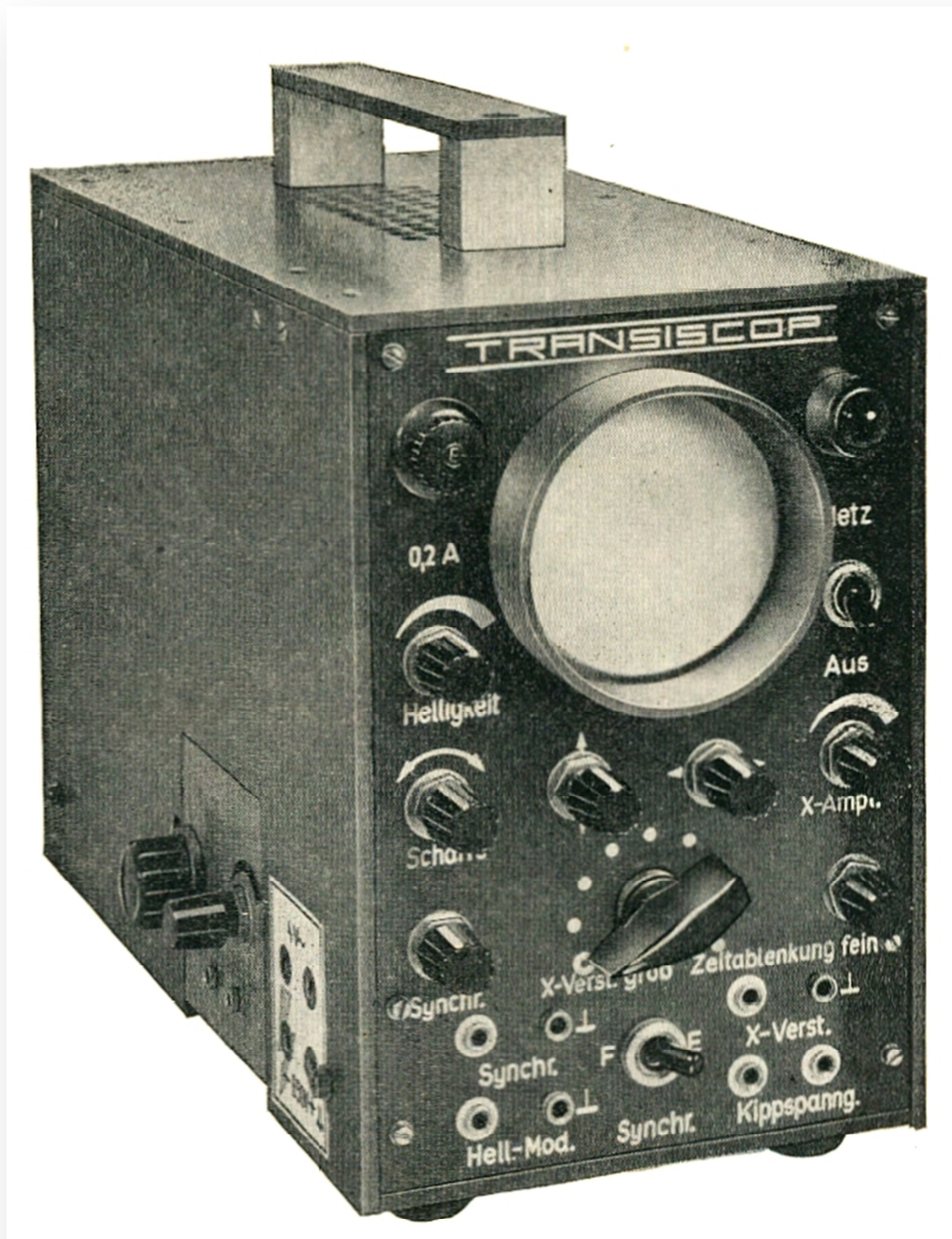


# Wir bauen einen Elektronenstrahloszillografen



## 9. Beinahe anachronistisch: Neben der integrierten Schaltung immer noch die Elektronenröhre

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. Physikalische Experimente sollen uns bei ihrer Beantwortung helfen. Natürlich fangen wir wieder bei unserem Empfänger an. Im „Stromkreis“ Antenne–Erde (vgl. Bild 4.10) liegt ein Schwingkreis, der im Resonanzfall zu maximalen Schwingungen angeregt 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 aufzeichnen vermag: einen *Elektronenstrahloszillografen*. Vorher müssen wir uns jedoch die Elektronenröhre etwas genauer ansehen.

### Was man von der Elektronenröhre wissen muß

Obwohl die grundlegenden physikalischen Ideen sowohl der Rundfunktechnik als auch des Fernsehens bereits vor der Entwicklung der Elektronenröhre bekannt waren, ermöglichte erst dieses Bauelement die breite Anwendung der Nachrichtentechnik. Wir wollen nun eine Reihe von Versuchen durchführen, die uns mit dem Wesen der Elektronenröhre vertraut machen sollen.

#### *Eine defekte Biluxlampe als elektrisches Ventil*

Wir beschaffen uns von einem Kleinkrafttradbewerber eine defekte Biluxlampe 6 V/15/15 W, deren Abblendfaden durchgebrannt ist (vgl. Bild 9.1), und löten drei Drahtenden an den Sockel. Diese Lampe legen wir nach Bild 9.2 in Reihe mit einem Strommesser und einem Schichtwiderstand von 47 k $\Omega$  an unser Stromversorgungsgerät. Es fließt kein Strom. Das darf uns nicht wundern, da innerhalb der Lampe der Stromkreis unterbrochen ist. Im nächsten Versuch wollen wir durch den Fernlichtfaden einen Strom schicken. Wir legen an seine Enden unsere Wechselspannung 6,3 V. Obwohl nach wie vor der Stromkreis

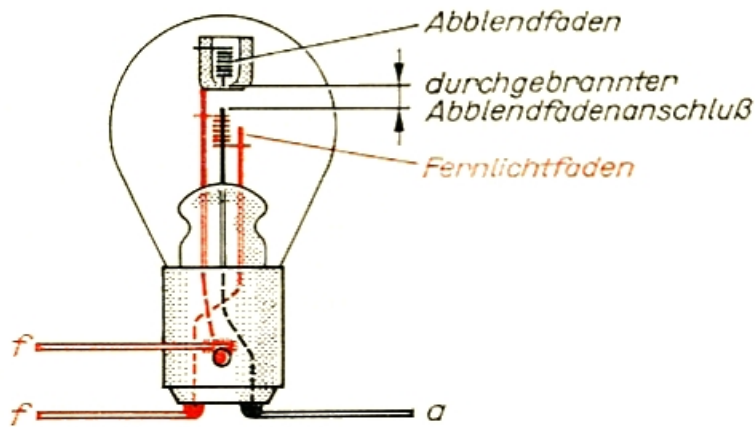


Bild 9.1  
Eine defekte Biluxlampe dient uns als Elektronenröhre

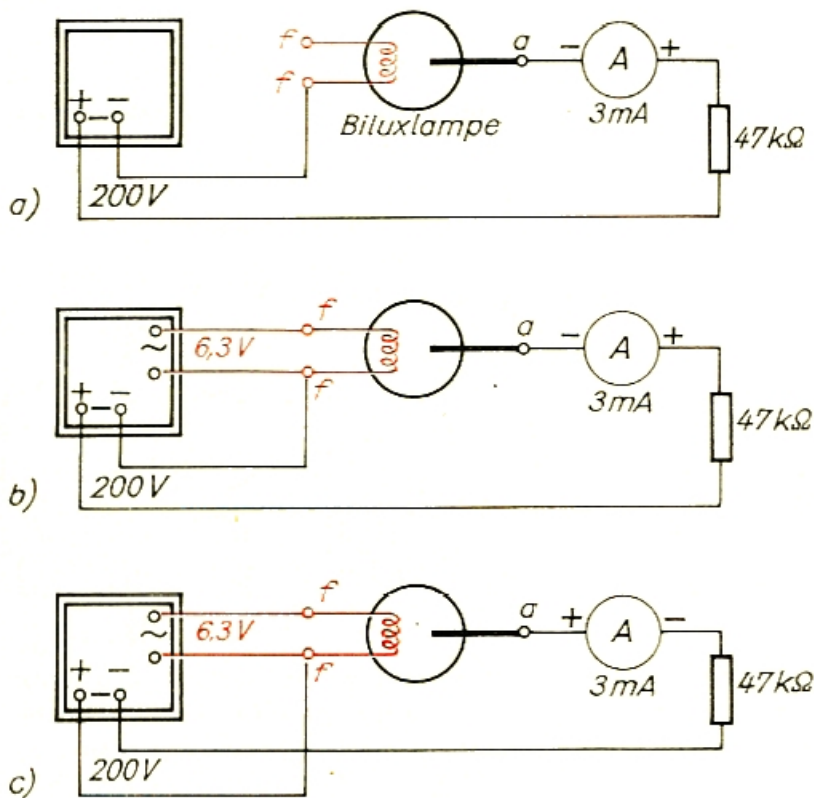


Bild 9.2  
Versuche mit der Biluxlampenröhre:  
a) Der Stromkreis ist innerhalb der Lampe unterbrochen; es fließt kein Strom.  
b) Sobald der Fernlichtfaden aufglüht, zeigt das Meßgerät einen Stromfluß an.  
c) Liegt der positive Pol an der glühenden Elektrode, fließt kein Strom.

innerhalb der Lampe unterbrochen ist, zeigt unser Strommesser einen Strom von 2 mA an. Wie ist das möglich?

Die in dem gewendelten Metalldraht des Fernlichtfadens vorhandenen Leitungselektronen können normalerweise die Metalloberfläche nicht verlassen. Führen wir jedoch einem Metall Energie beispielsweise in Form von Wärme zu, vermögen die energiereichsten Elektronen aus dem Metall her auszutreten. (Man bezeichnet diesen Vorgang als *Elektronenemission*.) Da sie negativ geladen sind, werden sie von dem am positiven Pol der Spannungsquelle liegenden Abblendfädenanschluß a angezogen. Bei umgekehrter Polung dürfte der Strommesser keinen Stromfluß anzeigen; überprüfen wir das im nächsten Versuch. Wir vertauschen die Anschlüsse an der Lampe (vgl. Bild 9.2c), und tatsächlich bewegt sich der Zeiger unseres Meßgerätes nicht. Es fließt kein Strom.

