

# Wir bauen einen Elektronenstrahloszillografen



Letzte Version aus 1988

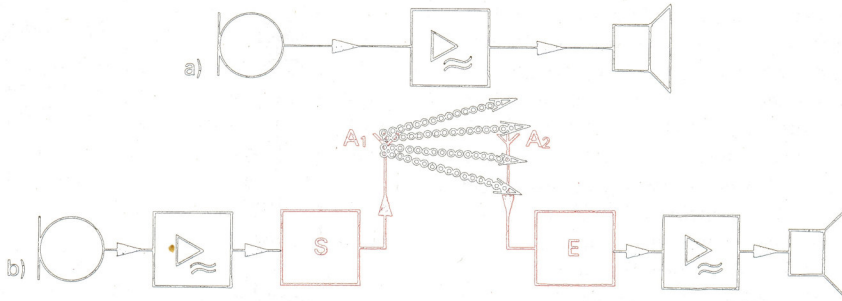


Bild 8.10 Aus der Mikrofonanlage (a) wird eine Rundfunkanlage (b).

ten, seitlich abstehend zu einem Drahtanschluß verdreht und verzinnt. Das Verzinnen darf nicht zu lange dauern, damit die Isolation des Innenleiters nicht schmilzt. Sie wird abschließend mit der Lötkolbenspitze erwärmt und mit den Fingernägeln rasch abgezogen. Dann wird der Innenleiter verzinnt.

#### Einfache Mikrofonanlage

Unser NF-Verstärker nach Bild 8.8a ist nicht nur für den Diodenempfänger geeignet, sondern auch für eine Mikrofonanlage. Als Mikrofon selbst verwenden wir einen beliebigen, aber nicht zu kleinen Lautsprecher, der wie der Diodenempfänger anzuschließen ist. Sobald Schallwellen die Membran zum Schwingen bringen, werden nach dem Generatorprinzip in der Spule Wechselspannungen induziert, die wir verstärken können. Das Lautsprechermikrofon müssen wir allerdings weit genug vom eigentlichen Lautsprecher entfernen aufstellen – am besten in einem anderen Raum –, da sonst unsere Anlage zu pfeifen beginnt; auf diesen Effekt kommen wir noch zu sprechen.

Während wir in unserer Bastecke die angeregte Unterhaltung im Wohnzimmer über unsere Mikrofonanlage unbeobachtet verfolgen, fassen wir in Gedanken das Prinzip der drahtgebundenen Tonübertragung zusammen: Ein Mikrofon wandelt die Schallwellen in elektrische Spannungsschwankungen um. Diese werden im Verstärker so weit vergrößert, daß ein angeschlossener Lautsprecher wieder kräftige Schallwellen abgeben kann. Im Bild 8.10a sehen wir die einfachste Darstellungsmöglichkeit der Mikrofonanlage: den *Übersichtsschaltplan*. Nur der Signalfluß ist angedeutet; die Betriebsspannung wird vernachlässigt. Wie man die Mikrofonanlage zur Rundfunkanlage ausbauen kann, ist im Bild 8.10b gezeigt. Die verstärkten Mikrofonströme geben wir auf den *Sender S*, der – für unser Ohr unhörbar – über eine *Antenne A<sub>1</sub>* *elektromagnetische Wellen* abstrahlt. Eine Empfangsantenne *A<sub>2</sub>* nimmt diese Strahlung auf und leitet sie zum *Empfänger E*. Hier erfolgt die Rückverwandlung in Spannungsschwankungen, die in der bekannten Art über den Verstärker auf den Lautsprecher gelangen.

## 9. Wir bauen ein Elektronenstrahloszilloskop

Die außerordentlich gute Wiedergabequalität unseres Diodenempfängers hat Sie bestimmt in Erstaunen versetzt. Allerdings trifft das nur für den Empfang des Orts- oder Bezirkssenders zu. Warum ein so einfaches Gerät – noch dazu mit

selbstgefertigten Bauelementen – eine relativ gute Tonwiedergabe hat, ist uns, wie überhaupt das gesamte Funktionsprinzip der drahtlosen Nachrichtenübermittlung, immer noch unklar. Eine ganze Reihe von Fragen blieb noch offen. Physi-

kalische Experimente sollen uns bei ihrer Beantwortung helfen. Natürlich fangen wir wieder bei unserem Empfänger an. Im »Stromkreis« Antenne–Erde (vgl. Bild 2.2 und Experiment nach Bild 4.5) liegt ein Schwingkreis, der im Resonanzfall zu maximalen Schwingungen ange regt wird. Die Antenne muß also auf irgendeine mit unseren Sinnen nicht wahrnehmbare Art vom Sender derartig beeinflusst werden, daß in ihr Wechselströme hoher Frequenz fließen. Unsere bisherigen Meßgeräte sind zum Nachweis dieser kleinen Wechselströme oder hochfrequenten Schwingungen ungeeignet; wir brauchen ein Gerät, das solche Schwingungen aufzuzeichnen vermag: ein *Elektronenstrahlzilloskop*. Sein wichtigstes Bauelement ist eine Elektro nenstrahlröhre.

### Am Anfang stand die Elektronenröhre

Obwohl die grundlegenden physikali schen Ideen der Rundfunktechnik bereits vor der Entwicklung der Elektronenröhre bekannt waren, ermöglichte erst dieses Bauelement die breite Anwendung der Nachrichtentechnik. Im Jahre 1906 konstruierten, unabhängig voneinander, der nordamerikanische HF-Techniker Lee de Forest (1873–1961) und der österrei chische Physiker Robert von Lieben (1878–1913) eine Dreipol-Verstärkerröhre (*Triode*, griech., tri ... = drei ...). Beide konnten auf die Zweipol-Elektronenröhre, die *Diode* (griech., di ... = zwei ...), zu rückgreifen, die zwei Jahre zuvor von dem englischen Physiker John Ambrose Fleming (1849–1945) entwickelt worden war und seitdem als Empfangsgleichrichter anstelle des Kristalldetektors einge setzt wurde.

Für einige Versuche zum Wesen der Elektronenröhre beschaffen wir uns von einem Kleinkrafttradbewerber eine defekte Biluxlampe 6 V/15/15 W, deren Abblend faden durchgebrannt ist (vgl. Bild 9.1), und löten drei Drahtenden an den Sockel. Diese Lampe legen wir nach Bild 9.2a in Reihe mit einem Strommesser und einem

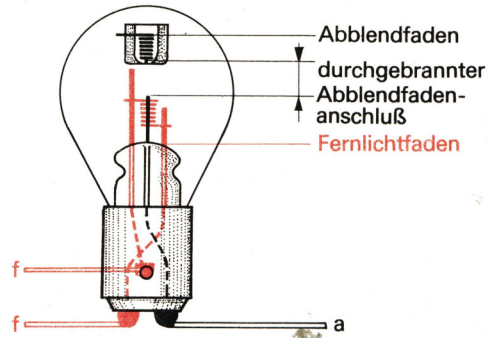


Bild 9.1 Eine defekte Biluxlampe dient uns als Elektronenröhre.

Schichtwiderstand von 47 kΩ an unser Stromversorgungsgerät. Es fließt kein Strom. Das darf uns nicht wundern, da inner halb der Lampe der Stromkreis unterbrochen ist. Im nächsten Versuch schik ken wir zusätzlich durch den Fernlichtfa den einen Strom, indem wir an seine Enden unsere Wechselspannung 6,3 V le gen. Obwohl nach wie vor der Stromkreis innerhalb der Lampe unterbrochen ist, zeigt der Strommesser 2 mA an. Wie ist das möglich?

Die in dem gewendelten Metalldraht des Fernlichtfadens vorhandenen Lei tungselektronen können normalerweise die Metalloberfläche nicht verlassen.

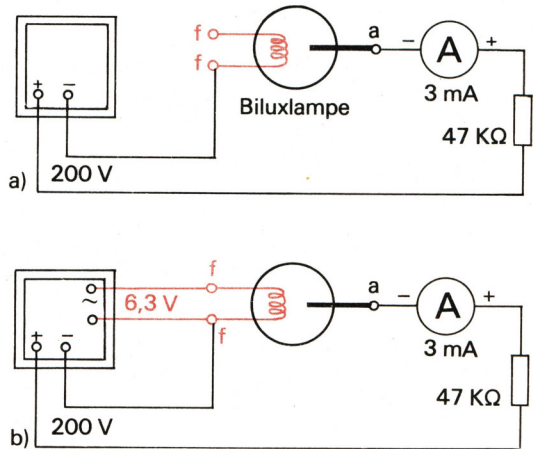


Bild 9.2 Versuche mit der Biluxlampenröhre:

- a) Der Stromkreis ist innerhalb der Lampe unterbrochen; es fließt kein Strom.
- b) Sobald der Fernlichtfaden aufglüht, zeigt das Meßgerät einen Stromfluß an.

Führen wir jedoch einem Metall Energie, beispielsweise in Form von Wärme, zu, vermögen die energiereichsten Elektronen aus dem Metall herauszutreten. Man bezeichnet diesen Vorgang als *Elektronenemission*. Da die Elektronen geladen sind, werden sie von dem am positiven Pol der Spannungsquelle liegenden Abblendfadenanschluß a angezogen, und es fließt ein Strom.

Die Elektronenröhre bestand im einfachsten Fall aus einem luftleer gepumpten Glas- oder Metallkolben, in dem ein Heizfaden ff und eine metallische Elektrode als *Anode* a eingeschmolzen waren, der Heizfaden diente gleichzeitig als

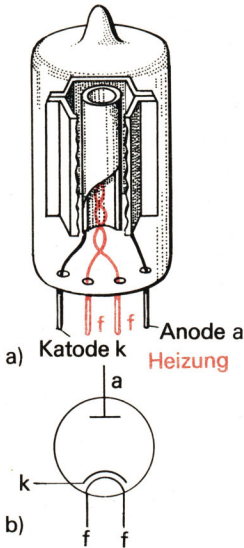


Bild 9.3 Aufbau (a) und Schaltungszeichen (b) der Röhrendiode

**Katode k.** Um eine Trennung des Heizkreises vom Anodenkreis herbeizuführen, wurden indirekt geheizte Röhren gebaut. Hier legte man den Minuspol an ein den Heizfaden umgebendes Röhrrchen. Im Bild 9.3 sind der prinzipielle Aufbau und das entsprechende Schaltungszeichen dargestellt. Solche Röhrendioden wurden lange Zeit als Gleichrichter eingesetzt, bis sie schließlich von den Bauelementen aus Germanium bzw. Silizium abgelöst wurden. Damit wird auch verständlich, weshalb die Halbleitergleichrichter ebenfalls Dioden genannt werden.

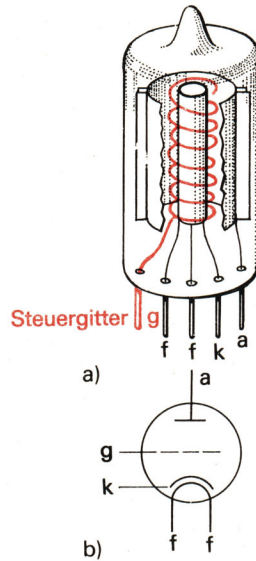


Bild 9.4 Aufbau (a) und Schaltungszeichen (b) der Triode

Mit der Triode, deren Aufbau und Schaltungszeichen aus Bild 9.4 ersichtlich sind, konnten erstmals niedrige Wechselspannungen verstärkt und auch hochfrequente Schwingungen erzeugt werden; das war die eigentliche Geburtsstunde der *Elektronik*. Heute hat die Elektronenröhre ihre Bedeutung bis auf wenige Ausnahmen verloren. Eine dieser Ausnahmen ist die Oszilloskopröhre, die nach ihrem Erfinder auch *Braunsche Röhre* genannt wird. Im Fernsehempfänger hat ihre Verwandte, die Bildröhre mit besonders großer Schirmfläche, die wohl weiteste Verbreitung gefunden.

## Das Wichtigste zur Braunschen Röhre

Bild 9.5 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer *Elektronenstrahlröhre*. Im Hals des luftleeren Glaskolbens befinden sich das Strahlerzeugungs- und Strahlablesystem. Die aus der Katode emittierten Elektronen fliegen, von der Anodenspannung beschleunigt, mit hoher Geschwindigkeit auf die Anode zu. Da diese – wie alle anderen Elektroden – durchbohrt ist, gelangt der Elektronenstrahl auf den

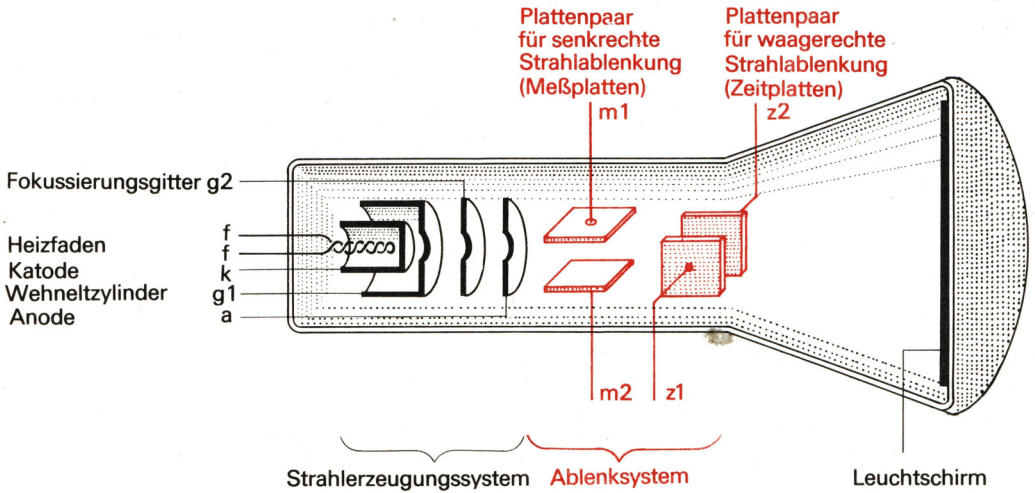


Bild 9.5 Aufbau einer Elektronenstrahlröhre

Leuchtschirm. Die Stärke des Strahls und damit die Helligkeit des Schirmbildes läßt sich durch eine negative Spannung am *Wehneltzylinder*, dem Steuergitter der Elektronenstrahlröhre, einstellen. Dieser wurde – ebenso wie die Glühkatode – 1905 von Arthur Rudolph Berthold *Wehnelt* (1871–1944) in die bis dahin mit ungeheizter Katode arbeitende Braunsche Röhre eingebaut. Zur guten Bündelung des Elektronenstrahls dient das Fokussierungsgitter und zur waagerechten und senkrechten Ablenkung je ein Plattenpaar. An die Platten für die senkrechte Ablenkung gelangt die Meßspannung, an die für die waagerechte eine zeitlineare

Kippspannung. Sehr oft sind die Meßspannungen so gering, daß sie den Elektronenstrahl nicht genügend auslenken. Sie müssen daher in einem *Meßverstärker* auf einen höheren Wert gebracht werden. Ein Oszilloskop besteht somit aus den Baugruppen Netzgerät, Sichtteil mit Bildröhre, Kippgerät und Meßverstärker; Bild 9.6 zeigt den Übersichtsschaltplan.

Wir verwenden für den Aufbau des Oszilloskops die Bildröhre B7 S2 mit 75 mm Schirmdurchmesser. Für ihre Beschaffung über ein Fachgeschäft (vgl. Tafel 14 im Anhang) müssen wir einige Zeit einplanen. Zum Anschluß dieser Röhre brauchen wir die passende vierzehnpolige Fassung und einen Steckkontakt für die Nachbeschleunigungsanode am Schirmende. Damit die wertvolle Röhre nicht beschädigt werden kann, lassen wir sie so lange in ihrer sicheren Lieferverpackung stecken, bis der Abschirmzylinder fertig montiert ist.

