Schuko-Steckdose erfolgt über flexible isolierte Leitungen mit einem Querschnitt von 1,5 mm<sup>2</sup>. Der Schutzleiter (gelb/grün) wird direkt verbunden sowie ein Pol von Stecker und Steckdose. Der zweite Pol



des integrierten Schuko-Steckers wird mit dem Platinenanschlußpunkt „k“ und der zweite Pol der Schuko-Steckdose mit dem Platinenanschlußpunkt „l“ verbunden. An die Platinenanschlußpunkte „g“ und „h“ wird eine 2adrige flexible isolierte Zuleitung gelötet, an deren Ende sich der 3,5 mm Klinkenstecker befindet. Der korrekte Anschluß ist wichtig, da bei falscher Polarität die Schutzdiode D501 (D601) einen Kurzschluß verursacht. Auf letztgenannten Schaltungsteil kann verzichtet werden, sofern die Uhr nicht als Schaltuhr, sondern lediglich als Weckuhr über den 2 kHz-Signalton eingesetzt werden soll.

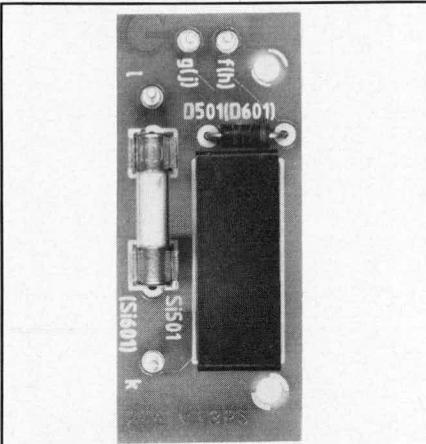
Im Zusammenhang mit der Stromversorgung soll noch auf eine Besonderheit hingewiesen werden: Üblicherweise liegt bei Klinkenbuchsen, die zur Stromversorgung dienen, am Außenkontakt der Minuspol. Damit in der hier vorliegenden Schaltung der Schaltkontakt in der Klinkenbuchse zur Notstromversorgungsunterbrechung benutzt werden kann, wurde die Polarität vertauscht. Am Außenkontakt ist hier der Pluspol anzuschließen.

#### Ausrichten der Aktiv-Empfangsantenne

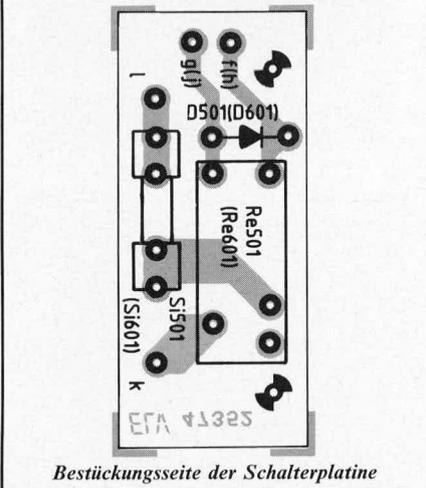
Die Ferritantenne befindet sich zusammen mit einem HF-Vorverstärker auf der Antennenplatine. Sie ist mit einer 2adrigen abgeschirmten Zuleitung mit dem Antennenanschluß des Basisgerätes der DCF 86 verbunden. Die Anordnung der Antenne sollte waagrecht mit mindestens 1 m Abstand zum Basisgerät erfolgen. Ebenso ist ein ausreichender Abstand zu Netzzuleitungen, Leuchtstofflampen, Fernsehgeräten, Mikrocomputern usw. einzuhalten. Die Ausrichtung der Antenne erfolgt so, daß die Breitseite des Ferritstabes in Richtung Frankfurt zeigt. Die korrekte Ausrichtung ist u. a. auch daran zu erkennen, daß in den ersten Minuten nach dem Einschalten der rechte Punkt im Anzeigendisplay regelmäßig pro Sekunde für 0,1 bzw. 0,2 Sekunden aufblinkt. Wird die Antenne um 90 Grad gedreht (Antennenstab zeigt in Richtung Frankfurt) wird der Punkt unregelmäßig flackern, so daß kein einwandfreier Empfang gewährleistet ist. Die Antenne ist also um 90 Grad zurückzudrehen. Nach wenigen Minuten ungestörter Empfangs erscheint die aktuelle Uhrzeit auf dem Display.