Die Elektronenröhre besteht im einfachsten Fall aus einem luftleer

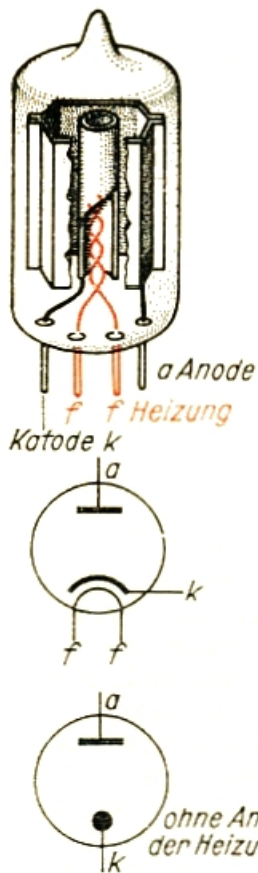


Bild 9.3  
Aufbau und Schaltzeichen der Diode

gepumpten Glas- oder Metallkolben, in dem ein Heizfaden ff und eine metallische Elektrode als *Anode* a eingeschmolzen sind. Der Heizfaden dient gleichzeitig als *Katode* k. Um eine Trennung des Heizkreises vom Anodenkreis herbeizuführen, werden indirekt geheizte Röhren gebaut. Hier wird der Minuspol an ein den Heizfaden umgebendes Röhrrchen gelegt. Im Bild 9.3 sind der prinzipielle Aufbau und das entsprechende Schaltzeichen dargestellt. Oft interessiert in Schaltbildern die Heizung nicht, dann verwenden wir das einfache Symbol, bei dem der Heizfaden weggelassen wird. Da die einfachste Elektronenröhre zwei Elektroden hat, heißt sie auch *Diode* (griech. di . . . = zwei . . .). Wozu wir sie verwenden können, ist uns inzwischen klar geworden. Liegt an der Katode eine negative Spannung gegenüber der Anode, läßt sie einen Strom hindurch, bei einer positiven Spannung an der Katode wird der Stromfluß gesperrt. Das ist die kennzeichnende Eigenschaft eines Gleichrichters. Nun wird uns auch verständlich, weshalb die Halbleitergleichrichter ebenfalls Dioden genannt werden. Den durch die Röhre fließenden Strom bezeichnen wir als *Anodenstrom*  $I_a$ , die zwischen Anode und Katode liegende Spannung als *Anodenspannung*  $U_a$ .

#### Mit einer Triode kann der Strom gesteuert werden

Elektronenröhren können nicht nur zum Gleichrichten, sondern auch zum Erzeugen und Verstärken von Wechselspannungen unterschiedlichster Frequenzen verwendet werden. Sie müssen aber zu diesen Zwecken noch eine dritte Elektrode haben und heißen dann *Trioden* (griech. tri . . . = drei . . .). Die dritte Elektrode ist ein in dem freien Raum zwischen Anode und Katode angebrachter wendelförmiger Draht. Sie heißt *Steuergitter* (vgl. Bild 9.4). Den nächsten Versuch bauen wir nach Bild 9.5a auf. Als Triode verwenden wir eine EC 92. Teilbild b gibt an, wo wir an der Röhrenfassung fünf kurze Anschlußdrähte für die Röhrenelektroden anlöten müssen. Der Heizungsanschluß ist im Teilbild a nicht mit eingezeichnet; in der Schaltung dürfen wir diese beiden Leitungen, an die wir unsere Wechselspannung von 6,3 V legen, nicht vergessen. Als Anodenspannungsquelle verwenden wir den Mittelspannungsausgang unseres Stromversorgungsgerätes, Stufe 2, also etwa 200 V. Die mit negativer Polarität gegenüber der Katode am Gitter liegende Spannung stellen wir zunächst mit dem Potentiometer auf 7 V ein und messen den Anodenstrom. Er beträgt 0,1 mA. Dann verringern wir die Gitterspannung in Stufen von 1 V bis zum Wert 3 V, nehmen anschließend die Gitterspannung weg und verbinden das Gitter direkt mit der Katode. Jetzt beträgt die Gitterspannung 0 V. Für alle Spannungen lesen wir die jeweils angezeigten Stromwerte ab. Die so gewonnenen Zahlenpaare werden nach Bild 9.5c in das Diagramm eingetragen. Wir erhalten die *Anodenstrom-Gitterspannungs-Kennlinie* für eine Anodenspannung von 200 V.

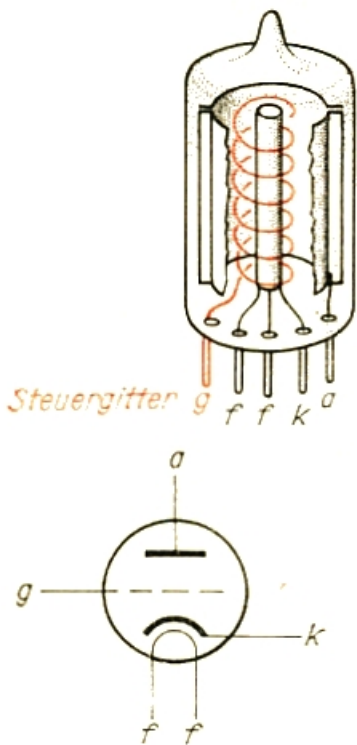


Bild 9.4  
Aufbau und Schaltzeichen der Triode

Aus dem Kennlinienverlauf lesen wir ab, daß der Anodenstrom mit der Gitterspannung gesteuert werden kann und daß sich deshalb die Elektronenröhre wie der Transistor als Verstärker eignet. Diese Anwendungsmöglichkeit wollen wir jedoch nicht weiter untersuchen, sondern uns dem wichtigsten Bauelement des Oszillografen zuwenden, einer besonderen Elektronenröhre, die entweder nach ihrem Erfinder *Braunsche Röhre* oder nach ihrem Verwendungszweck *Oszillografenröhre*

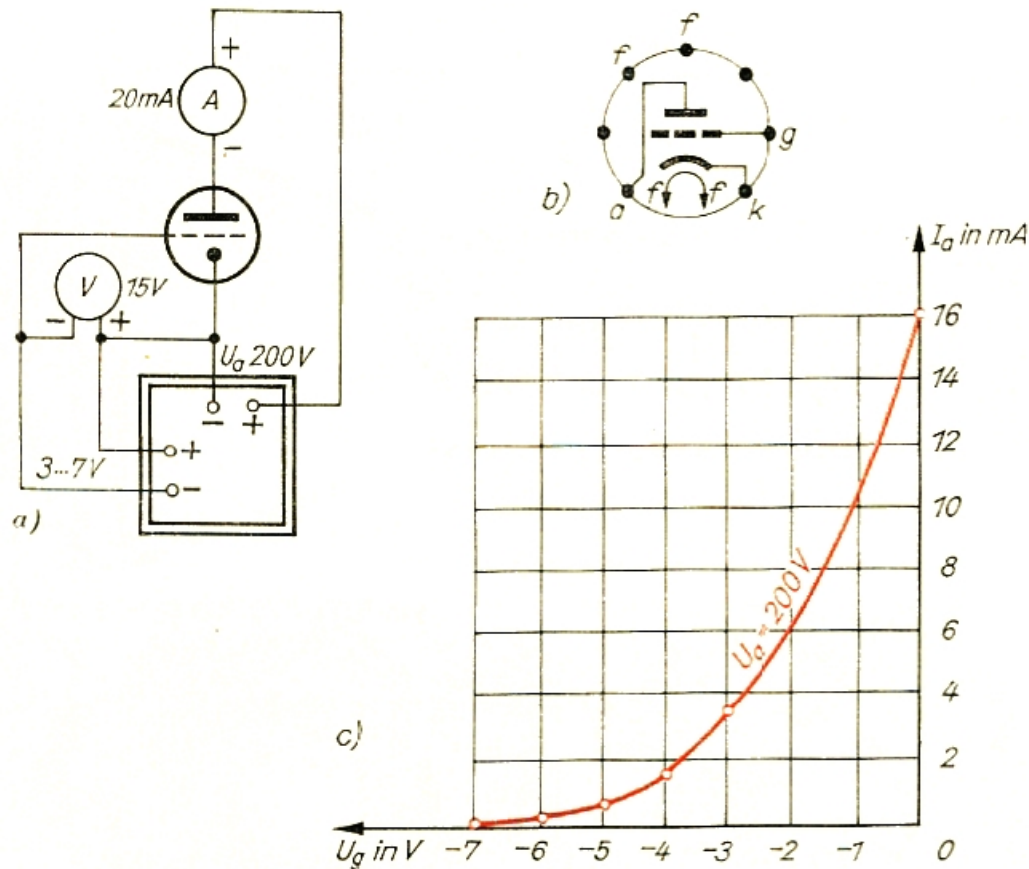


Bild 9.5  
 Kennlinie einer  
 Triode:  
 a) Schaltung zur Auf-  
 nahme der Anoden-  
 strom-Gitterspannungs-Kenn-  
 linie  
 b) Sockelschaltung  
 der EC 92  
 c)  $I_a$ - $U_g$ -Kennlinie  
 der Triode EC 92

genannt wird. Eine ihrer Verwandten ist uns allen sicherlich bekannt: die Bildröhre im Fernsehempfänger. Sie hat eine besonders große Schirmfläche. Bild 9.6 zeigt uns, wie eine Oszillografenröhre im Prinzip aufgebaut ist. Im Hals des luftleeren Glaskolbens befinden sich unter anderem ein Heizfaden, ein Katodenröhrchen und ein mittig durchbohrtes Anodenblech. Die übrigen Elektroden sollen uns zunächst nicht interessieren.

## Versuche mit der Braunschen Röhre

Wir wollen nun wieder selbst erleben, was geschieht, wenn wir an den Heizfaden sowie zwischen Anode und Katode in Analogie zur Diode die Betriebsspannungen anlegen. Am besten besorgen wir uns gleich die Röhre, mit der wir auch unseren Oszillografen aufbauen: die B7 S2 mit 75 mm Schirmdurchmesser. Sie ist nicht ganz billig, hat aber einige wesentliche Vorteile. Mit dieser Röhre wollen wir später auch Fernsehbilder aufzeichnen. Für diesen Zweck wäre ein Schirmdurchmesser von 60 mm oder gar 40 mm zu klein.