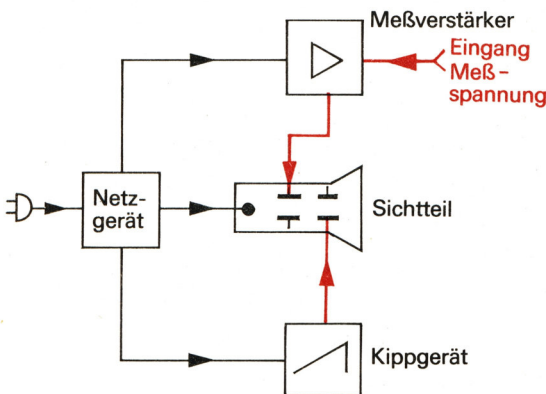


Bild 9.6 Übersichtsschaltplan eines Oszilloskops

### Mit dem Netzgerät fängt der Bau an

Es besteht nach Bild 9.7 aus drei Teilschaltungen: dem Hochspannungsteil zum Betrieb der Bildröhre (+650 V und -650 V), dem Mittelspannungsteil für die

## 9. Wir bauen ein Elektronenstrahloszilloskop

Endstufen des Meßverstärkers (+80 V) und des Kippgerätes (+100 V) sowie dem Niederspannungsteil für die Vorstufen dieser beiden Baugruppen (-15 V).

Als Transformator verwenden wir einen Typ der Kerngröße M 85 mit zweimal 250 V und 4/6,3 V Sekundärspannung. Meist hat er noch eine weitere 6,3-V-Wicklung, an deren Stelle wir unsere Mittelspannungswicklung aufbringen. Nach Kennzeichnung löten wir die Drahtanschlüsse ab, nehmen den Kern auseinander, entfernen die Spulenabdeckung, zählen die Windungen der äußeren 6,3-V-Wicklung und wickeln sie ab. Wenn für 6,3 V z. B. 27 Windungen vorhanden sind, muß unsere neue 100-V-Wicklung

$$N = \frac{27 \cdot 100 \text{ V}}{6,3 \text{ V}} = 430 \text{ Windungen erhalten.}$$

Als Wickeldraht verwenden wir CuL 0,2; bei der 86. Windung zapfen wir die Wicklung an, um hier die Wechselspannung von 20 V für die Niederspannung abzugreifen. Nach dem Wickeln wird die

Spule gut abgedeckt, der Transformator wieder ordnungsgemäß zusammgebaut und einem Elektriker zur Abnahme vorgestellt.

### Die Teilschaltungen des Netzgerätes

An den beiden hintereinandergeschalteten 250-V-Ausgängen des Trafos liegt die Gleichrichterdiode  $D_1$  mit Ladekondensator  $C_1$  und Siebglied  $R_2C_2$ , die die Betriebsspannung von etwa 650 V für die Elektronenstrahlröhre liefern; der Pluspol dieser Spannung liegt auf Masse.

Um ein möglichst helles Schirmbild zu erhalten, geben wir an die Nachbeschleunigungsanode der Bildröhre eine zusätzliche Spannung, die wir aus der schon benutzten 500-V-Wicklung gewinnen.  $D_1$  verwertet nur eine Hälfte der Wechselspannung, die andere Hälfte läßt der gegenpolig geschaltete Gleichrichter  $D_2$  durch;  $D_1$  und  $D_2$  arbeiten ähnlich wie  $T_2$  und  $T_3$  aus Bild 7.6 im Gegentakt und sind durch je eine Reihenschaltung zweier Si-

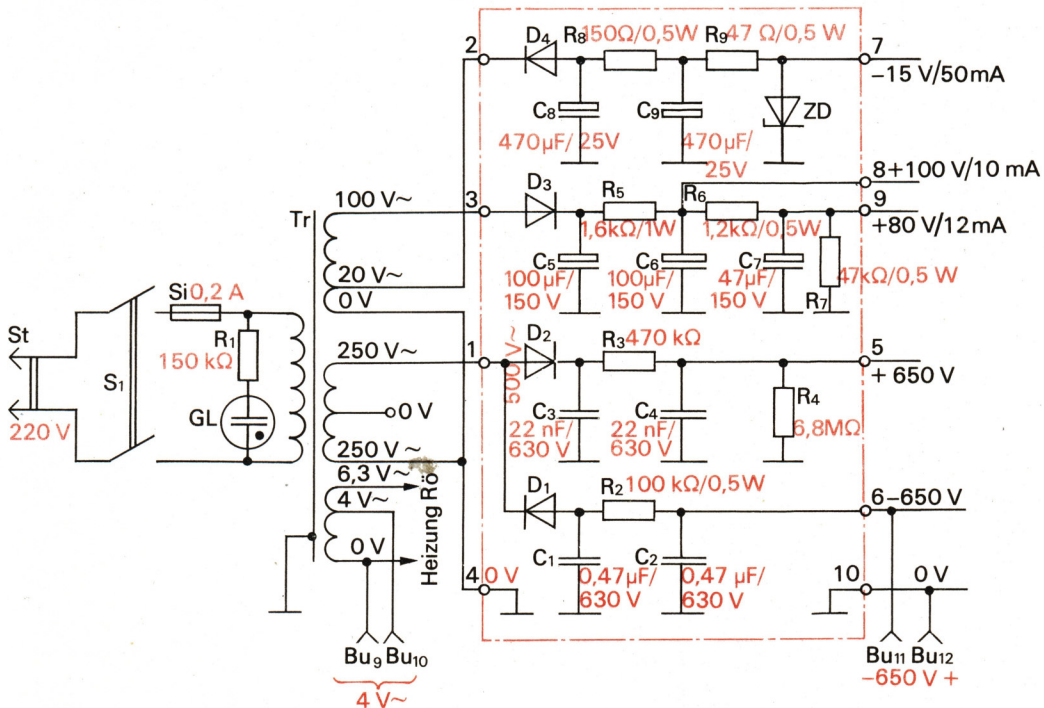


Bild 9.7 Stromlaufplan des Netzgerätes für das Oszilloskop ( $D_1$  und  $D_2$ : je zwei in Reihe geschaltete SY 320/8,  $D_3$ : SY 320/3,  $D_4$ : 320/0,75, ZD: SZ 600/15)

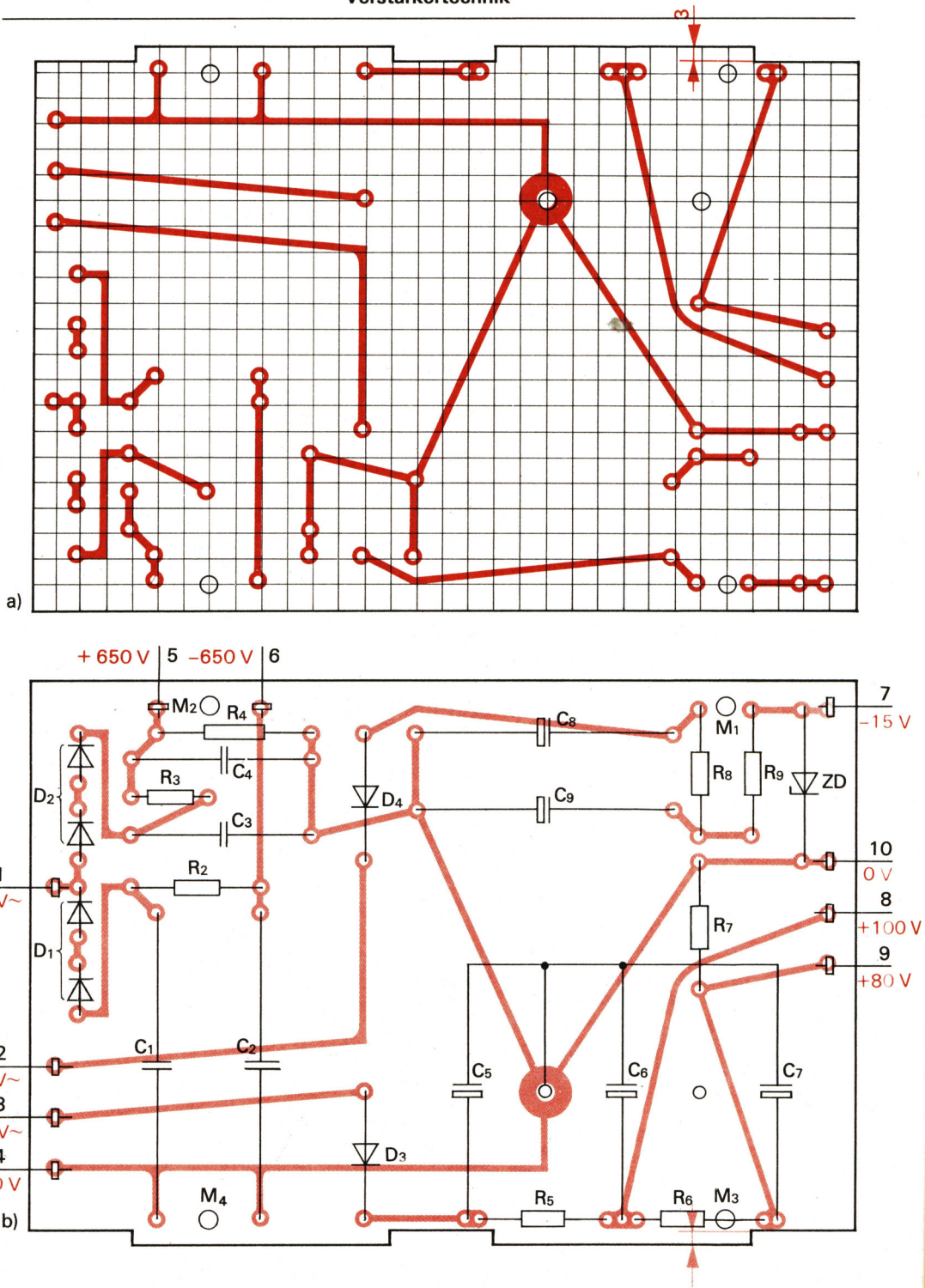


Bild 9.8 Leitungsführung (a) und Bestückungsplan (b) des Netzgeräts NG

## 9. Wir bauen ein Elektronenstrahloszilloskop

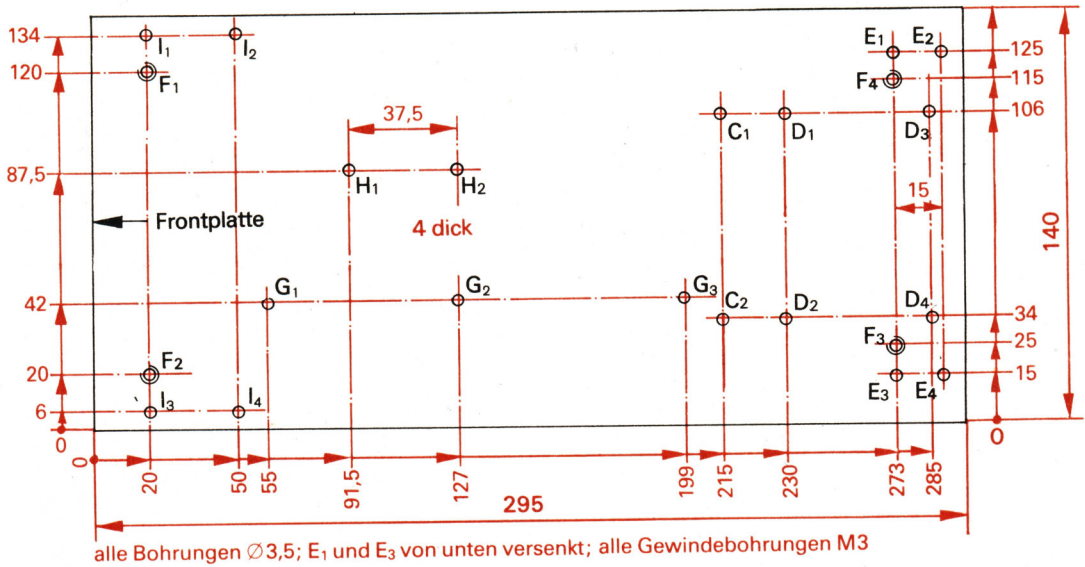


Bild 9.9 Das Grundbrett des Oszilloskops (von oben gesehen)

Dioden mit 800 V Sperrspannung zu realisieren. Für  $C_1 \dots C_4$  reichen auch bei 520 V Wechselspannung Styroflexkondensatoren mit einer Gleichspannungsfestigkeit von 630 V, da diese Ausführung bis zu 10% Überspannung verträgt.

Damit wir mit diesem Hochspannungsnetzteil auch andere Elektronenstrahlröhren betreiben können, führen wir die Heizspannung von 4 V und die Betriebsspannung von  $-650$  V an leicht zugäng-

liche abgedeckte Telefonbuchsen  $Bu_9 \dots Bu_{12}$ .

Die Gleichrichterschaltung mit  $D_3$  für die Mittelspannung weist keine Besonderheiten auf. Am Siebkondensator  $C_6$  greifen wir die Spannung für die Endstufe des Kippgerätes und an  $C_7$  die für die Endstufe des Meßverstärkers ab. Die Widerstände  $R_5$  und  $R_6$  sind so bemessen, daß sich im Belastungsfall die angegebenen Spannungen einstellen. Im Leer-

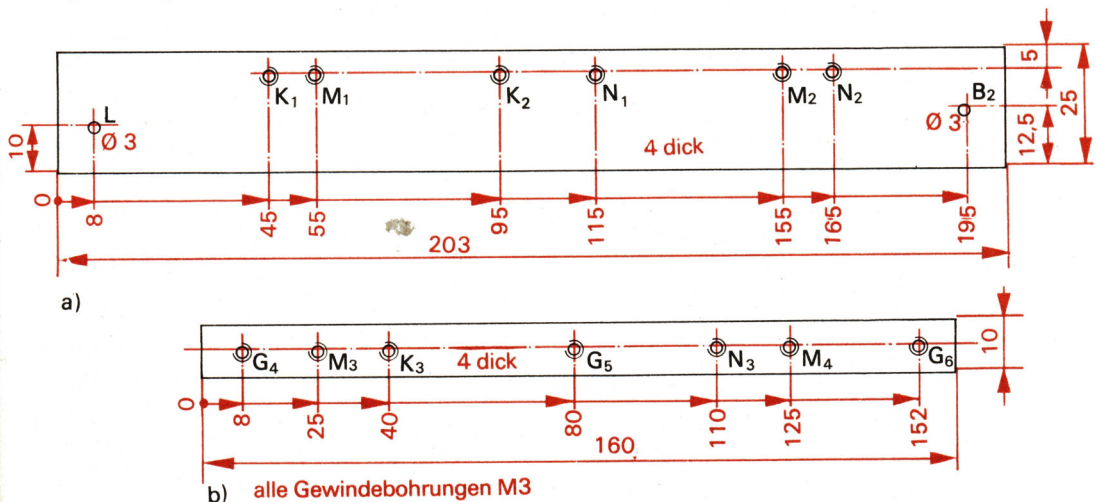


Bild 9.10 Die Streben zum Anschrauben der Leiterplatten: a) obere Strebe, b) untere Strebe



lauf betragen diese 140 V bzw. 135 V. Der zu  $C_7$  parallelgeschaltete Widerstand  $R_7$  verhindert, daß sich  $C_7$  im Leerlauf unnötig hoch auflädt.

An der Anzapfung der Mittelspannungswicklung liegt die Niederspannungsteilschaltung mit  $D_4$ , deren Spannung mittels Z-Diode ZD stabilisiert wird; im Leerlauf messen wir 15,5 V.

Wir bauen das Netzgerät auf einer Leiterplatte nach Bild 9.8 auf; für die 150-V-Elektrolytkondensatoren fertigen wir einen Winkel 1 nach  $W_3$  (Tafel 1) aus Aluminiumblech, der allerdings im Abstand  $f_2$  neben  $e_3$  und  $e_4$  noch eine gleiche Bohrung mit dem Abstand  $h_2$  von  $e_4$  hat. Die Maße dieses Winkels in mm entnehmen wir der folgenden Tabelle.

| Winkel-Nr. | Standard | a  | b    | c  | d | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | $e_4$ | $f_1$ | $f_2$ | $g_1$ | $g_2$ | $h_1$ | $h_2$ |
|------------|----------|----|------|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1          | $W_3$    | 20 | 32   | 90 | 2 | 3,5   | 3,5   | 18    | 18    | 10    | 16    | 30    | 15    | 30    | 30    |
| 2          | $W_1$    | 16 | 13   | 25 | 1 | 3,5   | 3,5   | —     | —     | 8     | 6     | 12,5  | —     | —     | —     |
| 3          | $W_1$    | 30 | 27,5 | 25 | 1 | 3,5   | 10    | —     | —     | 10    | 10    | 10    | —     | —     | —     |
| 4, 5, 6,   | $W_1$    | 10 | 13   | 16 | 1 | 3,5   | 3,5   | —     | —     | 5     | 6     | 8     | —     | —     | —     |
| 7, 8       | $W_2$    | 30 | 25   | 25 | 1 | 4,5   | 3,5   | 3,5   | —     | 10    | 10    | 12,5  | 5     | 15    | —     |

seiner Bahn ablenken und das Oszillogramm verfälschen. Mit magnetischen Werkstoffen entsprechender Dicke kann man solche Streufelder ganz oder teilweise abschirmen.