Betriebsfertiger und ins Gehäuse eingebauter Schaltzusatz mit abgenommenem Gehäuse-oberteil



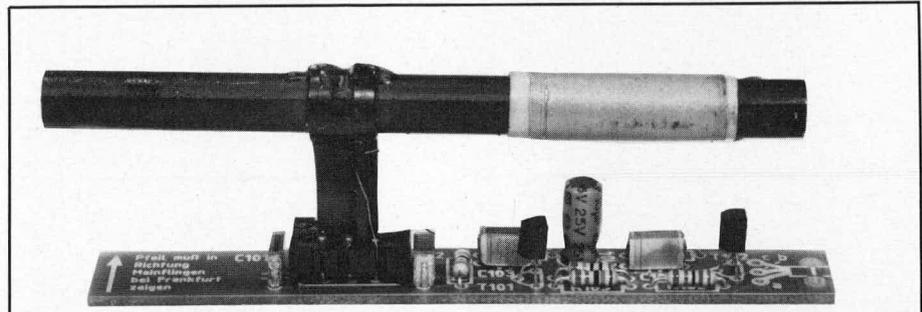
Ansicht der fertig bestückten Schalterplatine



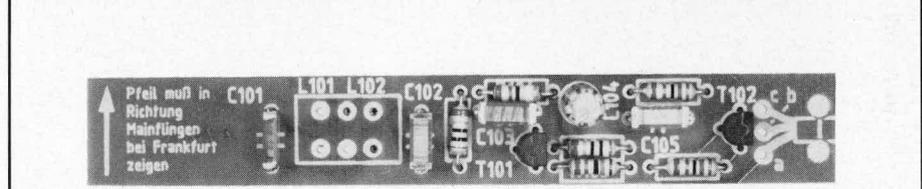
Bestückungsseite der Schalterplatine



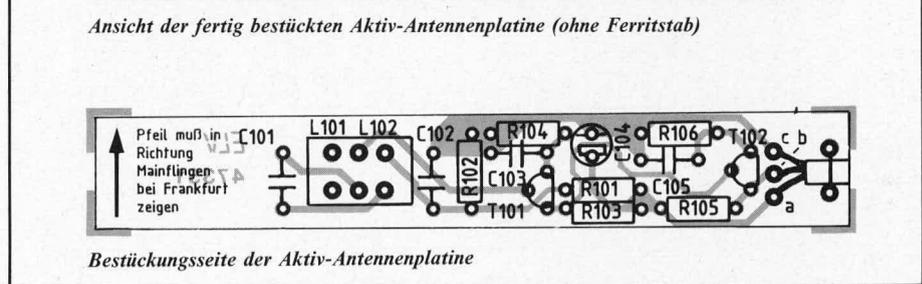
Rückansicht des Funkuhrensystems DCF 86 vor dem Einbau ins Gehäuse



Seitenansicht der fertig aufgebauten Aktiv-Antenne des Funkuhrensystems DCF 86



Ansicht der fertig bestückten Aktiv-Antennenplatine (ohne Ferritstab)



Bestückungsseite der Aktiv-Antennenplatine

**Stückliste: Funkuhrensysteem DCF 86**

**Elektronische Antenne**  
**Halbleiter**  
 T 101, T 102 ..... BC 548

**Kondensatoren**  
 C 101 ..... 6,8 nF  
 C 102, C 103, C 105 ..... 47 nF  
 C 104 ..... 10 µF/16 V

**Widerstände**  
 R 101, R 102 ..... 100 kΩ  
 R 103 ..... 5,6 kΩ  
 R 104 ..... 3,9 kΩ  
 R 105, R 106 ..... 2,2 kΩ

**Sonstiges**  
 L 101/L 102 ..... Ferritantenne  
 komplett mit Sockel  
 3 Lötstifte  
 2,5 m 2adrige abgeschirmte Leitung