Das Sockelschaltbild unserer B7 S2 zeigt Bild 9.7. Zum Anschluß der Röhre brauchen wir eine passende vierzehnpolige Fassung und einen Steckkontakt. Damit die wertvolle Oszillografenröhre nicht beschädigt werden kann, lassen wir sie am besten so lange in ihrer sicheren Lieferverpackung stecken, bis ein provisorischer *Experimentierständer* fertig ist. uAs 8 mm dickem Holz sägen wir nach Bild 9.8a zwei Lagerblöcke, von denen einer eine halbkreisförmige Aussparung mit dem Radius

Bild 9.6  
Aufbau einer Oszillografenröhre

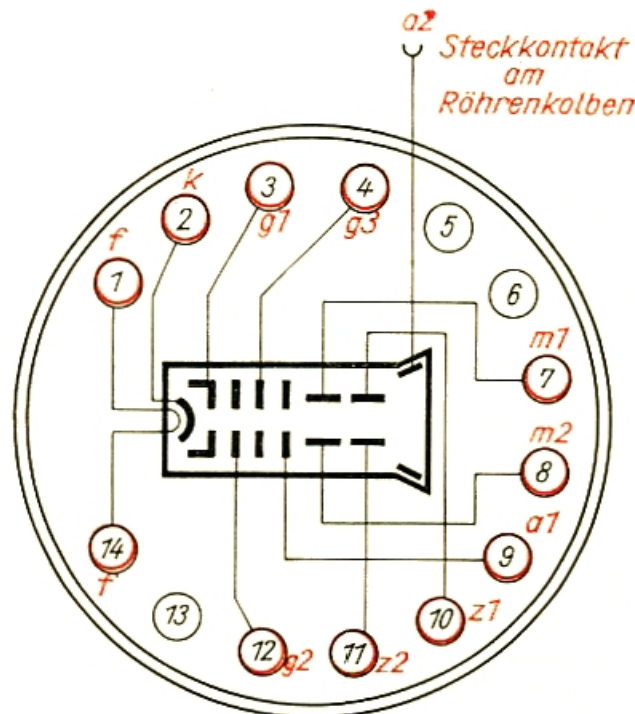
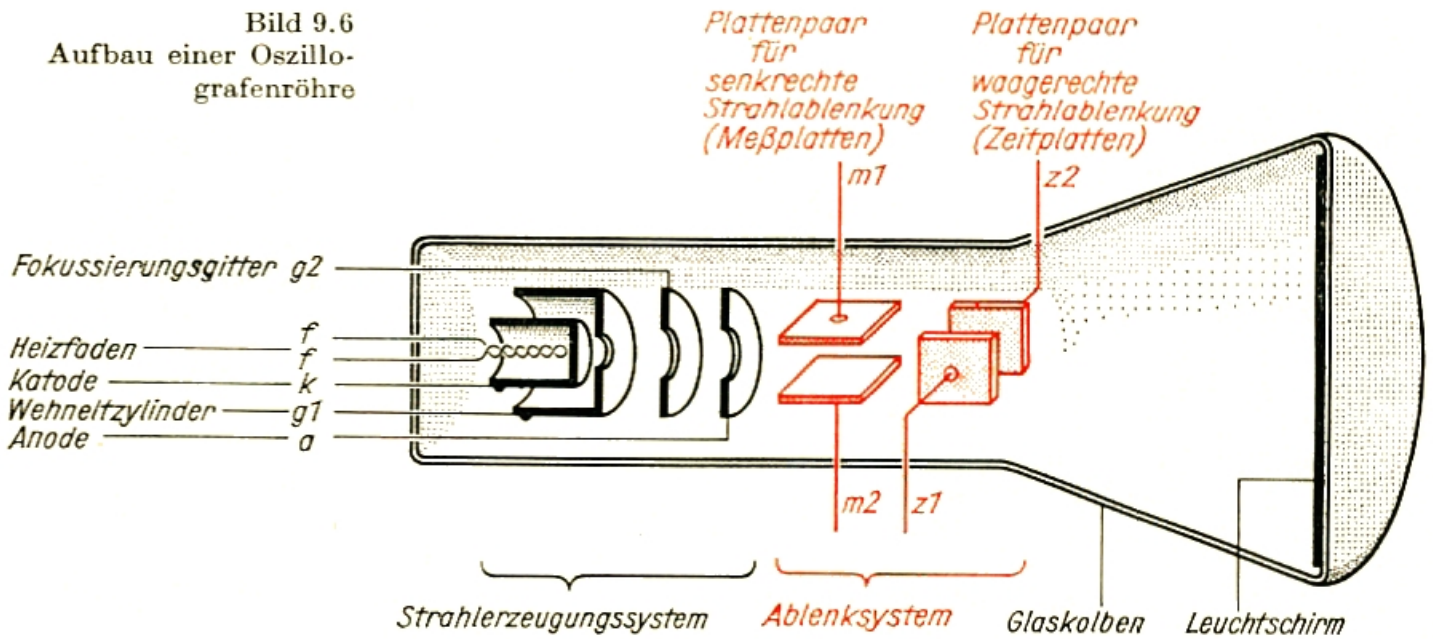


Bild 9.7  
Sockelschaltbild der  
Oszillografenröhre  
B7 S2

25 mm, der andere eine mit 38 mm erhält. An den Stellen A bzw. B setzen wir Holz- oder Metallschrauben ein, deren Köpfe etwa 5 mm vom Holz abstehen sollen. Die Anschlußplatte (vgl. Bild 9.8b) fertigen wir aus 3 mm dickem Pertinax und schrauben sie bei E1 an den Lagerblock mit der großen Aussparung, bei E2 an den mit der kleinen. Bild 9.9 zeigt den fertigen Experimentierständer. Zwei Gummiringe halten die Röhre fest. In den 6-mm-Bohrungen der Anschlußplatte sitzen Telefonbuchsen, in Bohrung C ein Potentiometer von 250 kΩ, in D eines von 1 MΩ. Nach Bild 9.10 verbinden wir die Röhrenfassung mit den Telefonbuchsen mittels isolierter Litze, die beiden Potentiometer schließen wir zunächst noch nicht an.

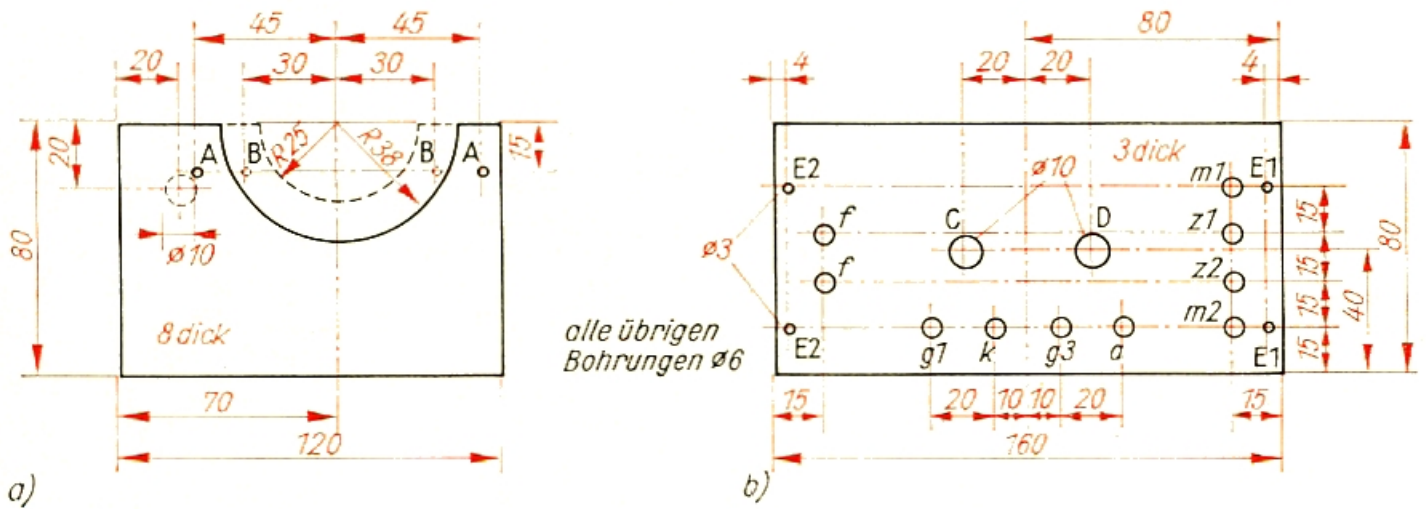


Bild 9.8  
Der Experimentier-  
ständer für die  
Oszillografenröhre:  
a) Lagerböcke  
b) Anschlußplatte

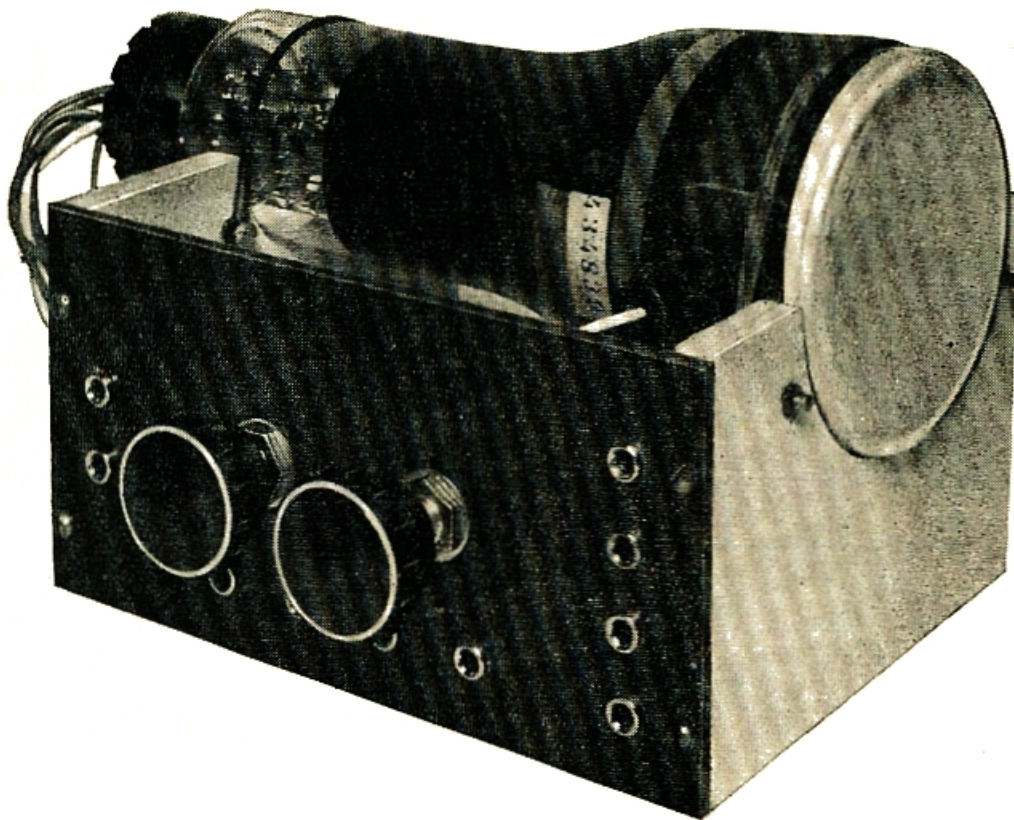


Bild 9.9  
Unser Experimentier-  
ständer

Nun legen wir an das mit f bezeichnete Buchsenpaar die Heizspannung von 6,3 V, an die Buchsen g1 und k den negativen, an g3 und a den positiven Pol unserer Mittelspannung von 400 V. Bild 9.11a zeigt die Schaltung des Versuchs, Bild 9.11b gibt das Schirmbild wieder. Wir erkennen einen am Rand ausgefranzten Leuchtfleck von etwa 10 mm Durchmesser, der links oder rechts (oder auch beiderseitig) geradlinig abgeschnitten erscheint. Das rührt daher, daß der noch nicht gebündelte Elektronenstrahl das senkrecht stehende Plattenpaar streift. Die aus der Katode austretenden Elektronen werden von den Gittern g2 und g3, von der Anode a1 und von der Nachbeschleunigungsanode a2 in Richtung Schirm beschleunigt. Wir haben unsere Röhre als Diode geschaltet (vgl. Bild 9.11c).