Nachdem wir nun noch die zwei oberen Kernschrauben des Netztrafos gelöst haben, schrauben wir die Einzelteile auf dem Grundbrett in folgender Reihenfolge fest:

1. Netztransformator bei  $D_1 \dots D_4$  (Lötösen weisen nach hinten),
2. Abschirmblech bei  $C_1$  und  $C_2$  (danach verschrauben wir es mit den oberen Kernschrauben am Netztransformator),
3. Winkel 7 bei  $E_1$  und  $E_2$  und Winkel 8 bei  $E_3$  und  $E_4$  (die 30 mm langen Schenkel beider Winkel weisen jeweils nach

### Wir montieren das Netzgerät auf dem Grundbrett

Bild 9.9 zeigt das Bohrschema des Grundbrettes aus Hartpapier, Bild 9.10 zwei Streben aus dem gleichen Material zum Befestigen der einzelnen Leiterplatten. Die obere Strebe schrauben wir mit den Winkeln 2 und 3, die untere mit 4, 5 und 6, alle aus Eisenblech, fest (s. Tabelle).

Die Transformatorabschirmung nach Bild 9.11 und zwei weitere Winkel 7 und 8 fertigen wir ebenfalls aus Eisenblech von wenigstens 1 mm Dicke. Unter die mit A bezeichnete Bohrung in der Deckfläche der Abschirmung kleben wir mit EP 11 von unten eine Mutter M4 nach dem Bohren; ebenso verfahren wir mit den Winkeln 7 und 8. Hier kommt die Mutter bei Bohrung  $e_1$  in den Winkelinnenraum. Das Abschirmblech ist notwendig, weil aus dem Kern einer von Wechselstrom durchflossenen Spule magnetische Feldlinien austreten. Dieses Streufeld würde den Elektronenstrahl der Oszilloskopöhre aus

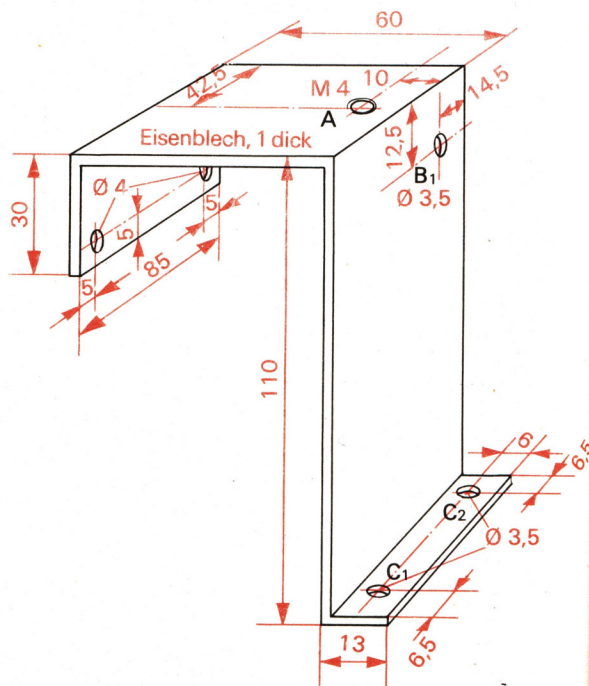


Bild 9.11 Das Abschirmblech aus Weich-eisen für den Transformator

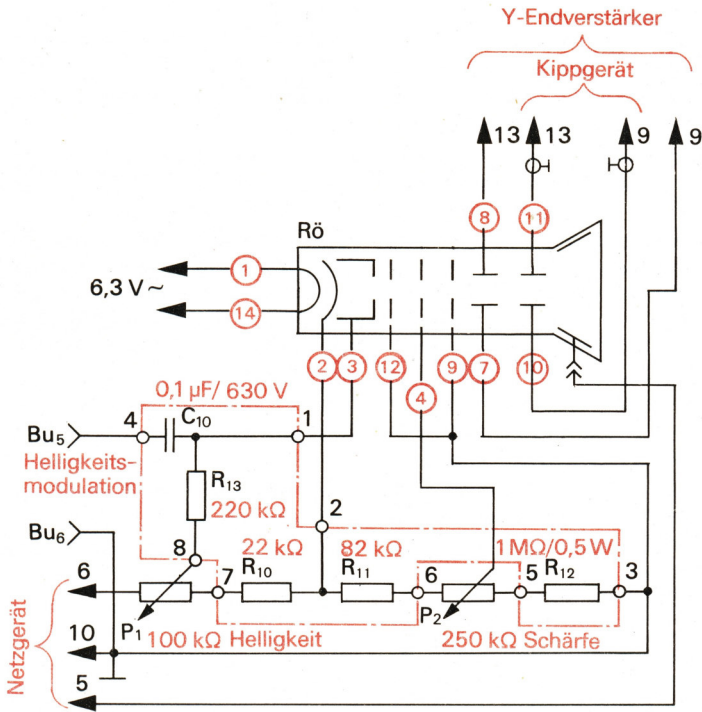


Bild 9.12 Anschluß der Elektronenstrahlröhre (Rö: B7 S2)

- außen; an ihnen schrauben wir später das Gehäuse fest),
4. Gummifüße von unten bei  $F_1 \dots F_4$ ,
  5. untere Strebe (Bild 9.10b) mit den drei Winkeln 4, 5 und 6 durch Bohrung  $e_2$  bei  $G_1$ ,  $G_2$  und  $G_3$ ; die Strebe (bei  $G_4$ ,  $G_5$  und  $G_6$  mit den Winkeln verbunden) weist nach der näher gelegenen Seitenkante des Grundbrettes,
  5. obere Strebe (Bild 9.10a) bei  $B_2$  mit Winkel 2 an das Abschirmblech bei  $B_1$ ; sie muß genau senkrecht oberhalb der unteren Strebe angeordnet sein. Bei L wird sie später über Winkel 3 mit der Frontplatte verbunden.

Nun können wir an die Streben bei  $M_1 \dots M_4$  die Platine des Netzgerätes schrauben. Dabei weist die Leiterseite nach den Streben. Über die Befestigungsschrauben schieben wir etwa  $8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$  große Abstandsstückchen aus 3 bis 4 mm dickem Hartpapier. Diese sind erforderlich, damit die Leiterplatte gleichmäßig an die Streben gedrückt wird. Nach dem Anschluß der Leiterplatte an den Transformator und dessen

Masseverbindung (Lötöse an Kernschraube) führen wir die erste Funktionsprobe durch. Vorsichtshalber legen wir an die 220-V-Primärwicklung des Transformators zunächst eine Wechselspannung von 24 V, die wir dem Niederspannungsausgang unseres Stromversorgungsgerätes entnehmen, und messen die an den Lötösen 5...9 der Leiterplatte gegen Masse (Lötöse 10) liegenden Spannungen. Sie müssen bei etwa einem Zehntel der im Bild 9.7 angegebenen Werte liegen. Erst dann dürfen wir – aber bitte *äußerste Vorsicht, mit 1,3 kV zwischen den Anschlüssen 5 und 6 ist nicht mehr zu spaßen!* – die Netzspannung über ein vorschriftsmäßiges Kabel mit angegossenem Stecker anlegen. Wenn wir jetzt noch die Spannungen an den Lötösen 5 bzw. 6 gegen Masse messen wollen, brauchen wir einen Vielfachmesser mit 1000-V-Bereich. Nach dem Abschalten der Netzwechselspannung entladen wir die Hochspannungskondensatoren mit einem kleinen Hilfsgerät. Es besteht aus einem Stückchen Leiterplat-

tenmaterial mit aufgelöstem Widerstand 2,2 k $\Omega$ /1 W und zwei mit den Widerstands-  
enden verbundenen, gut isolierten Anschlußkabeln mit Bananensteckern an  
den freien Enden. Auch den Widerstand selbst und das Leiterplattenmaterial soll-  
ten wir isolieren. Es reicht, dieses Hilfs-  
gerät zur Entladung der Kondensatoren  
etwa 5 Sekunden zwischen Masse und  
Öse 5 bzw. 6 zu schalten.

## Der Sichtteil mit dem Anschluß der Elektronenstrahlröhre

Die Teilschaltung für den Bildröhrenan-  
schluß ist im Bild 9.12 angegeben. Über  
den Spannungsteiler P<sub>1</sub>, R<sub>10</sub>, R<sub>11</sub>, P<sub>2</sub>, R<sub>12</sub>  
werden die Elektroden des Strahlerzeu-  
gungssystems mit den erforderlichen

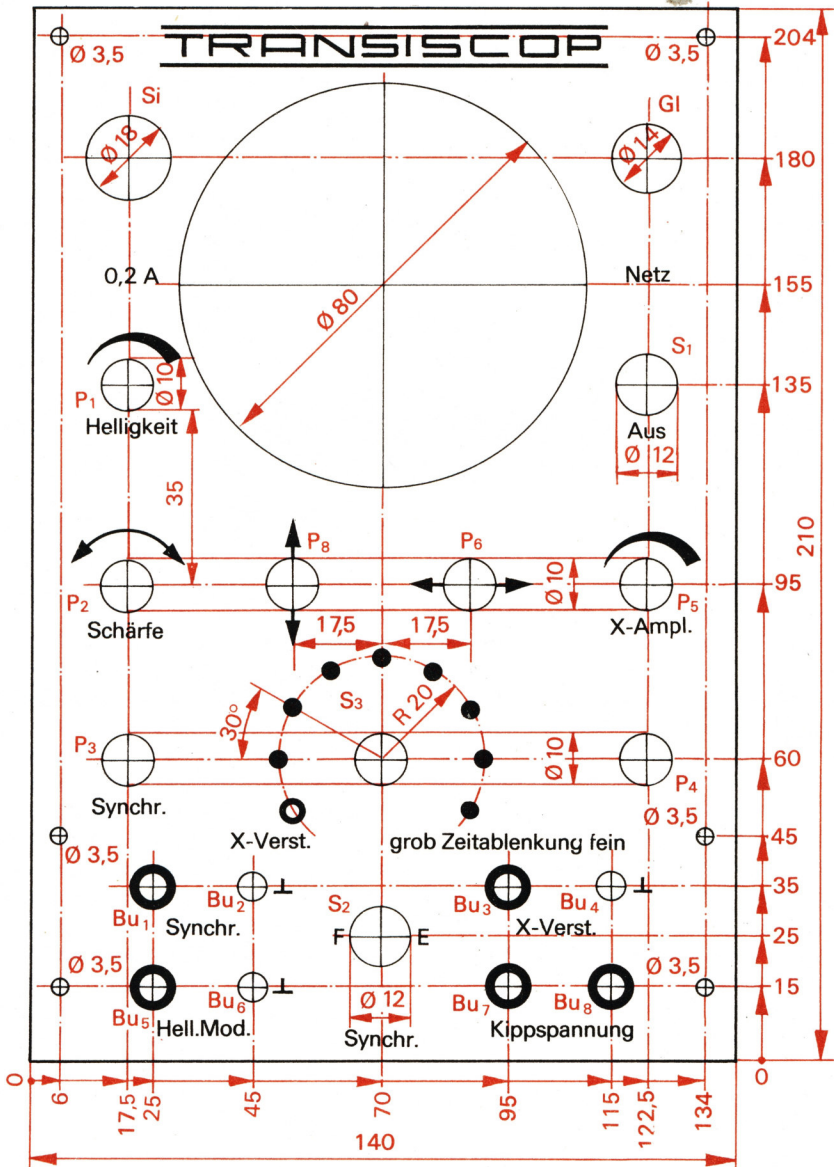


Bild 9.13 Das Negativ für die Frontplatte des Oszilloskops

Spannungen versorgt. Das RC-Glied  $R_{13}C_{10}$  am Wehneltzylinder ist für die Helligkeitsmodulation des Elektronenstrahls mit einer Wechselspannung gedacht.

### Wir gestalten die Frontplatte des Oszilloskops

Das »Gesicht« unseres Oszilloskops konstruieren wir in der gleichen Weise wie die Frontplatte des Stromversorgungsgerätes; Gestaltung und Abmessungen entnehmen wir Bild 9.13. Wir stellen die Frontplatte aus 4 mm dickem Hartpapier her. Die Rückseite der Frontplatte wird teilweise mit einer Abschirmung aus Konservendosenblech (Eisen) versehen, deren Form und Lage Bild 9.15 zu entnehmen sind. Sie wird mit den Potentiometern  $P_2$  bis  $P_6$  und  $P_8$ , den Schaltern  $S_2$  und  $S_3$  sowie den Telefonbuchsen  $Bu_2$ ,  $Bu_4$  und  $Bu_6$  an die Frontplatte geschraubt. Mit  $P_5$  schrauben wir gleichzeitig noch den Winkel 2 fest, der die obere Strebe der Platinenhalterung mit der Frontplatte verbindet.

Nach dem Ausbohren und Nachfeilen oder Aussägen der Röhrenschirmöffnung von 80 mm Durchmesser wickeln wir aus Zeichenkarton die vordere Bildröhrenhalterung (vgl. Bild 9.14). Das machen wir folgendermaßen: Über ein Rundholz von 75 mm Durchmesser wickeln wir etwa fünfzehn Lagen eines 40 mm breiten Papierstreifens, der vorher einseitig mit einem Azetonkleber bestrichen wurde. Zwei Ringgummis halten den Wickel so lange, bis er trocken ist. Dann folgen an einem Ende des Wickels noch einmal etwa zehn Lagen eines 10 mm breiten Streifens. Diesen Rohling lassen wir drei bis vier Stunden trocknen. Paßt der Papierwickel sowohl in die Frontplattenöffnung als auch auf die Bildröhre, wird er mehrmals in Schellack getränkt. Zum Schluß lassen wir ihn etwa 24 Stunden austrocknen.

In der Zwischenzeit bereiten wir die Frontplatte zur Montage vor. Für das Verschrauben mit dem Grundbrett benötigen wir zwei Winkel  $W_4$ . Der Winkel, der neben den Buchsen  $Bu_1$  und  $Bu_5$  an die Frontplatte geschraubt wird, erhält noch ein kleines Hartpapierbrettchen, in das wir

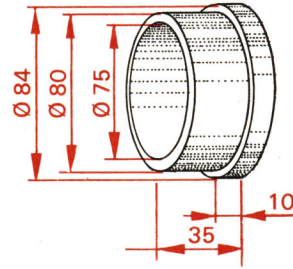


Bild 9.14 Die vordere Bildröhrenhalterung

die Telefonbuchsen  $Bu_9$  bis  $Bu_{12}$  einsetzen (vgl. Bilder 9.7 und 9.26). Die Buchsenköpfe versenken wir so weit, daß sie mit dem Hartpapier gleichmäßig abschließen.

Dann bestücken wir den zweipoligen 9-Stellen-Umschalter  $S_3$  mit den einzelnen Kippkondensatoren für die verschiedenen Frequenzbereiche. Dazu werfen wir einen Blick auf den Stromlaufplan des Kippgerätes im Bild 9.21. Wir erkennen, daß in der einen Ebene des Umschalters  $S_3$ , vom linken Anschlag beginnend, der Reihe nach zunächst ein 3,3-M $\Omega$ -Widerstand und dann Kondensatoren der Kapazitätswerte 1  $\mu$ F, 0,33  $\mu$ F, 100 nF, 33 nF, 10 nF, 3,3 nF, 1 nF, 330 pF anzuordnen sind, deren freie Enden alle miteinander verbunden werden. Damit die Kippfrequenzen später nicht unnötig hoch vom Sollwert abweichen, suchen wir entweder aus einer größeren Anzahl von Kondensatoren mit einer Meßbrücke passende Kapazitäten aus, oder wir stellen sie durch Zusammenschalten selbst her; behelfsweise kann die Kapazitätsmessung auch durch eine Wechselstrommessung mit 24 V Wechselspannung unseres Stromversorgungsgerätes ersetzt werden. Durch  $C = 1 \mu$ F müssen

$$I = 2\pi \cdot f \cdot U \cdot C = 2\pi \cdot 50 \text{ s}^{-1} \cdot 24 \text{ V} \cdot 10^{-6} \frac{\text{As}}{\text{V}}$$

= 7,38 mA fließen, also zweckmäßigerweise höchstens 7,75 mA oder mindestens 7,00 mA. In der anderen Ebene liegt nur am linken Anschlag ein Kondensator von 0,47  $\mu$ F. Alle anderen Anschlußfahnen des Umschalters sind miteinander verbunden, ebenso die beiden Schaltermittelpunktanschlüsse. Wir verdrahten zuerst die – von der Schalterwelle aus gesehen – hintere Ebene und löten dann an die Fahnen der vorderen Ebene die

Kondensatoren. Der Verdrahtungsplan der Frontplatte im Bild 9.15 gibt uns dazu sicherlich noch einige Anregungen.