**Empfänger**  
**Halbleiter**  
 IC 201 ..... TCA 440  
 IC 202 ..... LM 324  
 D 201-D 203 ..... 1 N 4148

**Kondensatoren**  
 C 201, C 209 ..... 10 nF  
 C 202 ..... 47 nF  
 C 203, C 210 ..... 47 µF/16 V  
 C 204-C 206, C 208 ..... 1 µF/16 V  
 C 207, C 216 ..... 100 nF  
 C 211-C 214, C 217 ..... 10 nF  
 C 215 ..... 22 µF/16 V  
 C 218 ..... 1 µF/16 V

C 219 ..... 10 µF/16 V  
 C 220 ..... 6,8 nF

**Widerstände**  
 R 201 ..... 1,8 kΩ  
 R 202 ..... 8,2 kΩ  
 R 203 ..... 470 Ω  
 R 204 ..... 3,3 kΩ  
 R 205, R 206, R 210 ..... 2,2 kΩ  
 R 207, R 211 ..... 33 kΩ  
 R 208, R 212 ..... 2,55 kΩ  
 R 209, R 213, R 221 ..... 220 kΩ  
 R 214 ..... 1 kΩ  
 R 215 ..... 1,5 kΩ  
 R 216 ..... 820 Ω\*  
 R 217, R 220 ..... 22 kΩ  
 R 218 ..... 39 kΩ  
 R 219 ..... 100 kΩ  
 R 222 ..... 10 kΩ  
 R 223 ..... 1 MΩ

**Sonstiges**  
 3 Lötstifte

**Prozessor und Digitalteil**  
**Halbleiter**  
 IC 301 ..... ELV 8602  
 IC 302 ..... 74 LS 247  
 IC 303 ..... 74 LS 145  
 IC 304 ..... CD 4040  
 T 301-T 306 ..... BC 558  
 T 307, T 308 ..... BC 548  
 T 309, T 310 ..... BC 558  
 T 311, T 312 ..... BC 548  
 D 301-D 311 ..... LED, 3 mm, rot  
 D 312-D 316 ..... 1 N 4148  
 D 317, D 318 ..... 1 N 4001

D 319-D 321 ..... 1 N 4148  
 Di 301-Di 306 ..... DJ 700 A

**Kondensatoren**  
 C 301, C 307 ..... 10 µF/16 V  
 C 302, C 303 ..... 22 pF  
 C 304 ..... 100 nF  
 C 305 ..... 100 pF  
 C 306 ..... 47 nF

**Widerstände**  
 R 301 ..... 22 kΩ  
 R 302-R 308 ..... 330 Ω  
 R 309-R 320 ..... 4,7 kΩ  
 R 321, R 322 ..... 330 Ω  
 R 323-R 325 ..... 4,7 kΩ  
 R 326, R 336 ..... 10 kΩ  
 R 327 ..... 2,2 kΩ  
 R 328-R 330 ..... 4,7 kΩ  
 R 331, R 332 ..... 100 kΩ  
 R 333 ..... LDR 33  
 R 334 ..... 250 kΩ, Trimmer, stehend  
 R 335 ..... 39 kΩ\*  
 R 337 ..... 10 Ω

**Sonstiges**  
 1 Quarz 9,21 MHz  
 Ta 1-Ta 5 ..... Print Taster  
 Bu 1-Bu 3 ..... 3,5 mm Klinkenbucse  
 ST 1 ..... Sound-Transducer

**Netzteil**  
**Halbleiter**  
 IC 401 ..... 78 L 05  
 IC 402 ..... CD 4049  
 T 401, T 402 ..... BC 558  
 T 403 ..... BC 548

D 401 ..... 1 N 4001  
 D 402-D 407 ..... 1 N 4148

**Kondensatoren**  
 C 401 ..... 470 µF/16 V  
 C 402 ..... 10 µF/40 V  
 C 403 ..... 47 nF  
 C 404 ..... 100 pF  
 C 405-C 407 ..... 10 µF/16 V