Bild 9.10  
Schaltbild des  
Experimentierstän-  
ders

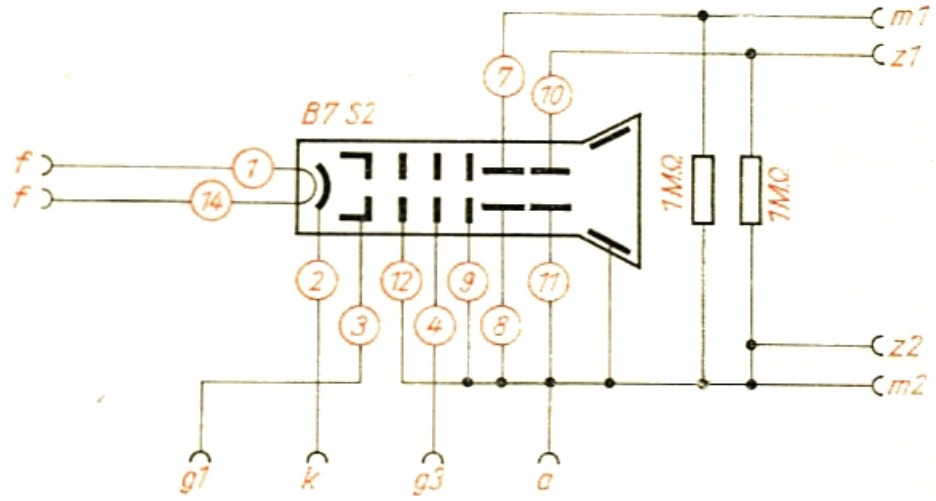


Bild 9.11  
Erzeugung eines  
Elektronenstrahls:  
a) Schaltung (statt  
270 V lies 400 V)  
b) Schirmbild  
c) Oszillografenröhre  
als Diode geschaltet

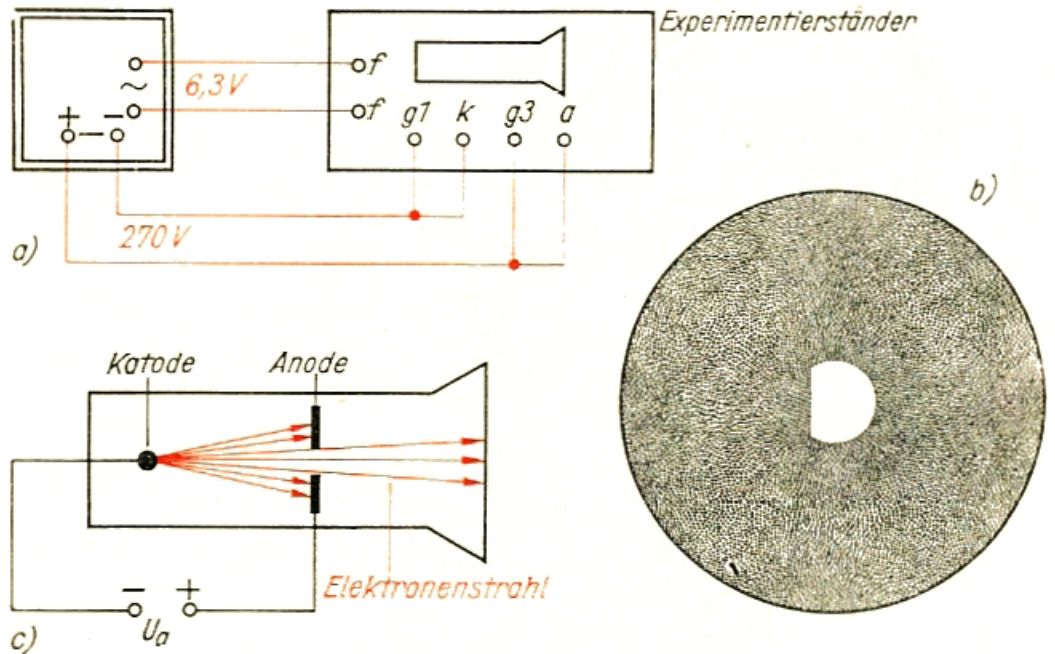
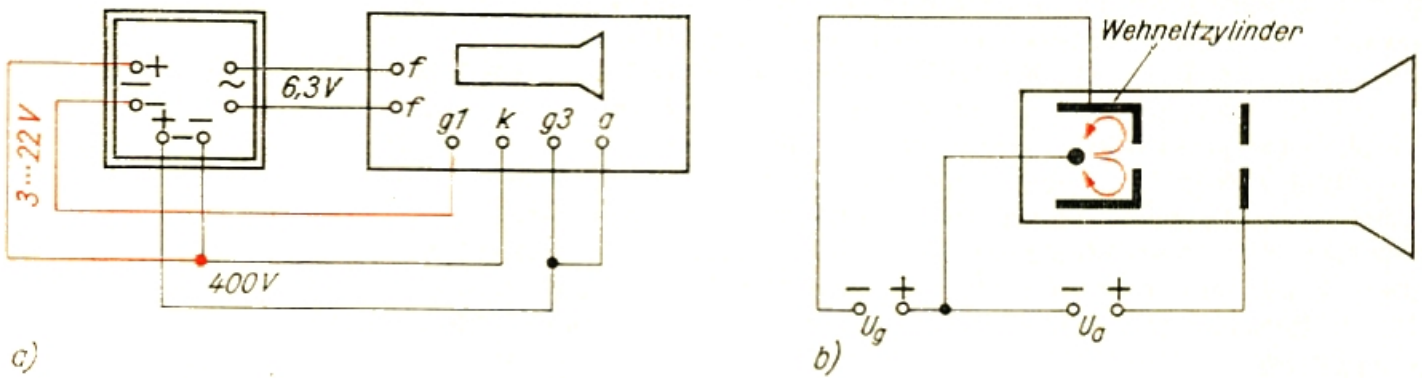


Bild 9.12  
Hellsteuerung des  
Elektronenstrahls:  
a) Schaltung  
b) Der Wehnelt-  
zylinder wirkt wie  
ein Steuergitter

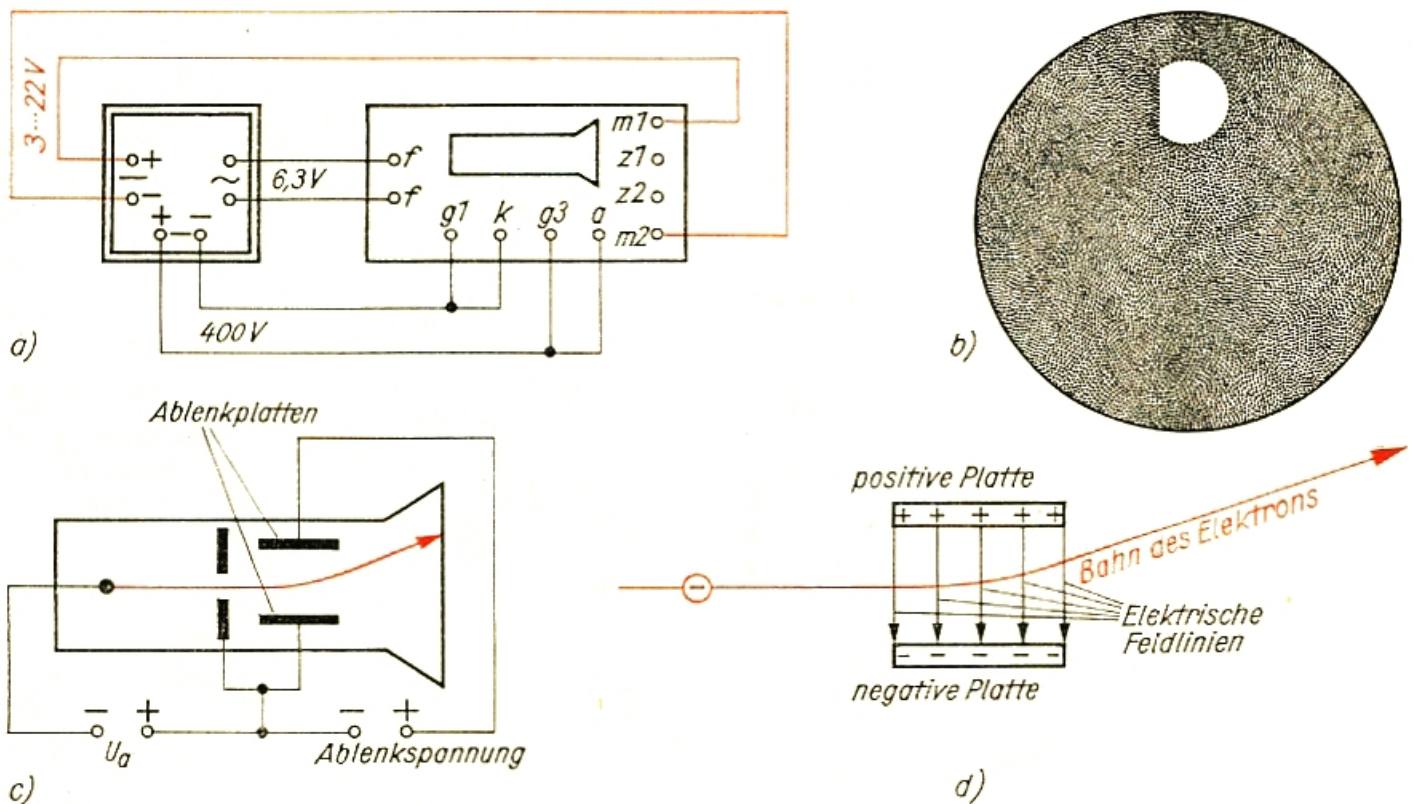




Im nächsten Experiment untersuchen wir den Einfluß des *Wehneltzylinders*. Nachdem wir die Kurzschlußverbindung zwischen  $g1$  und  $k$  entfernt haben, legen wir den Minuspol der Niederspannung an den Wehneltzylinder  $g1$ , den Pluspol an die Katode  $k$ . Bild 9.12a gibt die Schaltung wieder. Sobald wir die negative Vorspannung an  $g1$  erhöhen, wird die Helligkeit der Leuchtfläche geringer. Bei einer Spannung von maximal 22 V ist der Röhrenschirm nahezu dunkel. Erinnern wir uns an die Steuerwirkung des Triodengitters! Je negativer die Spannung am Gitter im Vergleich zur Katode wurde, um so kleiner wurde der Anodenstrom. Der Wehneltzylinder übt die gleiche Funktion wie das Steuergitter einer üblichen Elektronenröhre aus. Mit einer entsprechend hohen negativen Spannung können wir den Elektronenstrahl vollständig sperren (vgl. Bild 9.12b). Geringere Spannungen dunkeln das Schirmbild lediglich ab. Wir wollen uns hier gleich einprägen, daß die Leuchtschicht schnell zerstört werden kann, wenn der Elektronenstrahl ständig in voller Stärke bzw. Helligkeit auf die gleiche Stelle trifft. Deshalb stellen wir ihn möglichst dunkel ein.