Die Festwiderstände sowie den Kondensator  $C_{10}$  des Spannungsteilers der Elektronenstrahlröhre löten wir auf eine kleine Leiterplatte nach Bild 9.16, die wir über vier Kupferdrahtbrücken direkt an die Potentiometer  $P_1$  und  $P_2$  löten. Wie im Bild 9.16b erstmals dargestellt, werden wir künftig die Bauelemente in Bestückungsplänen (bis auf Dioden und Einsteller) nur noch als Striche ausführen.

Die an der Frontplatte nach links herausgeführten zehn Leitungen lassen wir

mindestens 20 cm überstehen; fünf der Leitungen schirmen wir ab. Das Abschirmgeflecht verbinden wir jeweils an der Frontplatte auf kürzestem Wege mit Masse. Wir vergessen nicht, alle zehn Leitungen mit einem Stückchen Heftpflaster zu kennzeichnen, denn nach der Montage der Frontplatte am Grundbrett ist der jeweilige Ausgangspunkt nur schwer zu ermitteln.

Inzwischen ist die vordere Bildröhrenhalterung sicherlich getrocknet, und wir können sie von hinten in die große Frontplattenbohrung einkleben. Dann schrauben wir die Frontplatte bei  $I_1 \dots I_4$  an das

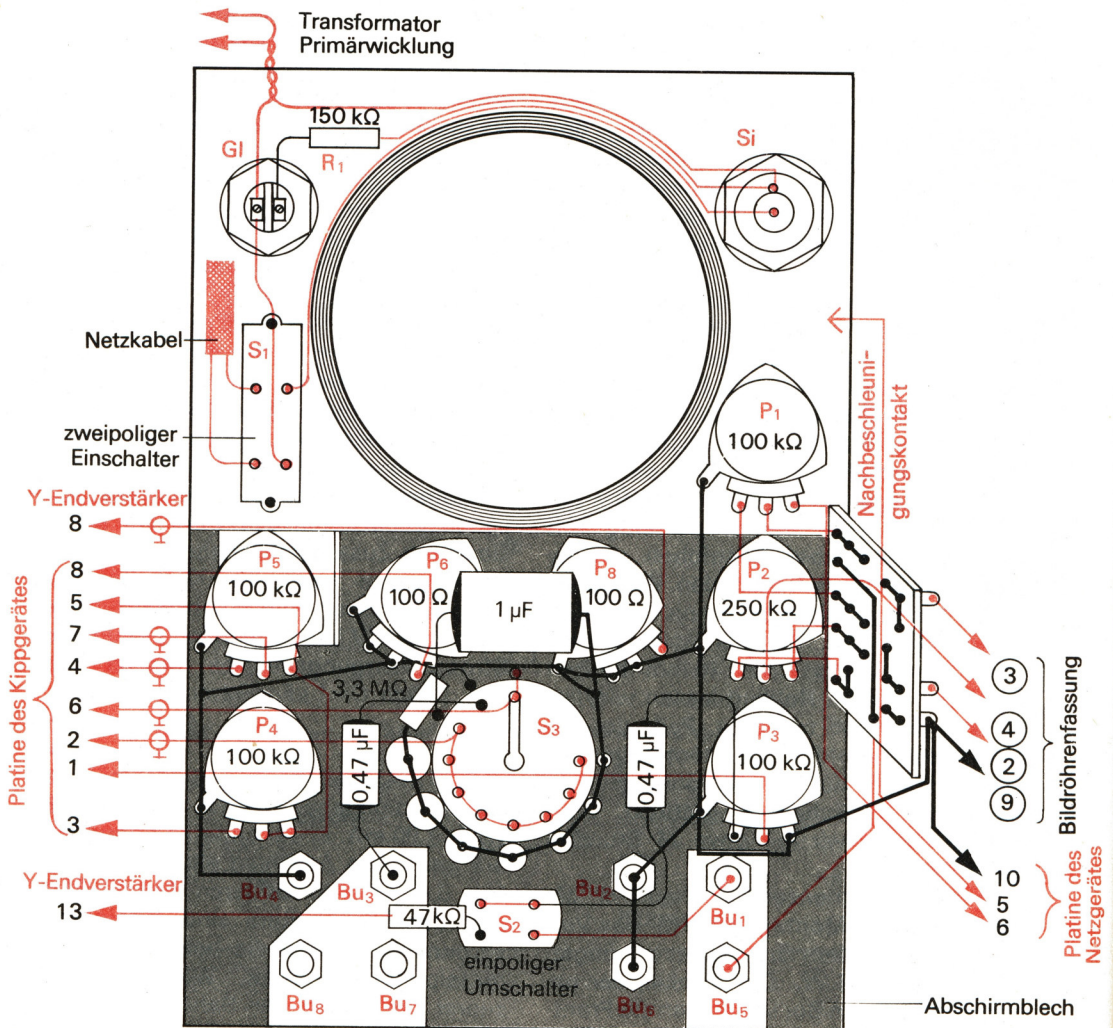


Bild 9.15 Verdrahtungsplan der Frontplatte

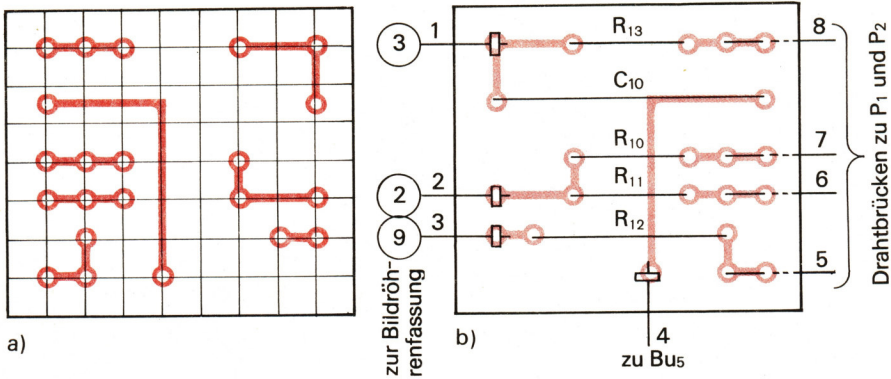


Bild 9.16 Leitungsführung (a) und Bestückungsplan (b) des Bildröhren-Spannungsteilers ST

Grundbrett. Die obere Strebe, die nun auch mit dem Frontplattenwinkel verschraubt wird, verleiht unserer Konstruktion die notwendige Festigkeit.

### Ein Eisenzylinder schirmt die Bildröhre ab

Wie bereits erwähnt, reagiert der Elektronenstrahl einer Braunschen Röhre sehr empfindlich auf magnetische Felder. Die Industrie stellt *Abschirmzylinder* aus dünnwandigem, hochpermeablem Spezialmaterial her (siehe Tafel 14c). Da sie jedoch verhältnismäßig teuer sind, bauen wir selbst einen. Am einfachsten gelingt das mit einem 200 mm langen Eisenrohr, das einen Innendurchmesser von 84 mm hat und eine Wanddicke von mindestens 3 mm. Macht die Rohrbeschaffung Schwierigkeiten, stellen wir es aus 3 mm dickem Eisenblech her. Vielleicht nehmen wir hier die Hilfe eines Klempners in Anspruch; für ihn ist das ordentliche Runden des Bleches eine Kleinigkeit. Die Naht wird anschließend verschweißt und dabei das Rohr gleich ausgeglüht. Nach dem Erkalten befeilen wir die Schweißnaht und bearbeiten den gesamten Zylinder mit Schmirgelpapier, damit der beim Glühen entstandene Zunder abgetragen wird. Dann arbeiten wir nach Bild 9.17 ein Langloch in den Zylindermantel ein. Nach dem Anreißen und Körnen bohren wir mit etwa 3 mm die Form aus, wobei sich die einzelnen Bohrungen nahezu berühren müssen. Dann schlagen wir im Schraubstock mit dem Hammer das ausgebohrte

Stück heraus und befeilen das »zackige« Langloch sauber und maßgerecht. Es ist zum Anschluß des Nachbeschleunigungskontaktes notwendig.

Von einem 0,4 bis 0,5 mm dicken Stück Eisen- oder Messingblech schneiden wir 10 mm breite Streifen für die Klemmschelle ab. Mit ihr schrauben wir den Hals der Oszilloskopröhre im Abschirmzylinder fest. Bild 9.17 zeigt die Ansicht des Zylinders mit eingeschraubter Klemmschelle von der hinteren Stirnseite, als auch wie die beiden Abstandswinkel der Klemmschelle zu biegen und mit dem Ring zu verlöten sind. Eine Lasche der Schelle muß etwas verdickt werden (Löten oder Kleben), damit wir Gewinde M3 einschneiden können. Zum Schluß kleben wir in die Klemmschelle zum Schutz des Röhrenhalses einen Streifen aus dünnem Filz. Die zwei Löcher für die Winkel der Klemmschelle bohren wir 20 mm von der hinteren Stirnseite entfernt in den Zylindermantel, das Schraubenzieherloch 45 mm von hinten. Nach dem Bohren bearbeiten wir es noch etwas mit der Rundfeile. 15 mm von der hinteren Stirnseite erhält der Abschirmzylinder zwei Gewindebohrungen M4, an denen die Befestigungslasche des Abschirmzylinders (vgl. Bild 9.17 d) aus Aluminium- oder Messingblech angeschraubt wird. Wir verwenden für die Lasche kein Eisenblech, weil sonst das Streufeld des Netztransformators von der Transformatorabschirmung zum Abschirmzylinder geleitet wird. Paßt alles zusammen, streichen wir den Abschirmzylinder innen und außen mit Silber-

bronze und bauen nach dem Trocknen Röhre und Abschirmzylinder ein.

An der rechten Seite des Abschirmzylinders (von hinten gesehen) führen wir in einem Kabelbaum drei Leitungen von den Lötösen 5, 6 und 10 der Netzteilplatine zur Frontplatte (-650 V) bzw. zum Nachbeschleunigungskontakt (+650 V) und zur Spannungsteiler-Leiterplatte (Masse), parallel dazu drei weitere Litzendrähte von dieser Leiterplatte und eine von der Frontplatte (Schleifer  $P_2$ ) zur Bildröhrenfassung. Sie sollen nur so lang sein, daß die Fassung noch ordentlich vom Sockel abgezogen werden kann. Dann schließen wir die Seitenwandbuchsen  $Bu_9 \dots Bu_{12}$  an. Die 4-V-Heizleitung verlegen wir verdreht vom Netztrafo, und die beiden Leitungen für Masse und -650 V führen wir von der Frontplatte nach unten.

Die Netzleitung und die verdrehte Leitung von der Frontplatte zum Primär-

schluß des Netztransformators verlegen wir auf der linken Seite des Abschirmzylinders oberhalb der oberen Strebe. Am Transformator geht die Netzleitung nach unten und ist mit einer Schelle am Grundbrett festgelegt. Gemeinsam mit diesen beiden 220-V-Leitungen führen wir – ebenfalls verdreht – ein flexibles Leitungspaar von der 6,3-V-Wicklung des Transformators zur Röhrenfassung. Im Bild 9.18 ist das Anschlußschema der Röhrenfassung dargestellt und hervorgehoben, welche Leitungen gemeinsam verlegt werden können. An die Anschlüsse 7 und 8 löten wir zunächst je eine etwa 20 cm lange flexible Leitung, an 10 und 11 je eine ebenso lange abgeschirmte Leitung. Alle vier freien Leitungsenden verlöten wir vorerst miteinander und legen diesen Punkt auf Masse.

Nun folgt wieder eine Funktionsprobe, vorher kontrollieren wir aber noch einmal

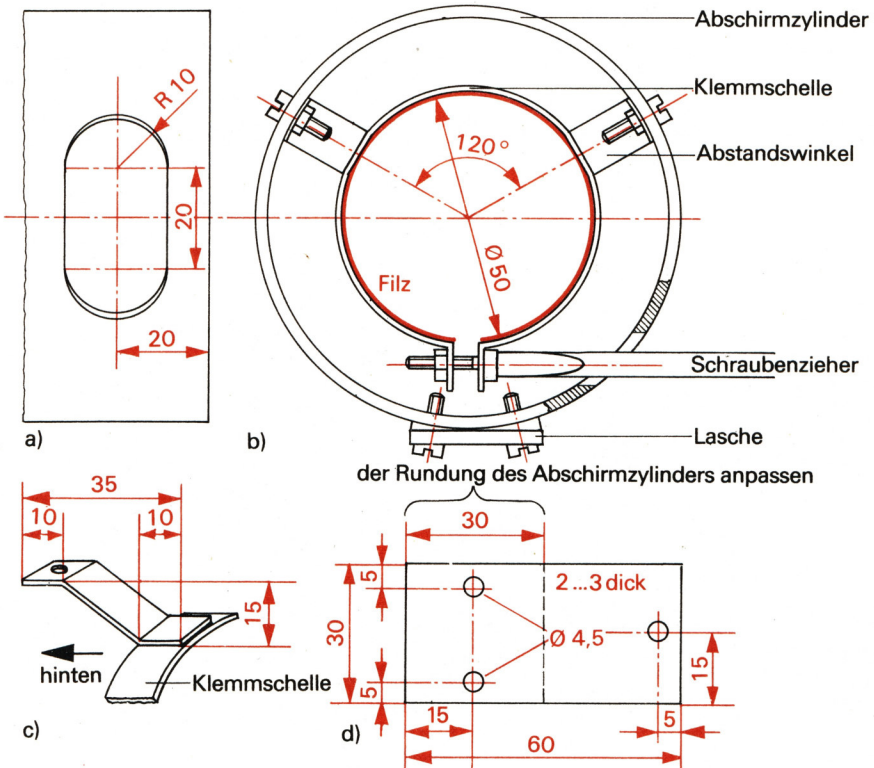


Bild 9.17 Bau des Abschirmzylinders: a) Das Langloch an der vorderen Stirnseite für den Nachbeschleunigungsanschluß, b) Ansicht von der hinteren Stirnseite, c) So löten wir die Abstandswinkel an die Klemmschelle, d) Mit dieser Lasche schrauben wir den Abschirmzylinder am Abschirmblech fest.

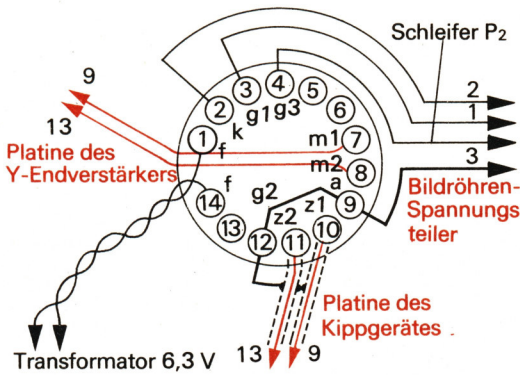


Bild 9.18 So schließen wir die Bildröhrenfassung an.

die gesamte Leitungsführung. Dann werden die Glimmlampe sowie die Sicherung eingesetzt und die Netzspannung eingeschaltet. Nach etwa 15 Sekunden ist die Röhre aufgeheizt, und auf dem Leuchtschirm erscheint ein Leuchtpunkt, dessen Helligkeit und Schärfe mit den beiden Potentiometern  $P_1$  und  $P_2$  einstellbar ist.