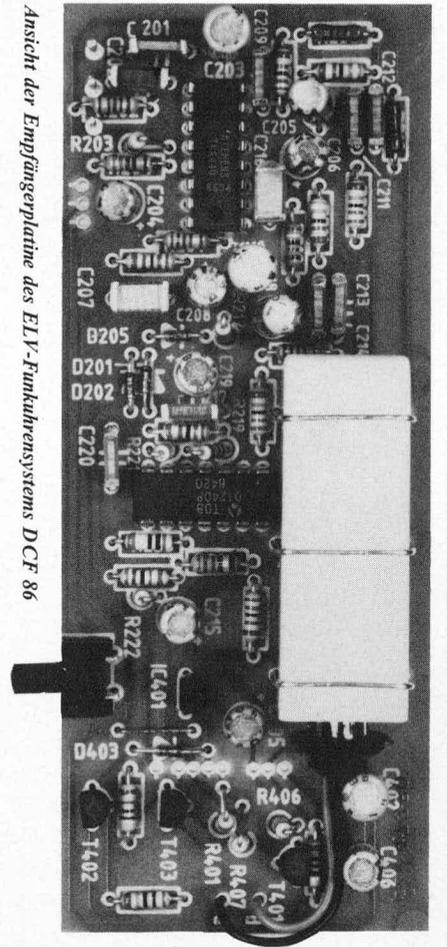
**Widerstände**  
 R 401, R 403 ..... 100 kΩ  
 R 402 ..... 47 kΩ  
 R 404, R 407 ..... 4,7 kΩ  
 R 405, R 406, R 409 ..... 100 kΩ  
 R 408 ..... 82 kΩ  
 R 410 ..... 220 kΩ\*  
 R 411, R 412 ..... 10 kΩ

**Sonstiges**  
 L 401 ..... Spule 51 µH  
 2 Lötstifte  
 1 9 V Batterieclip

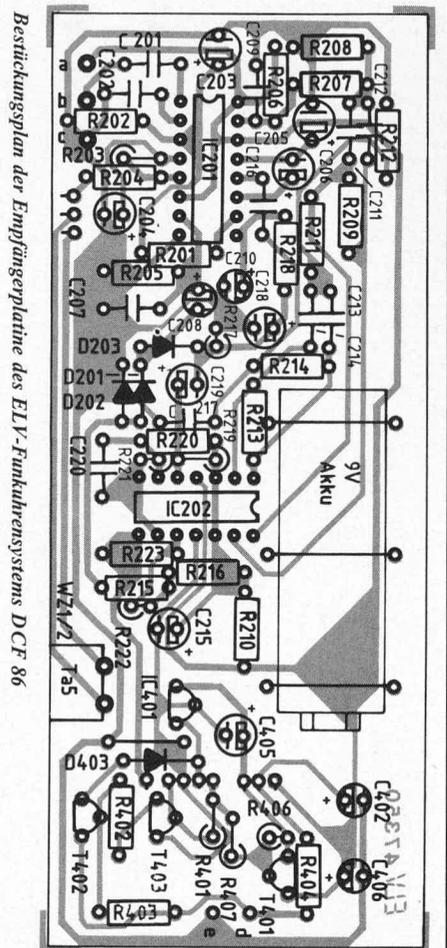
**Schaltteil**  
**Halbleiter**  
 D 501 (D 601) ..... 1 N 4001

**Sonstiges**  
 Re 501 (Re 601) Siemens Kartenrelais 12 V,  
 stehend  
 Si 501 (Si 601) ..... Sicherung 4 A  
 1 Platinensicherungshalter  
 4 Lötstifte  
 2 Schrauben M 3 x 5