Den dritten Versuch dieser Serie bauen wir nach Bild 9.13a auf. Die stetig veränderliche Gleichspannung liegt jetzt am hinteren Plattenpaar (s. dazu auch Bild 9.6). Sobald wir die Spannung erhöhen, wandert der Leuchtfleck nach oben (vgl. Bild 9.13b), weil die obere Platte jetzt positiver geladen wird und die Strahlelektronen stärker anzieht. Vertauschen wir die Anschlüsse  $m1$  und  $m2$ , so wandert der Strahl nach unten. Eine waagerechte Ablenkung kommt zustande, wenn wir das in Schirmnähe liegende Plattenpaar anschließen. Bild 9.13c zeigt das Prinzip der Ablenkung eines Elektronenstrahls.

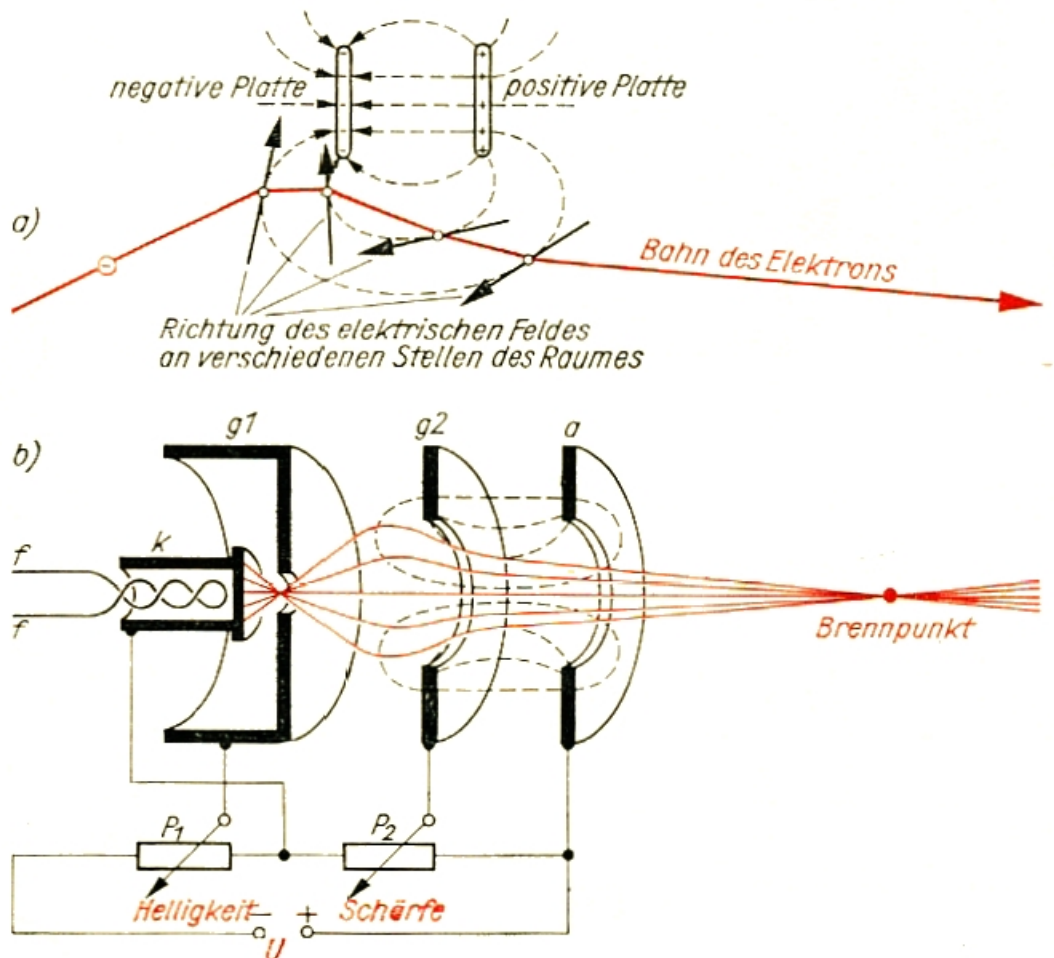
Bild 9.13  
Ablenkung eines Elektronenstrahls:  
a) Schaltung  
b) Schirmbild  
c) Prinzip der Ablenkung  
d) Zusammenhang zwischen elektrischem Feld und Ablenkrichtung



Einen besonders guten Strahl erzeugt unsere Röhre aber noch nicht; dem Schirmbild nach müssen wir eher auf ein Strahlenbündel schließen. Um die von einer Glühlampe ausgehenden Lichtstrahlen in einem Punkt zu vereinigen, brauchen wir eine Sammellinse. Gelingt uns das auch mit Elektronenstrahlen? Ja. Die „Sammellinse“ dazu hat der Hersteller in die Röhre wohlweislich schon eingebaut. Bild 9.13d zeigt noch einmal die Ablenkung eines Elektrons beim Durchfliegen eines geladenen Plattenpaares. Mit den Pfeilen, die von der positiven zur negativen Platte gehen, wollen wir den mit unseren Sinnen nicht wahrnehmbaren besonderen Zustand im Raum zwischen den Platten darstellen: das *elektrische Feld*. Die Linien bezeichnen wir als *Feldlinien*. Sie beginnen stets dort, wo positive Ladungen vorhanden sind, und enden in negativen Ladungen. Ein in dieses Feld gebrachtes Elektron würde sich unverzüglich auf einer Feldlinie zur positiven Platte bewegen. Da aber in unserem Fall die Elektronen mit einer sehr hohen Geschwindigkeit in das Ablenkkfeld eintreten, werden sie nur aus ihrer ursprünglichen Bahn abgelenkt, und zwar von der Pfeilspitze der Feldlinien weg.

Bild 9.14  
Fokussierung des Elektronenstrahls:  
a) Elektron im Randfeld eines geladenen Plattenpaares  
b) Elektronenoptische Linse in Scheibenanordnung

Ein elektrisches Feld ist nun nicht nur innerhalb zweier sich gegenüberstehender Platten vorhanden, sondern auch außerhalb. Wie Bild 9.14a zeigt, verlaufen hier die Feldlinien nicht mehr geradlinig; an jeder Stelle hat das elektrische Feld eine andere Richtung. Ein in dieses Feld fliegendes Elektron wird ebenfalls so in seiner Bahn beeinflusst, daß es stets von der Pfeilspitze weggelenkt wird. Aus Bild 9.14b geht hervor,



daß zwischen zwei durchbohrten Platten ein ähnliches Feld vorhanden ist, mit dessen Hilfe wir ein von einem Punkt ausgehendes Elektronenbündel sammeln können. Die Lage des Brennpunktes ist von der Spannungsdifferenz zwischen Anode a und *Fokussierungsgitter* g2 abhängig. Wir müssen die Spannung so einstellen, daß der Brennpunkt genau in der Schirmfläche liegt. Dazu dient das Potentiometer P<sub>2</sub>.

Mit Hilfe des Potentiometers P<sub>1</sub> können wir dem Wehneltzylinder eine negative Vorspannung gegenüber der Katode erteilen und damit die Helligkeit verändern. Wir wollen unsere Überlegungen an einem weiteren Versuch bestätigen. Zu diesem Zweck lösen wir die Zuleitungsdrähte an den Telefonbuchsen g1, k und g3. Den ursprünglich zu der Buchse g1 führenden Draht löten wir an den Abgriff des Potentiometers von 250 kΩ, den zu g3 führenden an den von 1 MΩ. Bild 9.15 zeigt, wie wir den Spannungsteiler verdrahten. Das Potentiometer zur Helligkeitseinstellung drehen wir ganz nach rechts, das zur Scharfeinstellung nach links. Dann legen wir wieder eine Heizspannung von 6,3 V und eine Betriebsspannung von 400 V an. Der Minuspol kommt in die Buchse, an der vorher g1 angeschlossen war. Nach etwa einer halben Minute erscheint auf dem Bildschirm der bekannte Leuchtfleck. Mit P<sub>2</sub> können wir den Elektronenstrahl scharf stellen, mit P<sub>1</sub> die Helligkeit vermindern. Nun geben wir an die Meßplatten m1 und m2 eine Wechselfspannung von 6 V. Auf dem Schirm entsteht ein senkrechter Strich von etwa 25 mm Länge. Die „Kurve“ stimmt nicht mit der uns aus Bild 3.5a bekannten überein. In diesem Diagramm haben wir uns allerdings in der Zeit t auch nach rechts bewegt.

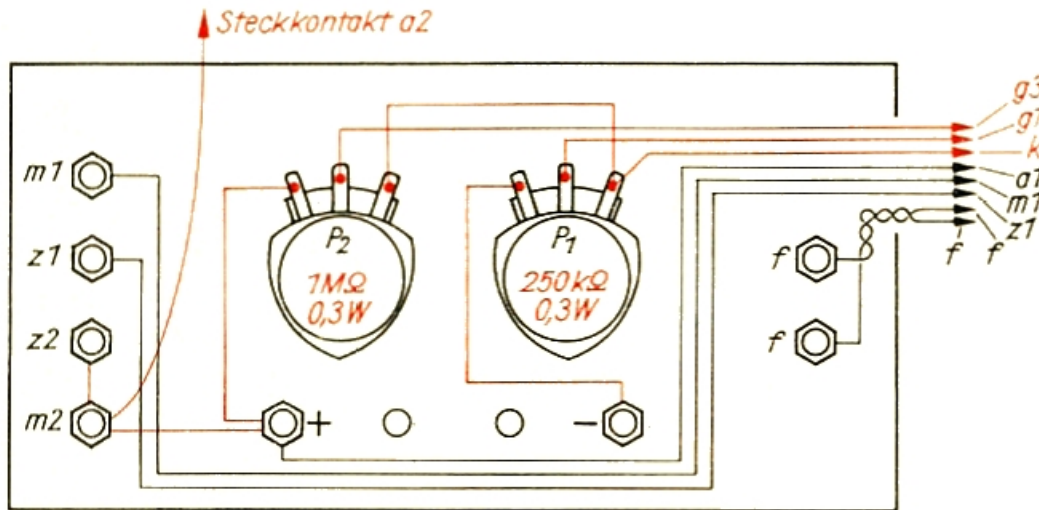


Bild 9.15  
So verdrahten wir den Spannungsteiler des Experimentierständers

Führen wir eine gleiche Bewegung vor dem Bildschirm durch! Wir nähern uns mit den Augen dem Schirm auf etwa 20 cm und bewegen den Kopf ruckartig nach links. Während der Bewegung erkennen wir die bekannte Sinuskurve. Es wäre allerdings mühselig, bei der Beobachtung von Schwingungsvorgängen immer den Kopf bewegen zu müssen. Besser ist es, den Elektronenstrahl waagrecht abzulenken. Dazu führen wir einen Versuch nach Bild 9.16 durch. Über einen Widerstand von 200 kΩ laden wir einen Kondensator von 2 μF auf. Die Kondensatorspannung geben wir an die Zeitplatten z1 und z2. Der Elektronenstrahl bewegt sich in zwei Sekunden um etwa 25 mm nach rechts. Sobald wir den Kondensator mittels Kabel kurzschließen, springt der Leuchtpunkt in die Ausgangslage zurück. Haben wir den