### Ein Gegentaktverstärker sorgt für die notwendige hohe Ablenkspannung

Wenn wir eine der beiden Meßplattenleitungen vom Massepunkt trennen und zwischen ihr und Masse eine Wechselspannung von beispielsweise 24 V anlegen, wird der Elektronenstrahl um 4 cm ausgelenkt. Da er sowohl dem positiven Maximalwert als auch dem negativen folgt, wäre für dieselbe Auslenkung eine Gleichspannung von

$$2 \cdot \sqrt{2} \cdot U = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 24 \text{ V} = 68 \text{ V} \text{ notwendig.}$$

Der Ablenkfaktor für die Meßplatten beträgt unter den gegebenen Bedingungen

$$\text{demnach } A_m = \frac{U}{l} = \frac{68 \text{ V}}{4 \text{ cm}} = 17 \frac{\text{V}}{\text{cm}}. \text{ Um}$$

den Elektronenstrahl 7 cm auslenken zu können, wird eine Gleichspannung von

$$U = A_m \cdot l = 17 \frac{\text{V}}{\text{cm}} \cdot 7 \text{ cm} = 120 \text{ V} \text{ benötigt.}$$

Für die Zeitplatten, deren Ablenkfaktor

$A_z = 23 \frac{\text{V}}{\text{cm}}$  beträgt, sind sogar 160 V

erforderlich. Die Betriebsspannung des Endstufentransistors müßte demnach mindestens 180 V betragen. Da im Interesse einer oberen Grenzfrequenz von etwa 1 MHz der Arbeitswiderstand der Endstufe höchstens 7 k $\Omega$  groß sein darf,

$$\text{wäre der Ruhestrom auf } I = \frac{90 \text{ V}}{7 \text{ k}\Omega}$$

$\approx 13 \text{ mA}$  einzustellen, und die Verlustleistung des Transistors müßte größer als  $P = 90 \text{ V} \cdot 13 \text{ mA} = 1,2 \text{ W}$  sein. Deshalb ist es günstiger, die Endstufe in Gegentakt-schaltung auszuführen. Während ein Transistor die eine Ablenkplatte positiv ansteuert, wird die andere vom zweiten Transistor um den gleichen Spannungswert negativ angesteuert. Die Betriebsspannung je Transistor braucht nur noch halb so groß zu sein, und der Ruhestrom beträgt – bei gleichem Arbeitswiderstand – ebenfalls nur noch die Hälfte. Damit reduziert sich die notwendige Transistorverlustleistung auf ein Viertel im Vergleich zur Verstärkerschaltung mit nur einem Transistor.

Der vollständige Stromlaufplan des Gegentaktverstärkers, den wir sowohl als Endverstärker YE (der erste Buchstabe unserer Symbolik weist auf eine Baugruppe für die senkrechte Strahlablenkung – entsprechend dem x-y-Koordinatensystem – hin, der zweite kennzeichnet den Endverstärker) für den Meßverstärker als auch, in etwas abgewandelter Form, für das Kippgerät verwenden, ist im Bild 9.19 dargestellt.

Als Betriebsspannung verwenden wir +80 V, die Arbeitswiderstände  $R_{54}$  und  $R_{55}$  der in Basisschaltung arbeitenden Endtransistoren  $T_{13}$  und  $T_{14}$  sind 6,8 k $\Omega$  groß. Für ein gleichmäßiges Aussteuern sind die Arbeitspunktspannungen wie üblich auf die halbe Betriebsspannung einzustellen. Dann fließt durch jeden Endtransistor ein Ruhestrom von

$$I = \frac{40 \text{ V}}{6,8 \text{ k}\Omega} \approx 6 \text{ mA.}$$

Die Schaltung mit den Transistoren  $T_{11}$  und  $T_{12}$  ist der bereits beim Bau des integrierten NF-Leistungsverstärkers im Kapitel 8 erwähnte Diffe-



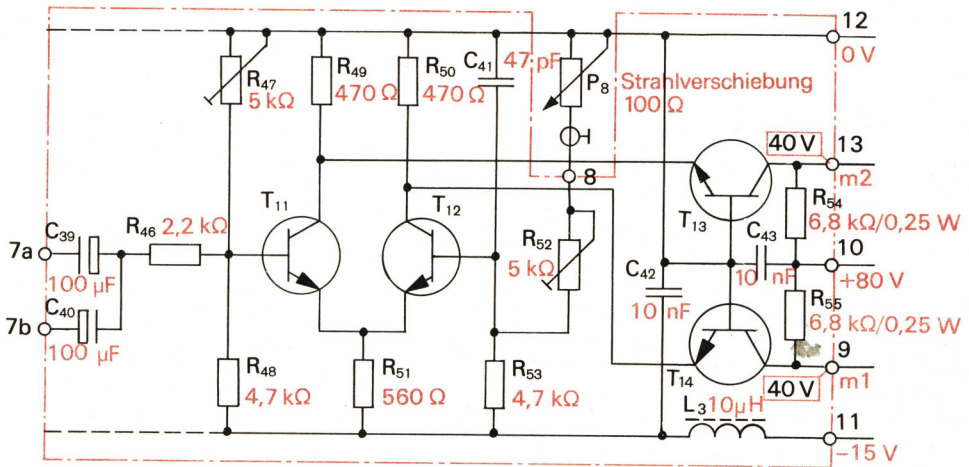


Bild 9.19 Stromlaufplan des Endverstärkers YE ( $T_{11}$  und  $T_{12}$ : SF 137,  $T_{13}$  und  $T_{14}$ : SF 129)

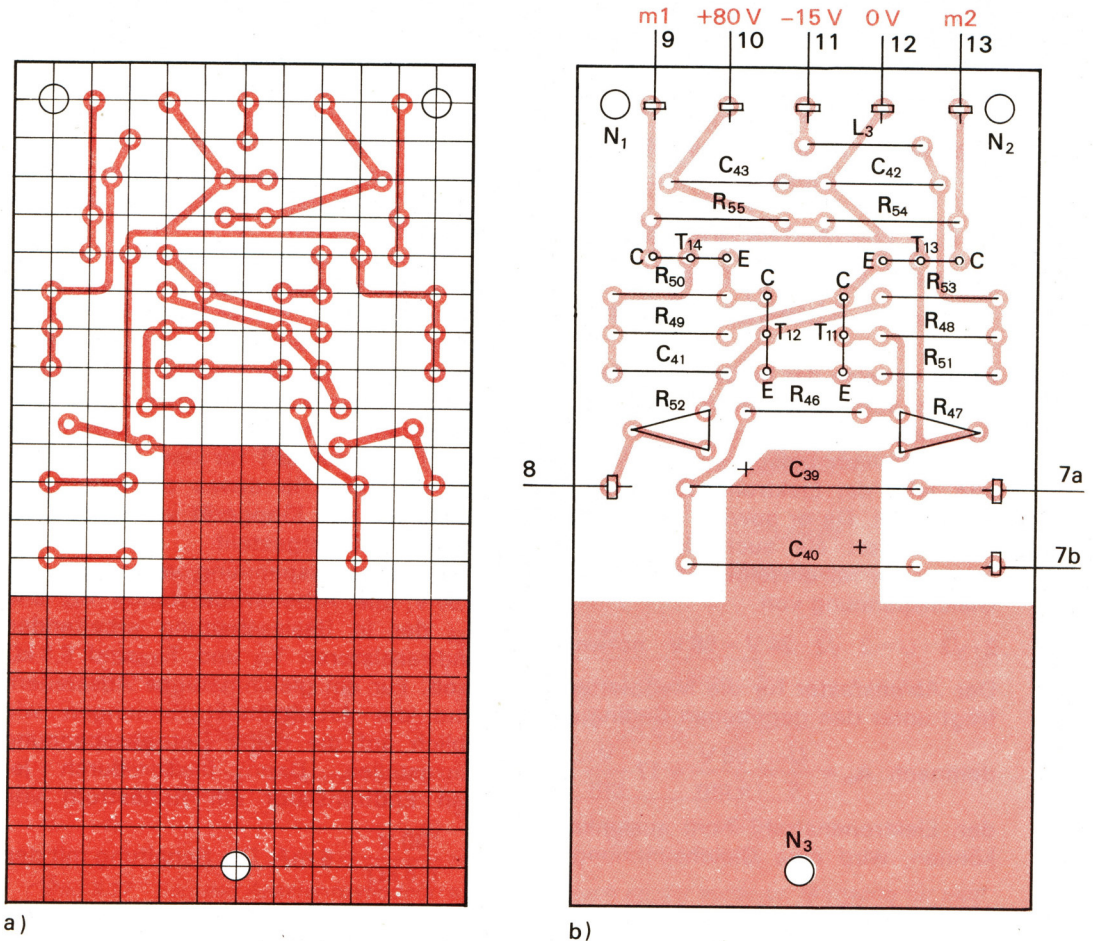


Bild 9.20 Leitungsführung (a) und Bestückungsplan (b) des Endverstärkers YE

renzverstärker und liefert an den Kollektorwiderständen  $R_{49}$  und  $R_{50}$  gegenphasige Ansteuersignale für die Endtransistoren. Während mit den beiden 5-k $\Omega$ -Einstellwiderständen  $R_{47}$  und  $R_{52}$  in beiden Endtransistoren der Ruhestrom von je 6 mA fest eingestellt wird, dient das Potentiometer  $P_8$  zum begrenzten Verändern der Basisvorspannung für  $T_{12}$ . Das wirkt sich wiederum auf die Ruhestrome der Endtransistoren aus. In einem Transistor geht der Strom zurück, und im anderen steigt er um den gleichen Betrag. Wenn später der Gegentaktverstärker angeschlossen ist, können wir mit  $P_8$  den Elektronenstrahl um etwa 2 cm senkrecht verschieben.  $C_{41}$  sorgt für ein Anheben der oberen Grenzfrequenz auf gut 1 MHz. Kondensator  $C_{43}$  legt die Betriebsspannung von +80 V hochfrequenzmäßig auf Masse; in der Speiseleitung von -15 V ist zur HF-Entkopplung der einzelnen Baugruppen ein LC-Glied ( $L_3C_{42}$ ) vorteilhaft. Als Spule verwenden wir entweder eine handelsübliche Entstördrossel für Gleichstrom-Kleinstmotoren, oder wir wickeln auf den Kern eines Dreikammerspulenkörpers 20 Windungen aus CuL 0,4.

Bevor wir diesen Verstärker auf einer Leiterplatte aufbauen, probieren wir seine Funktion auf dem Experimentierbrett aus und üben auch gleichzeitig das Einstellen der Arbeitspunktspannungen von  $T_{13}$  und  $T_{14}$ . Die Einsteller werden vorher auf den größten Widerstandswert gestellt, der Schleifer von  $P_8$  steht etwa auf Mitte. Beide Endtransistoren erhalten zur Wärmeabfuhr je einen kleinen Kühlstern, da sie mit  $P = 40 \text{ V} \cdot 6 \text{ mA} = 240 \text{ mW}$  belastet werden; die gleichermaßen beanspruchten Arbeitswiderstände  $R_{54}$  und  $R_{55}$  müssen daher 0,25-W-Ausführungen sein. Die Betriebsspannungen entnehmen wir der Platine des Netzgerätes. Durch *geringfügiges* wechselseitiges Verkleinern der Einsteller-Widerstandswerte stellen wir gleiche Kollektorspannungen von 40 V ein. Nach dem Probeaufbau übertragen wir die Bauelemente auf eine Leiterplatte gemäß Bild 9.20; im Bild 9.27 sehen wir die bestückten Platinen des Y-Endverstärkers (YE) und des Kippgerätes (X). Wir erkennen gut den gleichen Aufbau der Endstufen beider Teilschaltungen.

## Die Teilschaltungen des Kippgenerators

Die Kippspannung erzeugen wir durch abwechselnde Auf- und Entladung eines Kondensators. Um eine ganze Reihe von Kippfrequenzbereichen zu erhalten, sind acht Kondensatoren ( $C_{15}$  bis  $C_{22}$ ) eingebaut, die wahlweise mit  $S_3$  (vgl. Bild 9.21) als Kippkondensatoren geschaltet werden können. Sie liegen am Kollektor des Transistors  $T_3$ , der als *Konstantstromquelle* arbeitet und für einen zeitlinearen Spannungsanstieg am Kippkondensator sorgt. Mit  $S_3$  stellen wir die Kippfrequenz *grob* – in Stufen – ein;  $P_4$  dient der *Feineinstellung*. Wir erproben die einzelnen Teilschaltungen zunächst wieder der Reihe nach auf dem Experimentierbrett. Als Kippspannungsverstärker verwenden wir vorläufig den Endverstärker YE.

### Geringe Belastung durch Impedanzwandler

In der ersten Stellung des zweipoligen 9-Stellen-Umschalters  $S_3$  wird sowohl anstelle eines Kippkondensators Widerstand  $R_{21} = 3,3 \text{ M}\Omega$  an die Basis von  $T_4$  gelegt als auch die Verbindung zur Konstantstromquelle  $T_3$  unterbrochen; der Kippgenerator ist dann außer Betrieb. In dieser Stellung kann über die Buchsen  $Bu_3$  und  $Bu_4$  eine beliebige Spannung von außen zugeführt werden. Sie gelangt über  $C_{23}$  an die Basis von  $T_4$ , der in Kollektorschaltung als Impedanzwandler arbeitet. Mit  $P_5$  wird die am Eingang 7a von YE liegende Wechselspannung auf den gewünschten Wert eingestellt.  $T_4$  muß unter den Betriebsbedingungen bei

$$I_C = \frac{10 \text{ V}}{2 \cdot 15 \text{ k}\Omega} = 0,33 \text{ mA}$$

eine Stromverstärkung von gut 200 haben, da  $R_{21}$  einen

$$\text{Basisstrom } I_B \approx \frac{5 \text{ V}}{3,3 \text{ M}\Omega} = 1,5 \mu\text{A}$$

$$\text{ermöglicht und } \frac{330 \mu\text{A}}{1,5 \mu\text{A}} = 220 \text{ ergibt. Wir suchen}$$

für  $T_4$  nach der Schaltung im Bild 5.12 ein Exemplar aus, das mit  $U_B = 10 \text{ V}$ ,  $R_E = 15 \text{ k}\Omega$  und  $R_B = 3,3 \text{ M}\Omega$  eine Emitter-

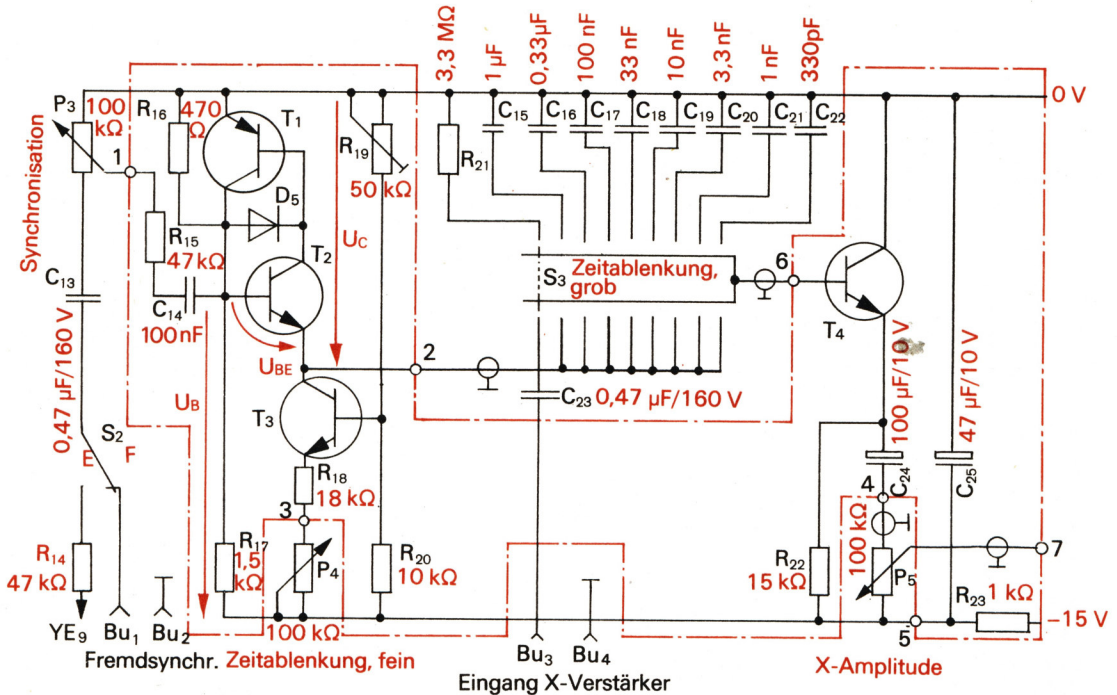


Bild 9.21 Stromlaufplan des Kippgenerators  
(D<sub>5</sub>: SAY 12, T<sub>1</sub>: SF 116, T<sub>2</sub> und T<sub>3</sub>: SF 136, T<sub>4</sub>: SF 136 D oder E)

spannung zwischen 4,5 V und 5 V erzeugt. Dann liegt die Stromverstärkung zwischen 200 und 250.