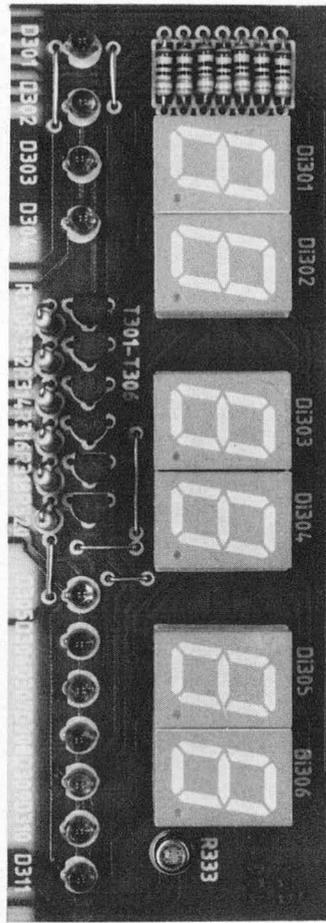
\* gegenüber Schaltbild geändert



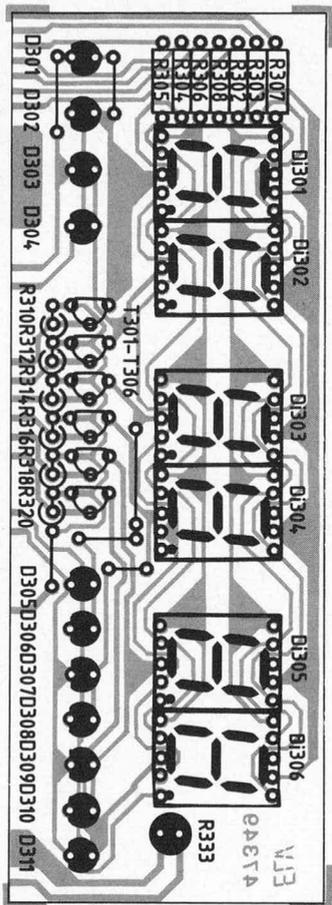
Ansicht der Empfängerplatine des ELV-Funkuhrensystems DCF 86



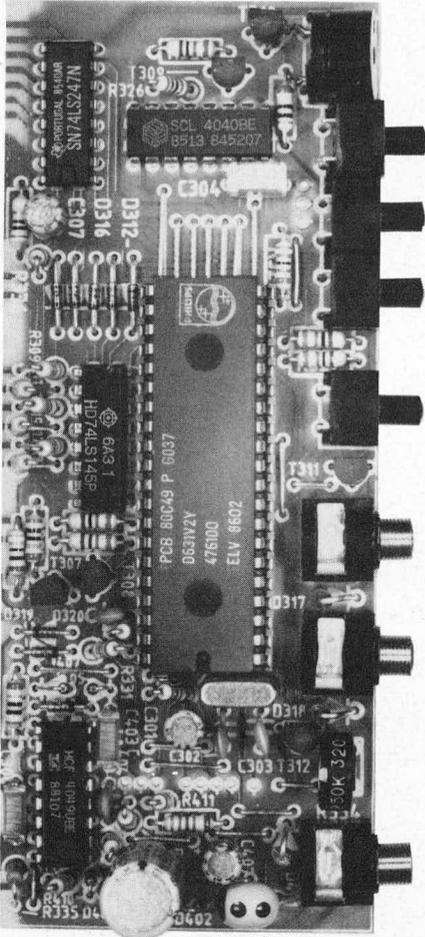
Bestückungsplan der Empfängerplatine des ELV-Funkuhrensystems DCF 86



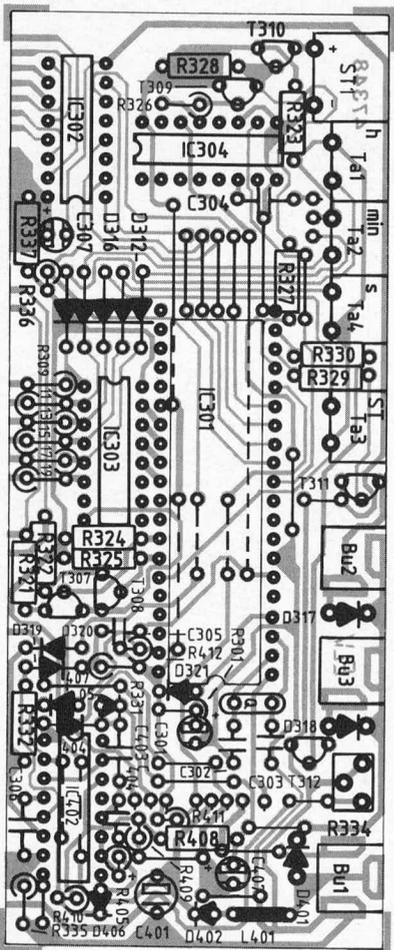
Ansicht der Anzeigenplatine des ELV-Funkuhrensystems DCF 86



Bestückungsplan der Anzeigenplatine des ELV-Funkuhrensystems DCF 86



Ansicht der Basissplatte des ELV-Funkuhrensystems DCF 86



Bestückungsplan der Basissplatte des ELV-Funkuhrensystems DCF 86