Bild 9.16  
Die Ladespannung  
eines Kondensators  
lenkt den Elektro-  
nenstrahl zeitabhän-  
gig ab

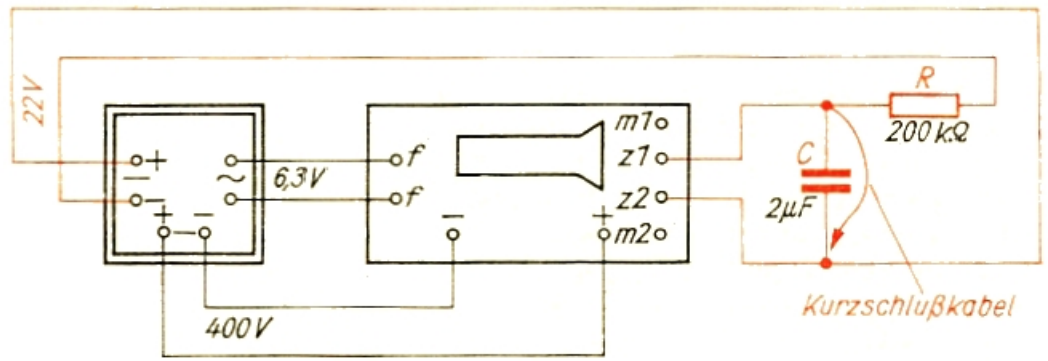


Bild 9.17  
So sieht der Span-  
nungsverlauf unserer  
Zeitablenkschaltung  
ungefähr aus

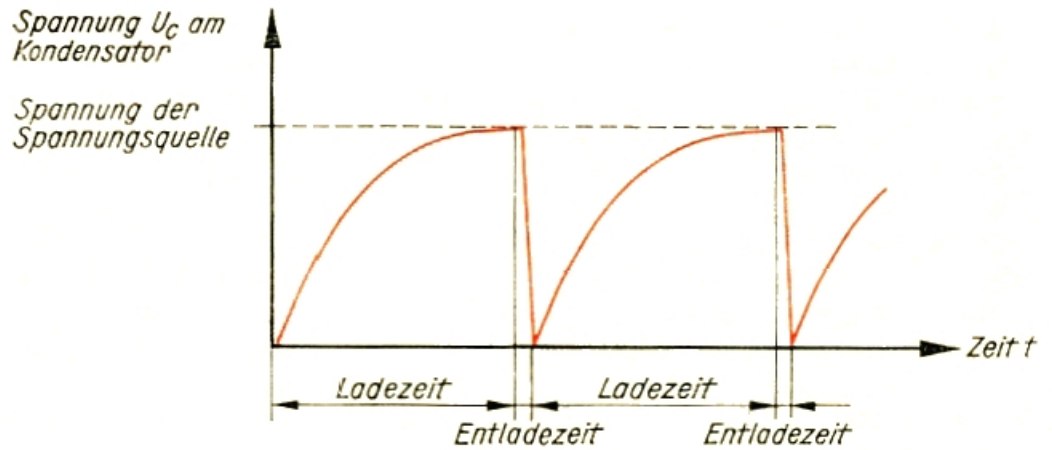


Bild 9.18  
Ein Glimmlampen-  
kippergerät als Zeit-  
ablenkschaltung

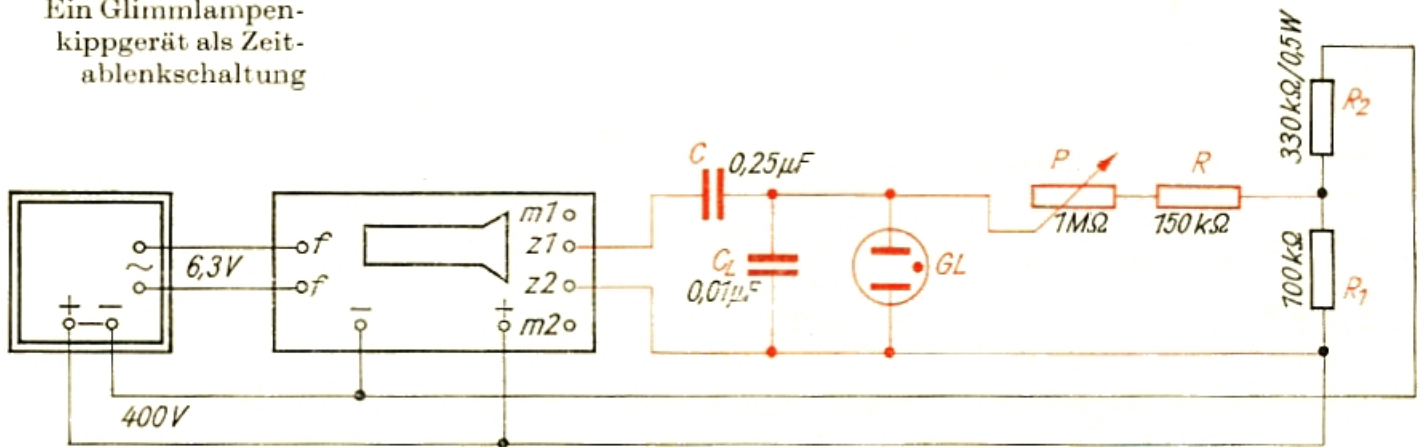


Bild 9.19  
Spannungsverlauf am  
Ladekondensator C\_L

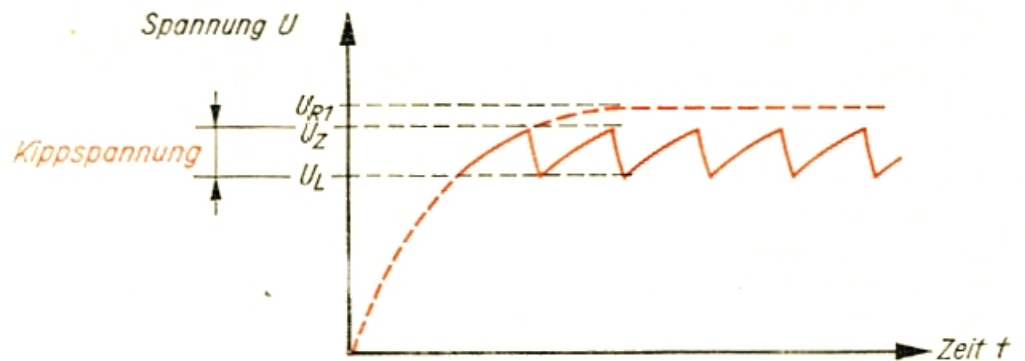


Bild 9.20  
Oszillogramm einer  
Wechselspannung

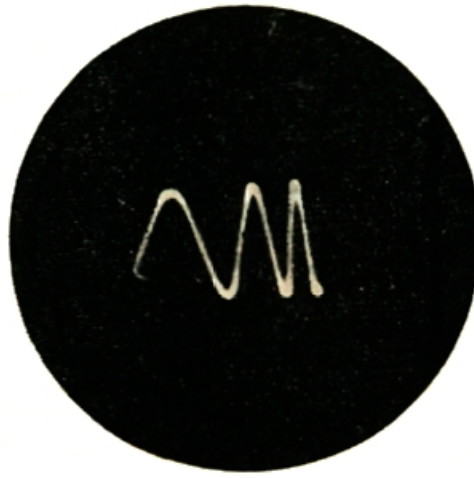
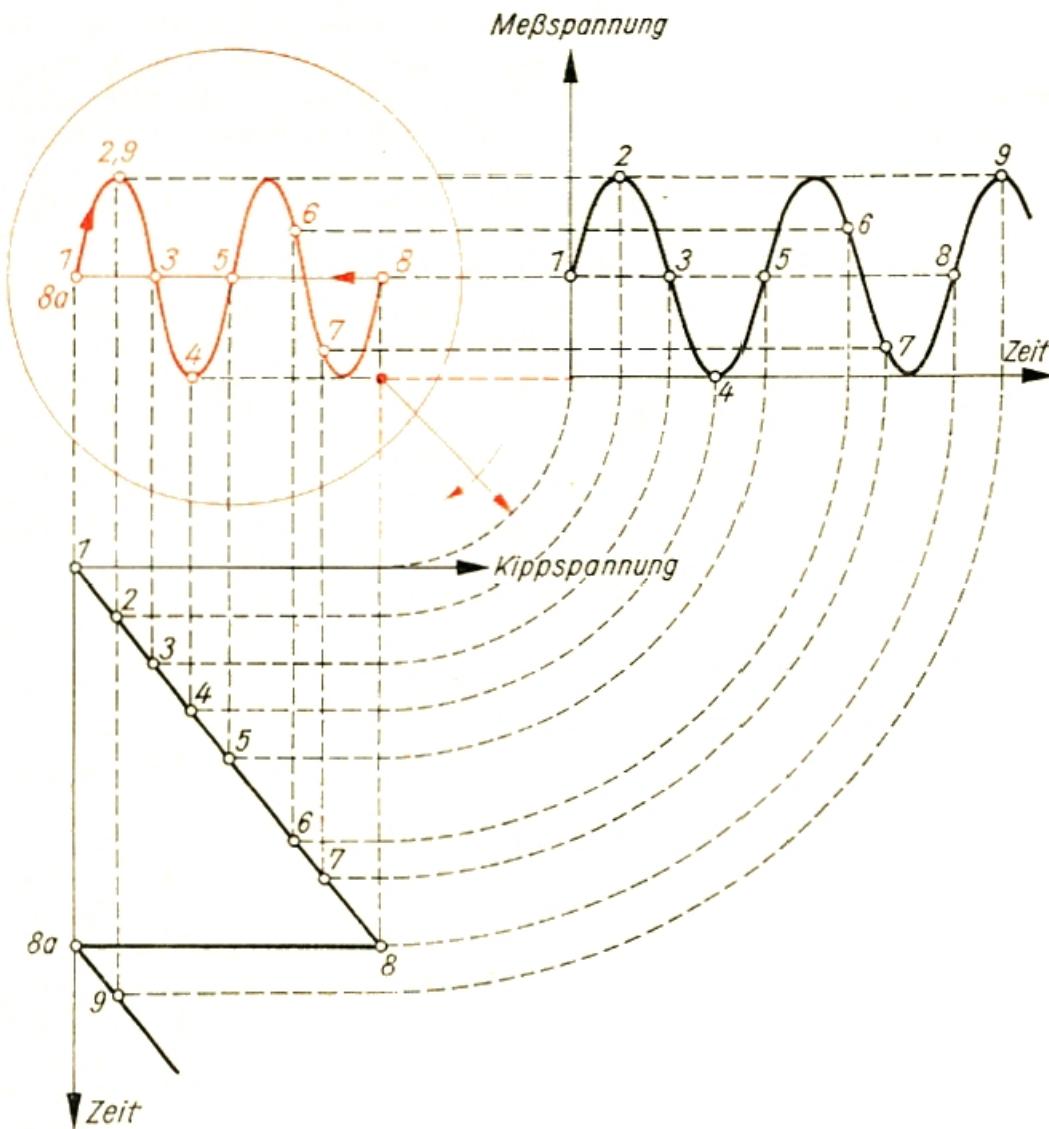