### Konstanter Ladestrom für den Kippkondensator

Im Bild 4.4 haben wir das Meßergebnis einer Kondensatorladung dargestellt und erkannt, daß die Spannungszunahme im Laufe der Zeit immer geringer wird; Ursache dafür ist der stete Rückgang des Ladestromes. Für eine Kippschaltung, die den Elektronenstrahl vollkommen gleichmäßig – *zeitlinear* – über den Bildschirm steuert, ist ein konstanter Ladestrom erforderlich. Wir bauen die Experimentierschaltung nach Bild 9.22 auf und verwenden für T<sub>3</sub> ein Exemplar mit  $B \approx 50$ . Wenn sich C bis auf 6 V laden soll, darf die Spannung an R<sub>1</sub> höchstens bei etwa 3,5 V liegen, der Emitterstrom also bei

$$I_E = \frac{3,5 \text{ V}}{120 \text{ k}\Omega} \approx 30 \mu\text{A}.$$

Auf diesen Wert stellen wir bei geschlossenen Schaltern

S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub> den Kollektorstrom mit R<sub>19</sub> ein und öffnen dann beide Schalter wieder. Nun beginnt der eigentliche Versuch: Aufnahme der Ladespannung U<sub>C</sub> und des Ladestromes I in Abhängigkeit von der Zeit. Mit nur einem Meßgerät führen wir zwei Teilversuche durch und messen einmal nur den Strom und das andere Mal nur die Spannung. Zu einer vollen Minute ( $t=0$ ) schließen wir S<sub>1</sub> und lesen sofort nach Stillstand des Meßgerätezeigers den Strom ab. Nach jeweils einer Minute schließen wir kurzzeitig S<sub>3</sub>, lesen die Spannung ab und öffnen S<sub>3</sub> wieder. Das ist notwendig, damit sich der Kondensator nicht zu stark über den Spannungsmesser entlädt. Wir messen so lange, bis der Strom auf etwa 5 μA gesunken ist oder bis die Spannung nicht mehr ansteigt, und übertragen die Meßwerte in ein Diagramm entsprechend Bild 9.23. Am Ende schließen wir zuerst S<sub>2</sub> und öffnen danach S<sub>1</sub>. R<sub>2</sub> begrenzt den Entladestrom; mit geschlossenem S<sub>3</sub> registrieren wir die vollständige Entladung von C.

So können übrigens große Kapazitäten

gemessen werden. Ersetzt man in der Gleichung  $C = \frac{Q}{U}$  die Ladungs- oder Elektrizitätsmenge durch  $Q = I \cdot t$ , ergibt sich

$$C = \frac{I \cdot t}{U}$$

Bild 9.23 berechnen wir eine Kapazität

$$C = \frac{30 \mu\text{A} \cdot 1 \text{ min}}{1,5 \text{ V}} = 1200 \mu\text{F}$$

Nun schalten wir auf dem Experimentierbrett die Konstantstromquelle nach Bild 9.22 ohne die Meßgeräte und  $R_2$ , aber mit  $S_2$  und  $C = 10 \mu\text{F}$  direkt vor den Impedanzwandler nach Bild 9.21 (ohne  $R_{23}C_{25}$ ) und schließen dessen Ausgang 7 an den Eingang 7a des Endverstärkers YE. An Lötöse 13 kommt die zum Röhrenanschluß 11, an Lötöse 9 die zu 10 führende, abgeschirmte Leitung. Wir schalten zuerst das »Oszilloskop« ein und warten, bis der Leuchtpunkt auf dem Schirm erscheint. Dann legen wir an Impedanzwandler und Konstantstromquelle 10 V vom Stromversorgungsgerät: sofort beginnt der Leuchtpunkt zu wandern. Verschwindet er rechts, schließen wir kurzzeitig  $S_2$  und öffnen wieder: erneute Wanderung. Mit  $P_5$  wählen wir eine solche Eingangsspannung für YE, daß sich der

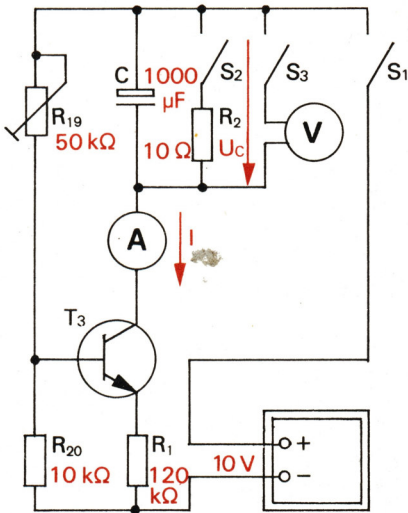


Bild 9.22 Kondensatorladung mit Konstantstromquelle ( $T_3$ : SF 136)

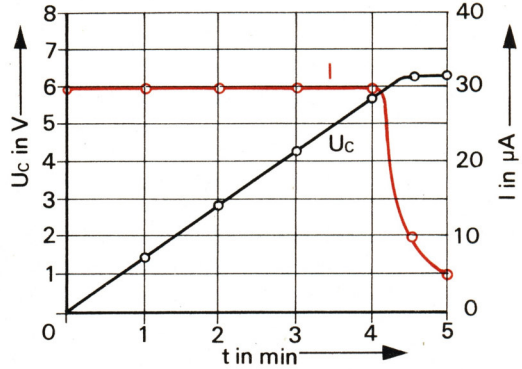


Bild 9.23 Strom- und Spannungsverlauf der Konstantstromladung

Leuchtpunkt gerade von einer Schirmseite zur anderen bewegt. Das Ganze

$$\text{dauert etwa } t = \frac{C \cdot U}{I} = \frac{10 \mu\text{F} \cdot 6 \text{ V}}{30 \mu\text{A}} = 2 \text{ s};$$

beim Schließen von  $S_2$  springt der Leuchtpunkt schlagartig nach links zurück.

### Entladeschalter mit komplementären Transistoren

Bisher haben wir den Kippkondensator jeweils durch Schließen von  $S_2$  entladen; diese Aufgabe übernehmen im Bild 9.21 die Transistoren  $T_1$  und  $T_2$ . Sobald die Betriebsspannung anliegt, lädt sich der Kippkondensator C auf; die Spannung  $U_C$  steigt entsprechend Bild 9.23. An der Basis des npn-Transistors  $T_2$  liegt eine konstante Spannung  $U_B \approx \frac{10\text{V} \cdot 0,5\text{k}\Omega}{2\text{k}\Omega} = 2,5\text{V}$ ,

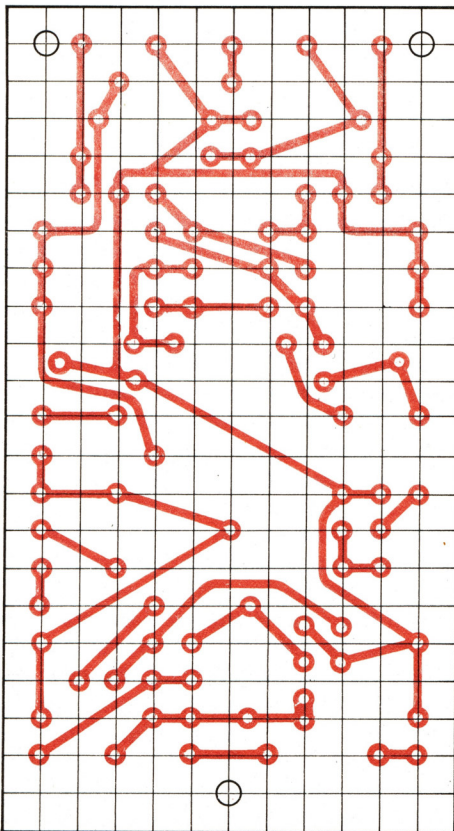
$$\text{so daß beim Erreichen von } U_C = U_B + U_{BE} \approx 3 \text{ V}$$

zunächst über  $T_2$  ein Basisstrom zu fließen beginnt, der sofort einen Kollektorstromfluß über die Basis des pnp-Transistors  $T_1$  bewirkt. Dieser wiederum öffnet die Emitter-Kollektorstrecke von  $T_1$ , was zum völligen Durchsteuern von  $T_2$  führt: der Kondensator entlädt sich über  $T_1$  und  $T_2$ . Da sich diese Vorgänge sehr schnell abspielen, erfolgt die Entladung nahezu augenblicklich, und die Aufladung kann erneut beginnen. Für  $T_1$  und  $T_2$  suchen wir Exemplare aus, deren Stromverstärkungen zwischen 50 und 100 lie-

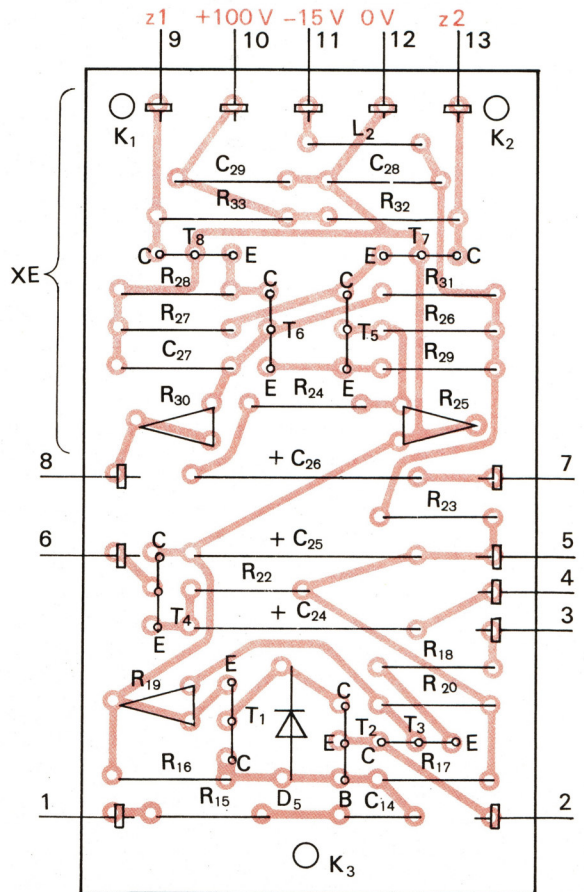
gen und die sich um nicht mehr als 30% voneinander unterscheiden. Bei Verwendung eines SF 225 für  $T_2$  beachten wir dessen spezielle Elektrodenanordnung! Wir entfernen Schalter  $S_2$  aus unserer Versuchsschaltung und schließen nun noch  $T_1$  und  $T_2$  mit ihrem Spannungsteiler  $R_{16}R_{17}$  an; der Emitter von  $T_2$  wird direkt mit dem Kollektor von  $T_3$  verbunden. Jetzt ist der Strahlrücklauf automatisiert; der Leuchtpunkt wird allerdings doppelt so schnell und nicht mehr so weit wie vorhin über den Schirm geführt. Das liegt an der geringeren Lade- bzw. Kippspannung, die jetzt nur noch etwa 3 V beträgt. Wir vergrößern deshalb durch weiteres Öffnen von  $P_5$  die Eingangsspannung für YE, bis

der Leuchtpunkt wieder über den ganzen Schirm wandert.

Dann ersetzen wir  $R_1$  durch die Reihenschaltung  $R_{18}P_4$  (vgl. Bild 9.21); danach muß sich mit  $P_4$  die Ablenkzeit im Verhältnis 1:5 verändern lassen. Zur besseren Meßbarkeit ersetzen wir  $C = 10 \mu\text{F}$  durch  $47 \mu\text{F}$  und ermitteln Zeiten zwischen einer und fünf Sekunden. Zum Schluß verwenden wir  $C = 330 \text{ pF}$ . Schwingt der Kippgenerator damit nicht an oder bricht die Zeitlinie beim Feineinstellen der Frequenz zusammen, bauen wir entsprechend Bild 9.21 Diode  $D_5$  bei  $T_1$  und  $T_2$  ein; sie ist nur für Kippfrequenzen über 50 kHz erforderlich.



a)



b)

Bild 9.24 Leitungsführung (a) und Bestückungsplan (b) des Kippgerätes X

## Das Kippgerät setzt sich aus Generator und Endstufe zusammen

Die im Bild 9.21 ganz links angegebenen Bauelemente dienen der *Synchronisation*. Um die Schirmbildkurve sicher zum Stehen zu bringen, muß sich die Kippfrequenz mit der Meßspannung in Gleichlauf bringen, synchronisieren lassen.  $S_2$  gestattet das Umschalten von Eigensynchronisation (E) auf Fremdsynchronisation (F); den Synchronisationsgrad stellen wir mit  $P_3$  ein.

Wir übertragen nun die auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüften Bauelemente des Kippgenerators auf eine Leiterplatte nach Bild 9.24, verbinden die Lötösen 2 und 6 und legen von hier nach Masse den Kippkondensator;  $P_4$  und  $P_5$  sind mit Lötöse 5 zu verbinden. Nach erneuter Funktionsprobe bestücken wir schließlich den X-Endverstärker. Seine Schaltung entspricht bis auf vier Bauelemente der des Y-Endverstärkers, und es besteht die Zuordnung laut der Tabelle.

|                 |                       |               |          |          |          |          |          |       |       |                       |
|-----------------|-----------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-----------------------|
| YE              | $R_{46} \dots R_{54}$ | $R_{55}$      | $C_{39}$ | $C_{40}$ | $C_{41}$ | $C_{42}$ | $C_{43}$ | $P_8$ | $L_3$ | $T_{11} \dots T_{14}$ |
| XE              | $R_{24} \dots R_{32}$ | $R_{33}$      | $C_{26}$ | —        | $C_{27}$ | $C_{28}$ | $C_{29}$ | $P_6$ | $L_2$ | $T_5 \dots T_8$       |
| andere<br>Werte | — 10 k $\Omega$       | 10 k $\Omega$ | —        | —        | 220 pF   | —        | —        | —     | —     | —                     |

$R_{32}$  und  $R_{33}$  müssen ebenfalls 0,25-W-Ausführungen sein. Da die Endtransistoren  $T_7$  und  $T_8$  mit +100 V betrieben werden, sind ihre Kollektorspannungen auf 50 V einzustellen;  $P_6$  steht dabei auf Mitte.

## Endmontage und Feineinstellung

Nachdem wir die bestückte Platine des Kippgerätes auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft haben, schrauben wir sie bei  $K_1 \dots K_3$  an die Streben, bei  $N_1 \dots N_3$  dann auch die des Y-Endverstärkers; zwischen Platine und Streben kommen wieder kleine Abstandsstückchen aus Pertinax. Wie die beiden Platinen anzuschließen sind, geht teilweise aus den Bildern 9.15,

9.18, 9.20b und 9.24b hervor. Bild 9.25 zeigt den vollständigen Stromlaufplan des Oszilloskops, den wir ebenfalls für die Verdrahtung heranziehen können.

Besondere Aufmerksamkeit widmen wir dem Verlegen der Leitungen zu den Ablenkplatten. Erfolgt dies unsachgemäß, kann es die Funktion des Oszilloskops in Frage stellen. Wir erkennen das entweder an einer gekrümmten oder anderweitig verformten Zeitlinie. Als günstig hat es sich erwiesen, die abgeschirmten Zeitplattenleitungen »hinter« den Leiterplatten unterhalb des Abschirmzylinders zur Röhrenfassung zu führen, während die beiden nicht abgeschirmten flexiblen Meßplattenleitungen an der Seite des Abschirmzylinders zur Fassung gehen (vgl. auch Bild 9.27).

An diese Problematik denken wir auch, wenn der eigentliche Meßverstärker angeschlossen wird. Vor allem das Leitungspaar zum Herausführen der verstärkten Meßspannung vom Y-Endverstärker zur Federleiste auf dem Grundbrett muß weit genug von den Zeitplattenleitungen entfernt sein; am besten

löten wir diese beiden Leitungen direkt an die Röhrenfassung (Anschlüsse 7 und 8). Ähnliches gilt auch für die Leitung der Eigensynchronisation. Von Anschluß 6 der Federleiste gehen wir auf kürzestem Wege über den Widerstand  $R_{14} = 47 \text{ k}\Omega$  zum Umschalter  $S_2$ .