Bild 9.21  
So überlagern sich  
Meßspannung und  
Kippspannung zur  
Schirmbildkurve



Kurzschluß wieder gelöst, bewegt sich der Strahl erneut langsam nach rechts. Wir erkennen, daß die Ablenkgeschwindigkeit des Elektronenstrahls am Ende kleiner als am Anfang wird. Bild 9.17 zeigt uns den Spannungsverlauf der einfachsten *Zeitablenkschaltung*.

Im folgenden Versuch wollen wir den Rücklauf des Elektronenstrahls automatisieren; wir bauen an Stelle des Kurzschlußkabels eine Glimmlampe ein. Unter anderem eignet sich ein Typ ähnlich der S51/10S, die Zündspannung liegt bei  $U_Z \approx 90$  V, die Löschspannung bei  $U_L \approx 80$  V. Den Versuch bauen wir nach Bild 9.18 auf. Über dem Spannungsteilerwiderstand  $R_1$  fallen etwa 100 V ab. Diese laden über den Vorwiderstand  $R$  und das Potentiometer  $P$  den Kondensator  $C_L$  auf. Da die Spannung relativ groß ist, würde der Elektronenstrahl weit über den Schirm hinaus abgelenkt werden. Deshalb setzen wir einen Kondensator  $C$  vor die Zeitplatte  $z1$ . Er hält die Gleichspannung vom Ablenkensystem fern. Sobald die Spannung am Kondensator  $C_L$  den Wert der Zündspannung erreicht, zündet die Glimmlampe und entlädt ihn sehr rasch; bei Erreichen der Löschspannung verlöscht die Lampe, der Ladevorgang wiederholt sich. Die Spannung am Ladekondensator schwankt etwa zwischen 80 und 90 V, also um rund 10 V. Auf dem Bildschirm entsteht ein 25 mm langer waagerechter Strich. Die für die Länge des Striches – wir bezeichnen ihn künftig als *Zeitachse* – verantwortliche Spannungsdifferenz nennt der Techniker *Zeitspannung* oder *Kippspannung*. Im Bild 9.19 ist der Spannungsverlauf am Lade- oder Kippkondensator dargestellt.

Nun legen wir an die noch freien Meßplattenanschlüsse  $m1$  und  $m2$  eine Wechselspannung von 6 V. Auf dem Bildschirm erscheint – allerdings etwas verzerrt – die bekannte Kurve einer Wechselspannung (vgl. Bild 9.20). Die Verzerrung rührt vom nichtlinearen Kippspannungsanstieg her. Mit Hilfe des Potentiometers  $P$  können wir die Ablenkgeschwindigkeit des Elektronenstrahls vergrößern oder verkleinern und damit weniger oder mehr Schwingungen der Wechselspannung abbilden. Im dargestellten *Oszillogramm* erkennen wir drei volle Perioden der Spannung von 50 Hz. Die *Kippfrequenz* muß demnach ein Drittel der Frequenz der Meßspannung betragen, also  $16\frac{2}{3}$  Hz. Bild 9.21 veranschaulicht, wie sich eine ideale Kipperschwingung und eine sinusförmige Wechselspannung zum Schirmbild überlagern.

## 10. Wir bauen einen Elektronenstrahloszillografen

Sehr oft sind die Meßspannungen so klein, daß sie den Elektronenstrahl nicht auslenken. Sie müssen vorher in einem *Meßverstärker* auf eine höhere Spannung gebracht werden. Ein Oszillograf besteht demnach aus vier Baugruppen: einem Netzgerät, dem Sichtteil mit der Bildröhre, einem Kippgerät und einem Meßverstärker. Bild 10.1 zeigt das Blockschaltbild eines Oszillografen, wie wir ihn nun als Gerät aufbauen wollen.

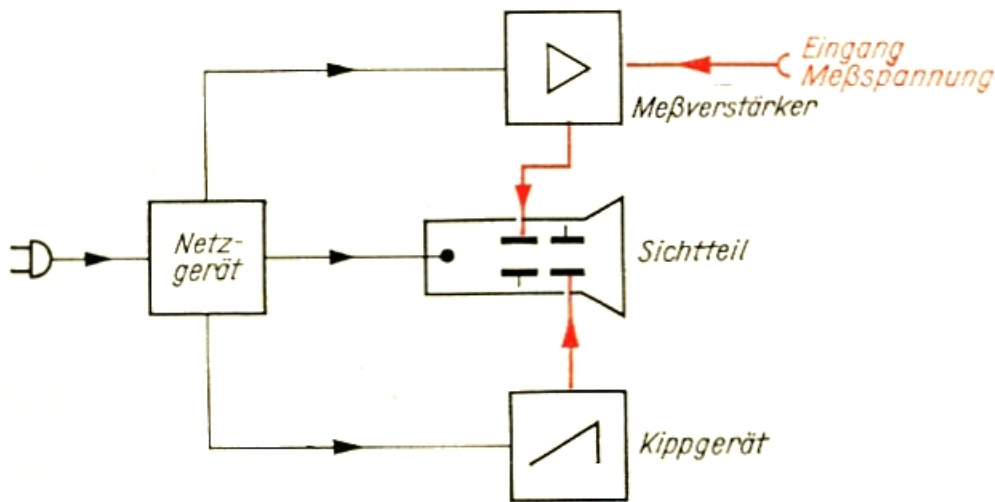


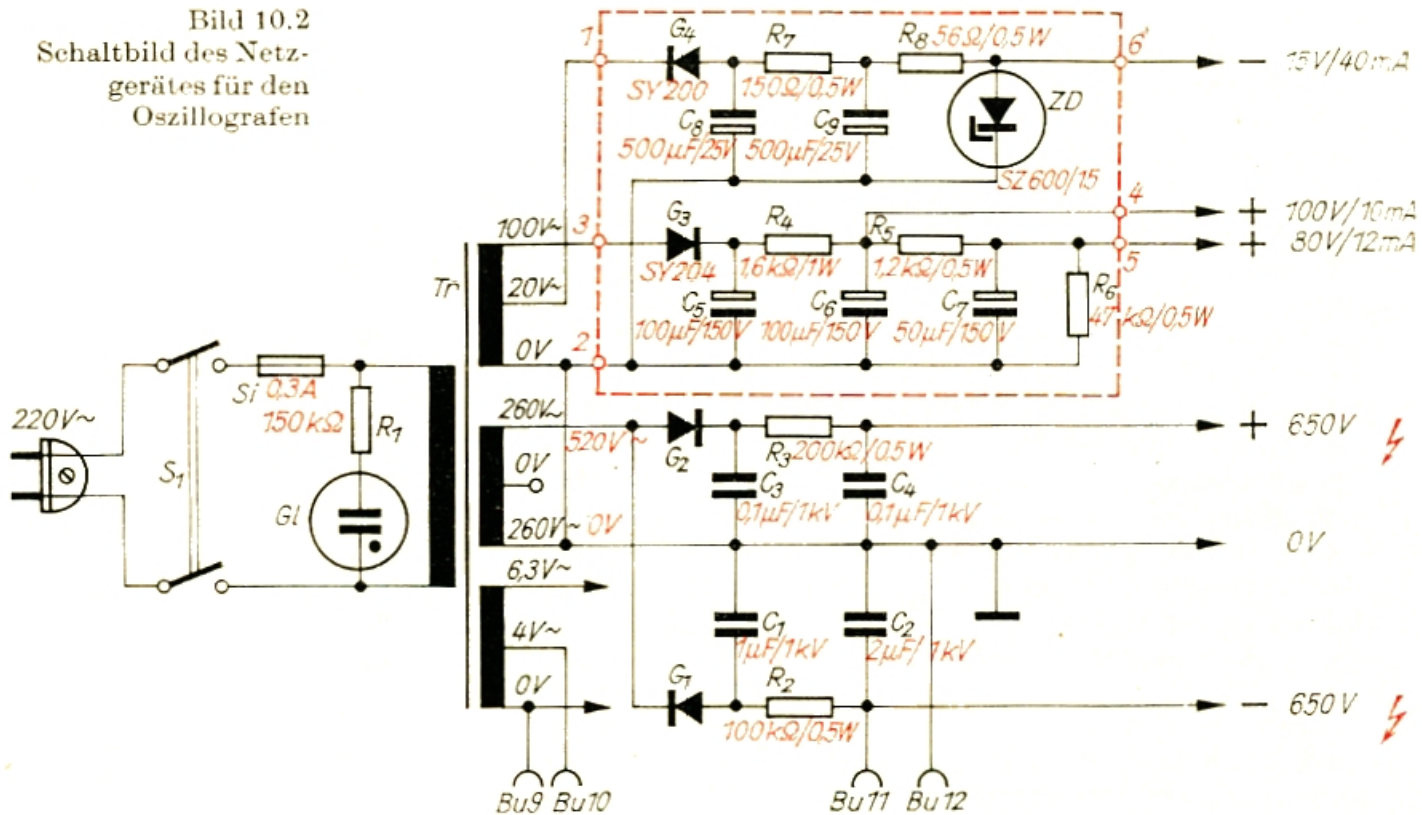
Bild 10.1  
Blockschaltbild eines  
Oszillografen

### Mit dem Netzteil fangen wir an

Das Schaltbild des Netzgerätes für unseren Oszillografen entnehmen wir Bild 10.2. Das Netzgerät besteht aus drei Teilschaltungen: dem Hochspannungsteil zum Betrieb der Bildröhre (+650 V und -650 V), dem Mittelspannungsteil für die Endstufen des Meßverstärkers (+80 V) und des Kippgerätes (+100 V) sowie einem Niederspannungsteil für die Vorstufen dieser beiden Baugruppen (-15 V).