Danach führen wir wieder eine Funktionsprobe durch und nehmen die letzten Einstellungen vor. Das Kippgerät ist ausgeschaltet, die Potentiometer  $P_6$  und  $P_8$  stehen auf Mitte, und wir kontrollieren noch einmal die Spannungen an den Lötösen 9 und 13 von YE (40 V) und X (50 V). Falls erforderlich, stellen wir  $R_{25}$  oder  $R_{30}$  bzw.  $R_{47}$  oder  $R_{52}$  noch geringfügig nach; der Leuchtpunkt muß genau in Schirmmitte liegen.

Dann schalten wir mit  $S_3$  die niedrigste Frequenzstufe des Kippgenerators ein

und wählen mit  $P_5$  eine etwa 5 cm lange Zeitlinie. Ist sie nach der einen oder anderen Seite geneigt, müssen wir die Bildröhre nach Lösen der Klemmschelle im Abschirmzylinder entsprechend drehen.

Zum Einstellen der Kippfrequenz genügt bereits die Netzfrequenz von 50 Hz. Über einen Spannungsteiler (Potentiometer 1 k $\Omega$ ) legen wir eine niedrige Wechselspannung an Lötöse 7b von YE und Masse, drehen  $P_4$  auf Rechtsanschlag und gehen wieder geringfügig (etwa 10°) zurück. Dann stellen wir  $R_{19}$  so weit nach, bis auf dem Schirm genau eine Periode der Wechselspannung zum Stillstand kommt. Während des anschließenden Drehens von  $P_4$  entgegen dem Uhrzeigersinn werden erst zwei, dann drei, schließlich vier und kurz vor dem linken Anschlag fünf Perioden abgebildet; die Kippfrequenz läßt sich also in der ersten Stufe zwischen 10 Hz und 50 Hz feineinstellen. In den folgenden Stufen ergeben sich bei sorgfältig ausgemessenen Kipp-

kondensatoren automatisch die Frequenzbereiche 30 Hz...150 Hz, 100 Hz...500 Hz, 300 Hz...1500 Hz, 1 kHz...5 kHz, 3 kHz...15 kHz, 10 kHz...50 kHz und 30 kHz...150 kHz.

Zum Schluß wählen wir wieder die niedrigste Kippfrequenz und geben eine Wechselspannung von 5...10 V an den Eingang »Helligkeitsmodulation«; jetzt wird der Elektronenstrahl periodisch abgedunkelt. Die Grundhelligkeit des Strahls darf dabei nicht zu groß sein. Sind wir mit dem Ergebnis zufrieden, wenden wir uns dem Bau des Meßverstärkers zu.

### Wir bauen den Meßverstärker

Aus Bild 9.25 ist ersichtlich, daß der Y-Vorverstärker YV – mit einer Reihe externer Bauelemente (Wir nennen diese Baugruppe der Einfachheit halber »Meßverstärker«, obwohl es sich eigentlich nur

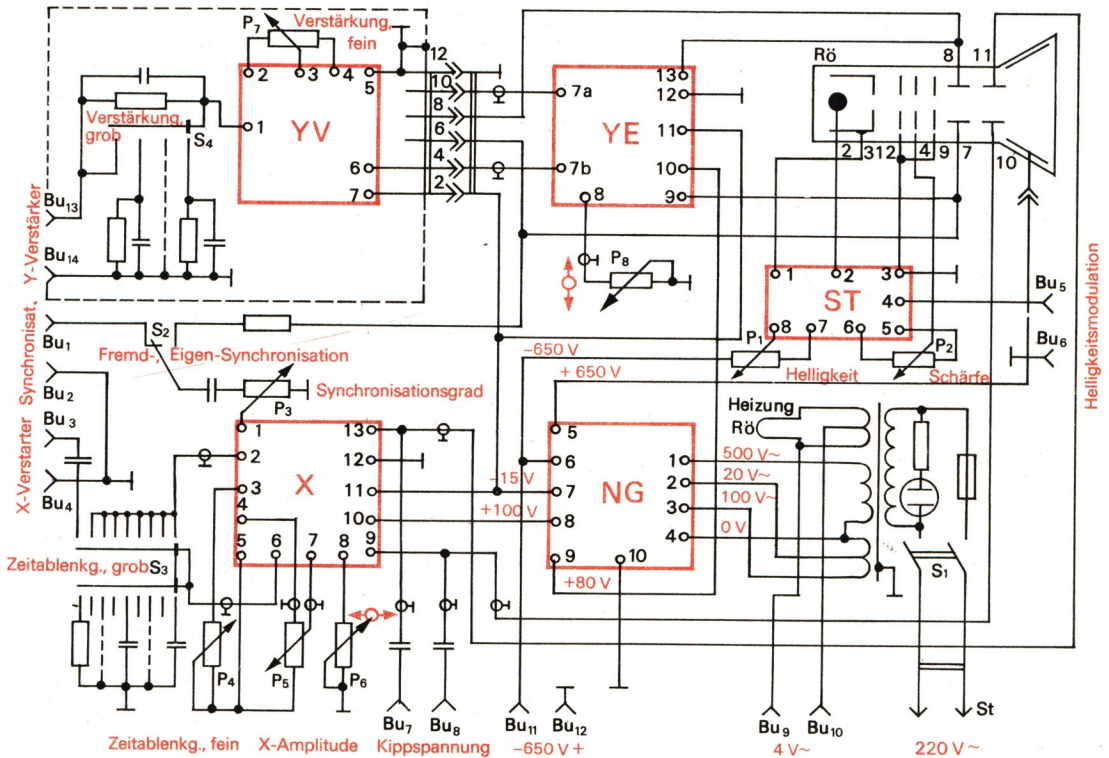


Bild 9.25 Stromlaufplan des Elektronenstrahloszilloskops

## 9. Wir bauen ein Elektronenstrahloszilloskop

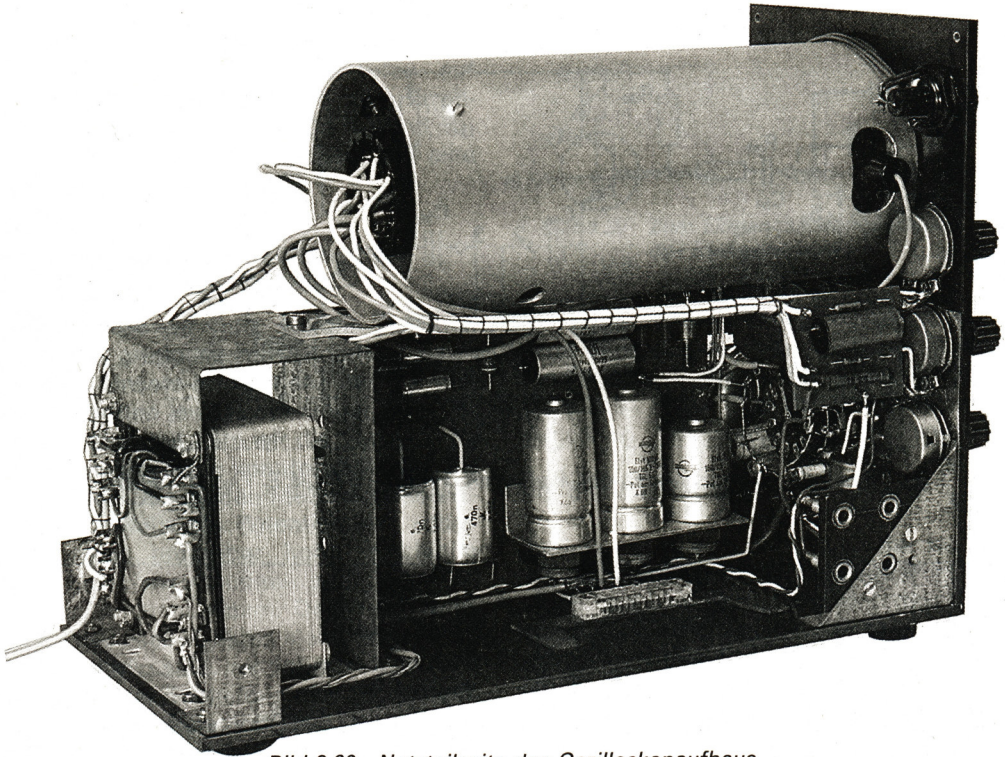


Bild 9.26 Netzteilseite des Oszilloskopaufbaus

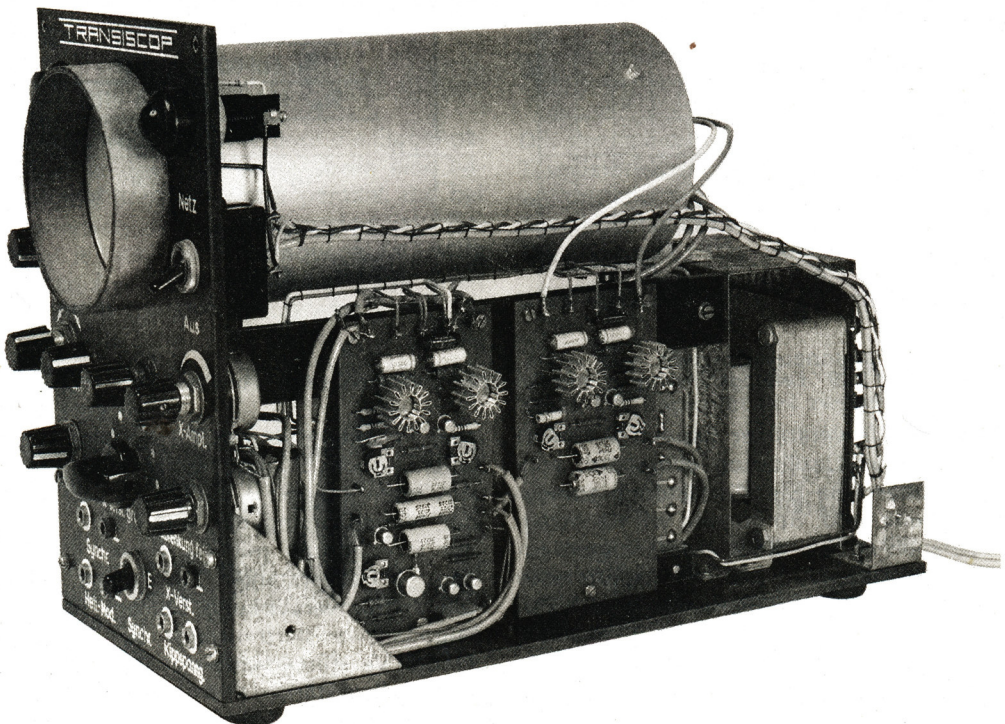


Bild 9.27 Endverstärkerseite des Oszilloskopaufbaus



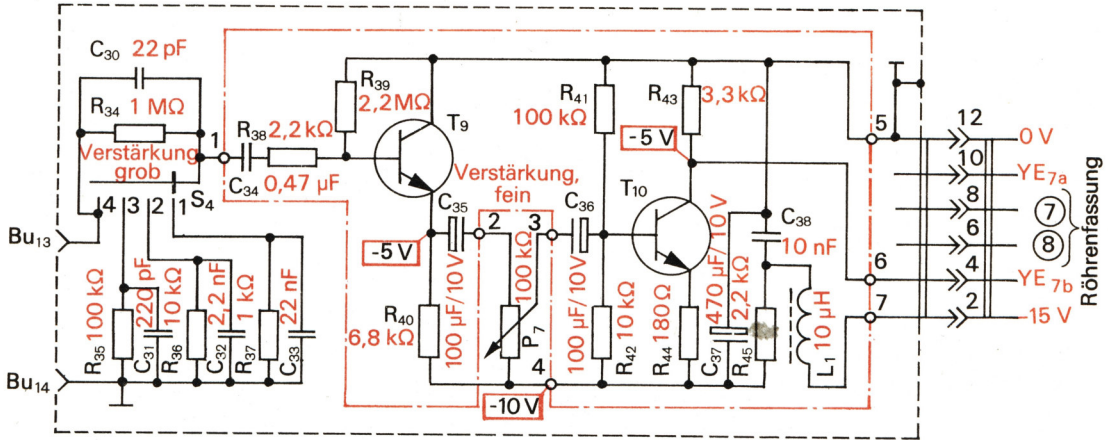
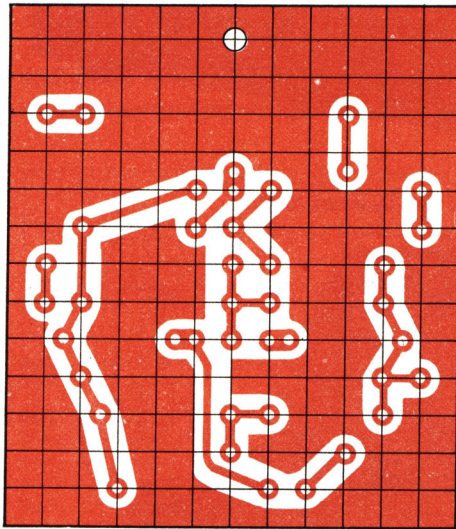
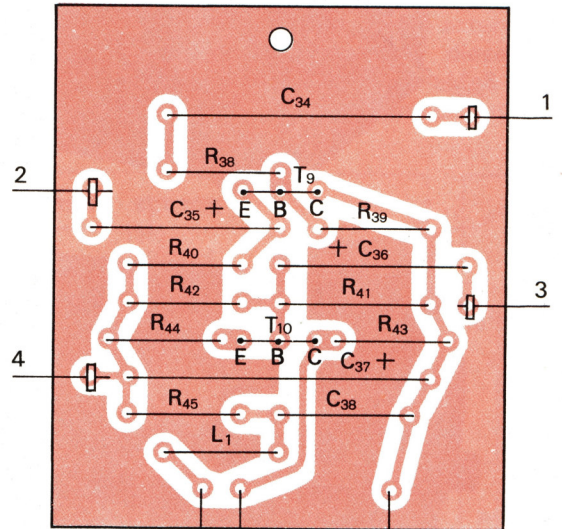


Bild 9.28 Stromlaufplan des Meßverstärkers ( $T_9$ : SF 136 E,  $T_{10}$ : SF 136 D)



a)



b)

Bild 9.29 Leitungsführung (a) und Bestückungsplan (b) des Y-Vorverstärkers YV

um den Vorverstärker handelt.) – nicht fest in das Oszilloskop eingebaut, sondern über eine Steckverbindung »eingeschoben« wird. So können wir nachträglich auch andere Meßverstärker bzw. ein zweites Kippgerät, z. B. für Experimente zur Bildwiedergabe (Fernsehen) oder Zeichendarstellung (Computer-Bildschirm-terminal), anschließen. Den Stromlaufplan des Meßverstärkers entnehmen wir Bild 9.28. Über umschaltbare RC-Glieder gelangt die Meßspannung zunächst an

eine Kollektorstufe mit  $T_9$ , die wieder für einen hohen Eingangswiderstand sorgt. Am Potentiometer  $P_7$  stellen wir den Wert der Meßspannung ein, der dann – von der Emitterstufe mit  $T_{10}$  vorverstärkt – den Y-Endverstärker ansteuert. Die Gleichstromverstärkung beträgt für den Impedanzwandlertransistor  $B_9 = 300$  und für den Verstärkertransistor  $B_{10} = 150$ . Um den Meßverstärker ausreichend von den übrigen Baugruppen zu entkoppeln, sind in der Betriebsspannungsleitung sowohl

ein RC- als auch ein LC-Siebglied angeordnet ( $R_{45}C_{37}$  und  $L_1C_{38}$ ). Nach der Erprobung der beiden Transistorstufen auf dem Experimentierbrett und dem Ermitteln der richtigen Werte für  $R_{39}$  und  $R_{41}$  übertragen wir die Bauelemente auf eine Leiterplatte nach Bild 9.29.

### Ein frequenzunabhängiger Spannungsteiler

Untersuchen wir nun, welche Funktion die um  $S_4$  gruppierten RC-Kombinationen erfüllen. Unsere bisher gebauten NF-Verstärker hatten jeweils am Eingang ein Potentiometer, mit dem wir die Verstärkung stufenlos einstellen konnten. Würden wir nach Bild 9.30a an den Meßverstärkereingang ebenfalls ein Potentiometer schalten, träten untragbar hohe Meßfehler bzw. Kurvenverzerrungen auf. Dazu wieder ein Rechenbeispiel: Damit die Belastung des Meßobjektes klein bleibt, muß  $P$  hochohmig sein, wir nehmen  $R_P=1\text{ M}\Omega$  an. Wenn der Schleifer in der Mitte steht, sind die Teilwiderstände  $500\text{ k}\Omega$  groß, die Ausgangsspannung  $U_A$  ist dann halb so groß wie die Eingangsspannung  $U_E$ , denn es gilt

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{500\text{ k}\Omega}{1000\text{ k}\Omega} = \frac{1}{2}$$

Dem Teilwiderstand  $R_2$  liegt die Eingangskapazität des Transistors sowie eine bestimmte Schaltkapazität parallel, die bei Niederfrequenz bedeutungslos ist. Beträgt jedoch die Meßfrequenz  $f=1\text{ MHz}$  und ist  $C=22\text{ pF}$  groß, so hat diese einen Wechselstromwiderstand von

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1\text{ V}}{2\pi \cdot 10^6\text{ s}^{-1} \cdot 22 \cdot 10^{-12}\text{ As}} = 7\text{ k}\Omega$$

Damit ist aber der am Transistoreingang liegende Teilwiderstand  $R_2^*$  nicht mehr  $500\text{ k}\Omega$  groß, sondern kleiner als  $7\text{ k}\Omega$ . Während von einer niederfrequenten Spannung immer noch die Hälfte an den Transistor gelangt, ist es bei der hochfrequenten nur

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_2^*}{R_1 + R_2^*} = \frac{7\text{ k}\Omega}{507\text{ k}\Omega} \approx \frac{1}{70}$$

Dieser für einen Meßverstärker untrag-

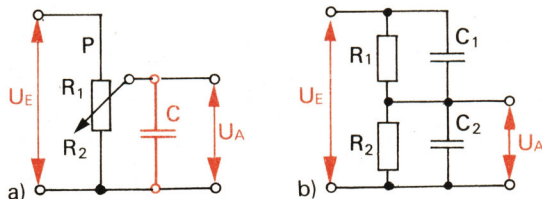


Bild 9.30 Zum Eingangsspannungsteiler des Meßverstärkers

bar hohe Fehler läßt sich beseitigen, wenn parallel zum Teilwiderstand  $R_1$  ein Kondensator geschaltet wird (vgl. Bild 9.30b). Dabei muß das Verhältnis der ohmschen Teilwiderstände ebenso groß

wie das der kapazitiven sein:  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{X_{C1}}{X_{C2}}$

Hieraus ergibt sich aber auch der Nachteil, daß nun kein Potentiometer mehr verwendet werden kann, denn das Verhältnis zweier Kondensatoren ist unveränderlich. Um eine Beziehung zum Berechnen der erforderlichen Kapazitäten zu haben, verändern wir obige Gleichung noch etwas:

$$\frac{X_{C1}}{X_{C2}} = \frac{1}{\frac{2\pi \cdot f \cdot C_1}{1}} = \frac{2\pi \cdot f \cdot C_2}{2\pi \cdot f \cdot C_1} = \frac{C_2}{C_1}$$

Da der genaue Wert der Schalt- und Transistorkapazität unbekannt ist, geben wir uns die Kapazität  $C_1=22\text{ pF}$  vor. Als Teilwiderstand  $R_1$  wählen wir  $1\text{ M}\Omega$ ,  $R_2$  sei  $100\text{ k}\Omega$  groß. Die Ausgangsspannung wird dann auf  $\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100\text{ k}\Omega}{1100\text{ k}\Omega}$

$= \frac{1}{11}$  der Eingangsspannung herabgesetzt. Die Kapazität des zweiten Kondensators muß

$$C_2 = C_1 \cdot \frac{R_1}{R_2} = 22\text{ pF} \cdot \frac{1000\text{ k}\Omega}{100\text{ k}\Omega} = 220\text{ pF}$$

betragen. Um das Verhältnis der Teilwiderstände berechnen zu können, brauchen wir zunächst den kapazitiven Widerstand von  $C_2$  für  $1\text{ MHz}$ . Er beträgt – bitte nachrechnen! –  $X_{C2} \approx 700\ \Omega$ . Die Gegen-

überstellung von  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1000\text{ k}\Omega}{100\text{ k}\Omega}$  und  $\frac{X_{C1}}{X_{C2}}$

$= \frac{7000 \Omega}{700 \Omega}$  ergibt jetzt Verhältnisleichheit. Der Gesamtwiderstand des Spannungsteilers ist zwar kleiner geworden, das Widerstandsverhältnis bleibt jedoch konstant.

Im Bild 9.28 entspricht  $R_{34}$  dem Teilwiderstand  $R_1$ ,  $C_{30}$  ist die vorgegebene Kapazität  $C_1$ . Diese Teilkombination bleibt unverändert, während mit  $S_4$  drei unterschiedliche RC-Kombinationen eingeschaltet werden können. In der vierten Stellung von  $S_4$  gelangt die volle Meßspannung über  $C_{34}R_{38}$  an die Basis von  $T_9$ . In der dritten beträgt der an  $T_9$  gelangende Spannungsanteil nur noch  $\frac{1}{11}$ , in

der zweiten  $\frac{1}{101}$  und in der ersten  $\frac{1}{1001}$  der Eingangsspannung. Bedenken wir weiter, daß unsere Bauelemente im allgemeinen eine Toleranz von 10% haben, so dürfen wir mit ruhigem Gewissen die Spannungsteilverhältnisse mit 1:1, 1:10, 1:100 und 1:1000 bezeichnen.

### Der Meßverstärker muß abgeschirmt werden

Die Bauelemente des Spannungsteilers löten wir wie die Kippkondensatoren direkt an den Drehschalter. Da der Meßverstärker sehr brummempfindlich ist, müssen wir ihn vollständig abschirmen. Deshalb fertigen wir das kleine Gehäuse aus 1,5 mm dickem kupferkaschiertem Hartpapier. Die Kupferseite weist dabei nach innen. Wir brauchen zwei Platten der Größe 50 mm × 70 mm für Boden und Deckel, zwei 50 mm × 72 mm große Seitenwände, eine 70 mm × 75 mm große Frontplatte und eine 70 mm × 66 mm große Rückwand. Die Frontplatte bearbeiten wir nach Bild 9.31. Damit die Telefonbuchse  $Bu_{13}$  keinen Kontakt mit dem Kupferbelag bekommt, senken wir die entsprechende Bohrung von der Kupferseite an und legen eine Hartpapierisolscheibe unter die Mutter;  $Bu_{14}$  schrauben wir direkt an.

Nach der mechanischen Bearbeitung der Platten verlöten wir fünf davon zum Gehäuse. Eine kleine Vorrichtung, in der die Platten ordentlich ausgewinkelt und

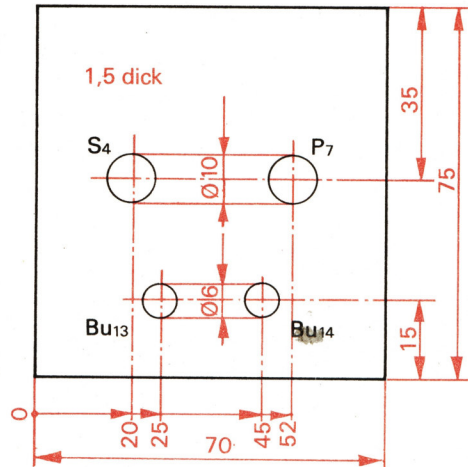


Bild 9.31 Die Frontplatte des Meßverstärkereinschubs

angeklemt werden können, leistet dabei gute Dienste. Der LötKolben muß richtig warm sein und sollte eine Leistung von 100 W haben. Beim Verlöten der Kanten, das wir vorher erst an Abfallstücken geübt haben, muß das Lot gleichmäßig fließen. Als Flußmittel verwenden wir säurefreies Lötfett, das nach dem Löten mit Spiritus wieder restlos entfernt wird. Für das Anschrauben der Platine kleben wir mit Epasol EP 11 einen kleinen Winkel an die Deckplatte (vgl. Bild 9.32). Die sechspolige ZEIBINA-Messerleiste ist genau in der Mitte der Bodenplatte anzuordnen; wir schrauben sie mit zwei Senkschrauben M3 an. Die Lötflahn der Messerleiste biegen wir leicht nach oben und löten sie entsprechend Bild 9.28 bei 5, 6 und 7 an die Platine. Zwischen Anschluß 5 und die Gehäuseinnenseite löten wir eine kurze Drahtbrücke als direkte Masseverbindung. Bild 9.34 gestattet einen Blick in das Verstärkergehäuse.

Die Rückwand muß beim Anschrauben elektrischen Kontakt mit der Kupferschicht des Gehäuses bekommen. Deshalb dürfen wir die beiden Befestigungswinkel nicht an die Rückwand kleben, sondern wir müssen sie anlöten. Dann setzen wir die Rückwand an das Gehäuse, bohren jeweils durch eine Seitenwand und den darunterliegenden Winkel ein 2,4-mm-Loch und nehmen die Rückwand wieder ab. Die beiden Gehäuselö-

## 9. Wir bauen ein Elektronenstrahloszilloskop

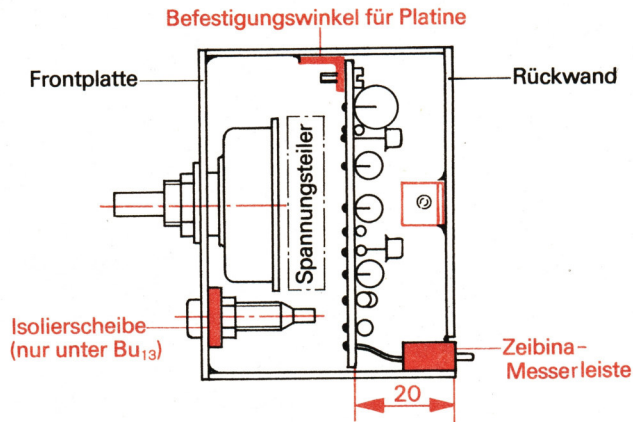


Bild 9.32 Querschnitt durch das Meßverstärkergehäuse

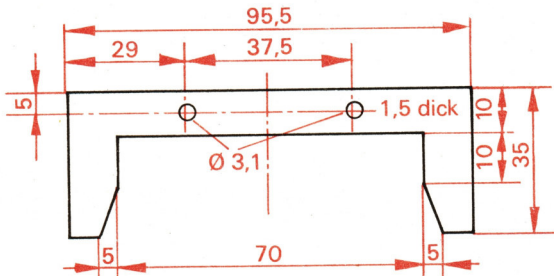


Bild 9.33 Führungsplatte für den Einschub

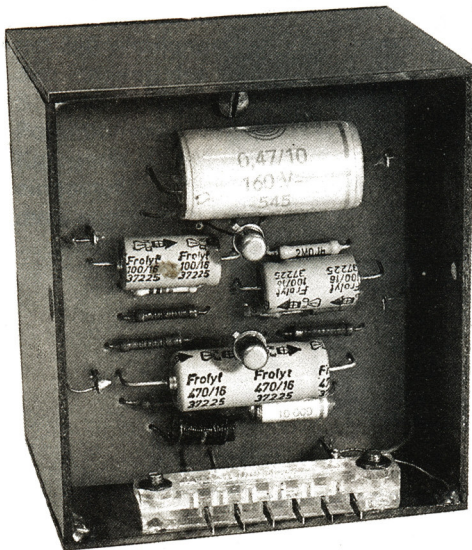


Bild 9.34 Der Meßverstärkereinschub

cher bohren wir auf 3 mm auf, und in die Winkel schneiden wir Gewinde M3. Mit zwei Senkschrauben M3 befestigen wir zum Schluß die Rückwand am Gehäuse.

Die zur Messerleiste passende Federleiste schrauben wir gemeinsam mit der Führungsplatte (vgl. Bild 9.33) aus 1,5 mm dickem Platinenmaterial bei  $H_1$  und  $H_2$  am Grundbrett des Oszilloskops fest. Bild 9.28 gibt an, wo die Fahnen der Federleiste anzuschließen sind. Die Federn 6 und 8 verbinden wir auf kürzestem Wege mit den Anschlüssen 8 und 7 der Bildröhrenfassung. Diese Leitungen dürfen nicht in die Nähe der Zeitplattenleitungen kommen. Für den Masseanschluß legen wir eine besondere Leitung von Feder 12 zur Lötöse 10 des Netzgerätes.

Nach der letzten Funktionsprobe verschaffen wir uns eine Vorstellung von der Spannungsverstärkung des Y-Verstärkers. Dazu legen wir von unserem Stromversorgungsgerät über ein Potentiometer eine niedrige Wechselspannung an den Meßverstärkereingang, schalten das Kippperät ab und  $S_4$  in Stellung 2 und drehen  $P_7$  voll auf. Jetzt gelangt rund ein Hundertstel der anliegenden Spannung an den Verstärker. Wir stellen nun am zusätzlichen Potentiometer eine solche Wechselspannung ein, daß die senkrechte Strahlauslenkung genau 4 cm beträgt, und messen die eingestellte Spannung. Liegt diese bei 2,35 V, gelangen an

den Verstärkereingang 0,0235 V. Wir erinnern uns, daß zur gleichen Strahlablenkung bei direktem Anschluß der Meßplatten 24 V Wechselspannung notwendig waren, und berechnen daher eine Span-

$$\text{nungsverstärkung von } \frac{24 \text{ V}}{0,0235 \text{ V}} \approx 1000.$$

Dieser Wert ist für das spätere Ermitteln der Größe von niedrigen Eingangsspannungen wichtig.

Zum Meßverstärker gehört auch unbedingt ein abgeschirmtes Zuleitungskabel. Dafür nehmen wir aber nicht das einfache dünne NF-Kabel, sondern sogenanntes Koaxialkabel, wie es auch für Fernsehantennenleitungen üblich ist. Wir bearbeiten beide Enden so, wie es im Kapitel 8 beschrieben wurde, und löten dann je zwei kurze flexible Leitungen mit Bananensteckern an.

Zuerst versehen wir den Mittelleiter beispielsweise mit einer roten Leitung, dann umwickeln wir die Lötstelle mit so viel Isolier- oder Lenkerband, bis die

Dicke etwa mit der des Abschirmgeflechtes übereinstimmt. Anschließend löten wir an das Abschirmgeflecht die schwarze Masseleitung und isolieren das Ganze noch einmal. Die Masseleitung an dem Ende unserer Meßleitung, das wir am Meßobjekt anschließen, soll etwa 15 cm lang sein.

Zum Schluß erhält unser Oszilloskop ein Gehäuse ähnlich dem des Stromversorgungsgerätes. Die eine Seitenwand muß eine 70 mm breite und 80 mm hohe Aussparung für den Meßverstärkereinschub erhalten; der Abstand der Aussparung von der Frontplattenkante beträgt 75 mm. Außerdem dürfen wir nicht die Bohrungen und ihre Kennzeichnung für die Telefonbuchsen Bu<sub>9</sub> bis Bu<sub>12</sub> vergessen. Um einen Wärmestau im Oszilloskop zu vermeiden, erhalten der Deckel und eine Seitenwand eine Reihe von Belüftungsbohrungen; am Deckel bringen wir einen Tragegriff an. Bild 9.35 zeigt unser nunmehr betriebsbereites Elektronenstrahloszilloskop.

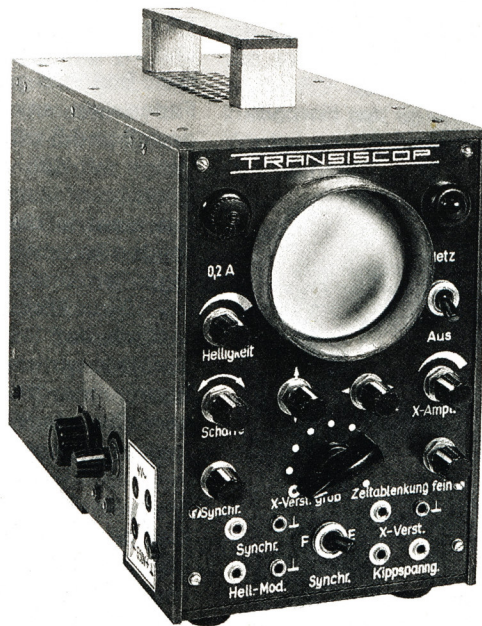


Bild 9.35 Unser Elektronenstrahloszilloskop

# TRANSISCOPE



0,2 A



Netz



Helligkeit



Aus



Schärfe



X-Ampl.



Synchr.



X-Verst.

grob Zeitablenkung fein



X-Verst.



Synchr.



F E



Hell.Mod.



Synchr.



Kippspannung