Als Transformator verwenden wir entweder den Typ M85 des VEB Elektro-Feinmechanik Mittweida (Primärspannung: 127/220 V, Sekundärspannungen: zweimal 260 V/50 mA; 6,3 V/2,5 A und 4/6,3 V/1,1 A), oder wir berechnen und bauen selbst einen passenden. Aber auch den handelsüblichen müssen wir noch etwas verändern, denn er hat keine Wicklungen für die Mittelspannung und die Niederspannung. Wir löten die Drahtanschlüsse ab, nehmen den Kern auseinander, entfernen die Spulenisolation und zählen die Windungen der äußeren 6,3-V-Wicklung. Wir brauchen diese nicht und wickeln sie deshalb ab. Damit

Bild 10.2  
Schaltbild des Netz-  
gerätes für den  
Oszillografen



schaffen wir gleichzeitig Wickelraum für die benötigte 100-V-Wicklung. Wenn für 6,3 V z. B. 27 Windungen vorhanden waren, muß unsere neue 100-V-Wicklung  $N = \frac{27 \cdot 100 \text{ V}}{6,3 \text{ V}} = 430$  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 und der Transformator wieder zusammengebaut.

An den beiden hintereinandergeschalteten 260-V-Ausgängen des Trafos liegt der Einweggleichrichter  $G_1$  mit Ladekondensator  $C_1$  und Siebglied  $R_2C_2$ , der die Betriebsspannung der Oszillografenröhre liefert; der Pluspol dieser Spannung von über 650 V 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 520-V-Wicklung gewinnen. Der Einweggleichrichter  $G_1$  verwertet nur eine Hälfte der Wechselspannung, die andere Hälfte läßt der gegenpolig geschaltete Gleichrichter  $G_2$  durch.  $G_1$  und  $G_2$  arbeiten sozusagen im „Gegentakt“. Über der Reihenschaltung der beiden Siebkondensatoren  $C_2$  und  $C_4$  steht die doppelte Spannung im Vergleich zu der Spannung über einem Siebkondensator zur Verfügung. Die Kondensatoren  $C_1$  bis  $C_4$  müssen unbedingt hochspannungsfest sein; für  $G_1$  und  $G_2$  verwenden wir jeweils zwei in Reihe geschaltete Selengleichrichter für 220 V und 30 mA.

Damit wir später mit diesem Hochspannungsnetzgerät auch eine zweite Oszillografenröhre betreiben können, führen wir die erforderliche Heizspannung von 4 V und die Betriebsspannung von -650 V an leicht zugängliche abgedeckte Telefonbuchsen Bu 9 bis Bu 12.

Die Einweg-Gleichrichterschaltung mit  $G_3$  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  $R_4$  und  $R_5$  sind so bemessen, daß sich im Belastungsfall die angegebenen Spannungen einstellen. Im Leerlauf betragen diese 140 V bzw. 135 V. Der zu  $C_7$  parallelgeschaltete Widerstand  $R_6$  verhindert, daß sich  $C_7$  im Leerlauf unnötig hoch auflädt.

*Die Niederspannung stabilisieren wir mit einer Z-Diode*

An der 20-V-Anzapfung liegt die Teilschaltung für die Niederspannung. Auch hier erkennen wir zunächst den Einweggleichrichter  $G_4$  mit der Glättungseinrichtung  $C_8$   $R_7$   $C_9$ , aber daran schließt sich noch eine Reihenschaltung aus  $R_8$  und einer sogenannten *Z-Diode*  $ZD$  an, die dem *Stabilisieren*, d. h. dem Konstanthalten, der Ausgangsspannung dient. Um uns eine Vorstellung von der Wirkungsweise dieses neuen Bauelementes zu verschaffen, nehmen wir zunächst seine Kennlinie nach der im Bild 10.3a angegebenen Schaltung auf. Für die Durchlaßkennlinie

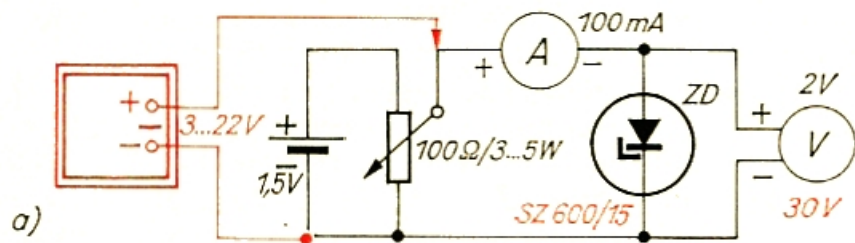
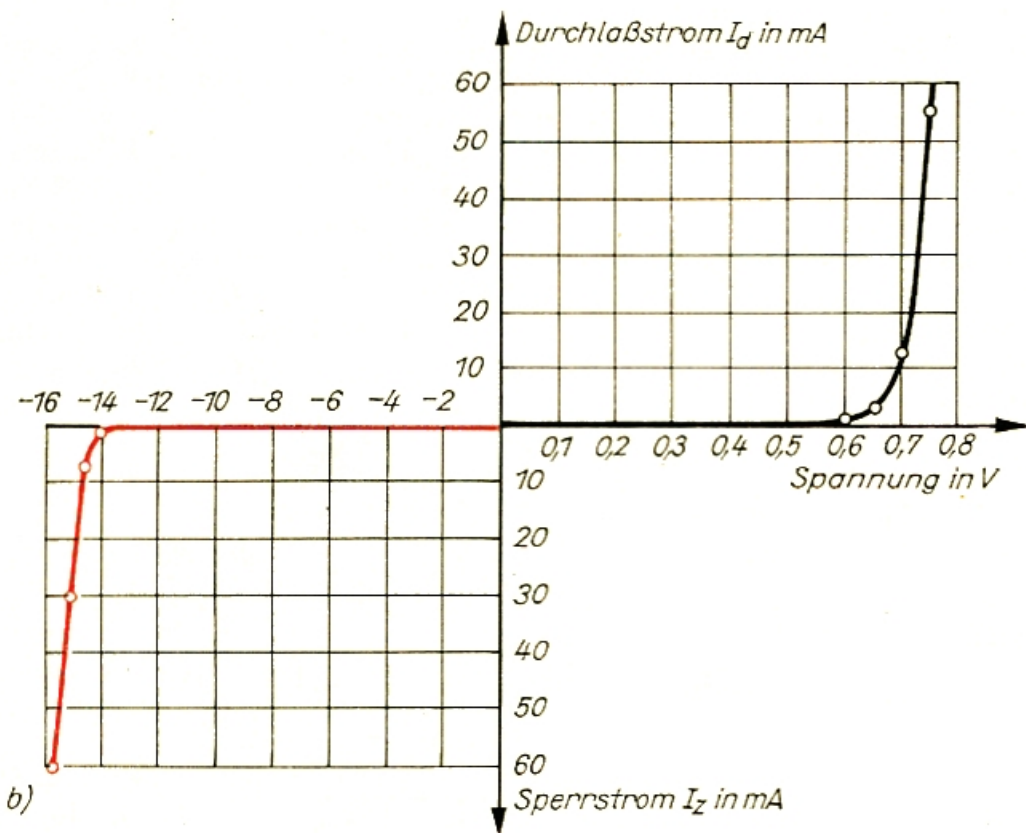


Bild 10.3  
Wir nehmen die Kennlinie einer Z-Diode auf:  
a) Schaltung  
b) Kennlinie der Z-Diode SZ 600/15



verwenden wir die von der Aufnahme der Diodenkennlinie bekannte Kombination aus Monozelle und Drahtdrehwiderstand; der Meßbereich des Spannungsmessers beträgt 2 V. Wie für Si-Dioden charakteristisch, fließt bis etwa 0,5 V ein kaum meßbarer Strom. Ab 0,6 V verändern wir die Durchlaßspannung um jeweils 0,05 V und notieren die Strom-Spannungs-Wertepaare. Nach dem Eintragen der Punkte in ein Diagramm verbinden wir sie und erhalten die bekannte Durchlaßkennlinie für Si-Dioden (vgl. auch Bild 5.9c). Dann polen wir die Diode um, stellen am Spannungsmesser einen Meßbereich von 30 V ein, entfernen Monozelle und Drehwiderstand und schließen dafür das Stromversorgungsgerät an. Bis zu einer Sperrspannung von 14 V fließt nur ein sehr geringer Sperrstrom. Bei 14,5 V zeigt der Strommesser 7 mA, bei 15 V 30 mA und bei 15,5 V 60 mA *Sperrstrom* an. Hierin unterscheidet sich unsere Z-Diode von einer „normalen“ Si-Diode. Ihr pn-Übergang ist so gestaltet, daß ab einer bestimmten Sperrspannung ein Durchbruch erfolgt. Infolge Stoßionisation werden lawinenartig Ladungsträger aus dem Atomverband gelöst, und der Strom steigt erheblich an. Durch geeignete Dotierung kann man die Durchbruchsspannung zwischen etwa 5 V und 50 V festlegen. Sobald die Durchbruchsspannung unterschritten wird, stellt sich wieder der normale geringe Sperrstrom ein. Im Bild 10.3b ist die vollständige Kennlinie unserer SZ 600/15 dargestellt, die eine Durchbruchsspannung von 15 V hat.

Im Niederspannungsteil des Netzgerätes (Bild 10.2) ist diese Z-Diode in Sperrichtung in Reihe mit einem Widerstand von  $56 \Omega$  an den Siebkondensator  $C_9$  geschaltet, an dem beispielsweise eine Spannung von 18 V zur Verfügung steht. Diese teilt sich an  $R_8$  und ZD, und zwar fallen 15 V an der Z-Diode und 3 V an  $R_8$  ab. Der Sperrstrom beträgt dann  $I = \frac{3 \text{ V}}{56 \Omega} = 53 \text{ mA}$  und die Belastung der Z-Diode  $P = 15 \text{ V} \cdot 53 \text{ mA} \approx 800 \text{ mW}$ .

Sobald parallel zur Z-Diode ein Verbraucher geschaltet wird, fließt über  $R_8$  der Verbraucherstrom. So wie dieser ansteigt, geht der Strom durch die Z-Diode zurück. Bei einem Verbraucherstrom von 40 mA beträgt der Sperrstrom der Z-Diode nur noch etwa 13 mA. Gleichzeitig sinkt die Spannung an der Z-Diode geringfügig, laut Kennlinie auf rund 14,5 V. Der Vorwiderstand einer Stabilisierungsschaltung mit Z-Diode ist so zu bemessen, daß bei angeschlossenem Verbraucher noch ein Sperrstrom durch die Z-Diode fließt. Deshalb muß auch die vom Gleichrichter  $G_4$  gelieferte Spannung größer als die Durchbruchsspannung der Z-Diode sein. Nur dann liefert die Z-Diode eine konstante Ausgangsspannung. Im Leerlauf messen wir an ZD etwa 15,5 V.

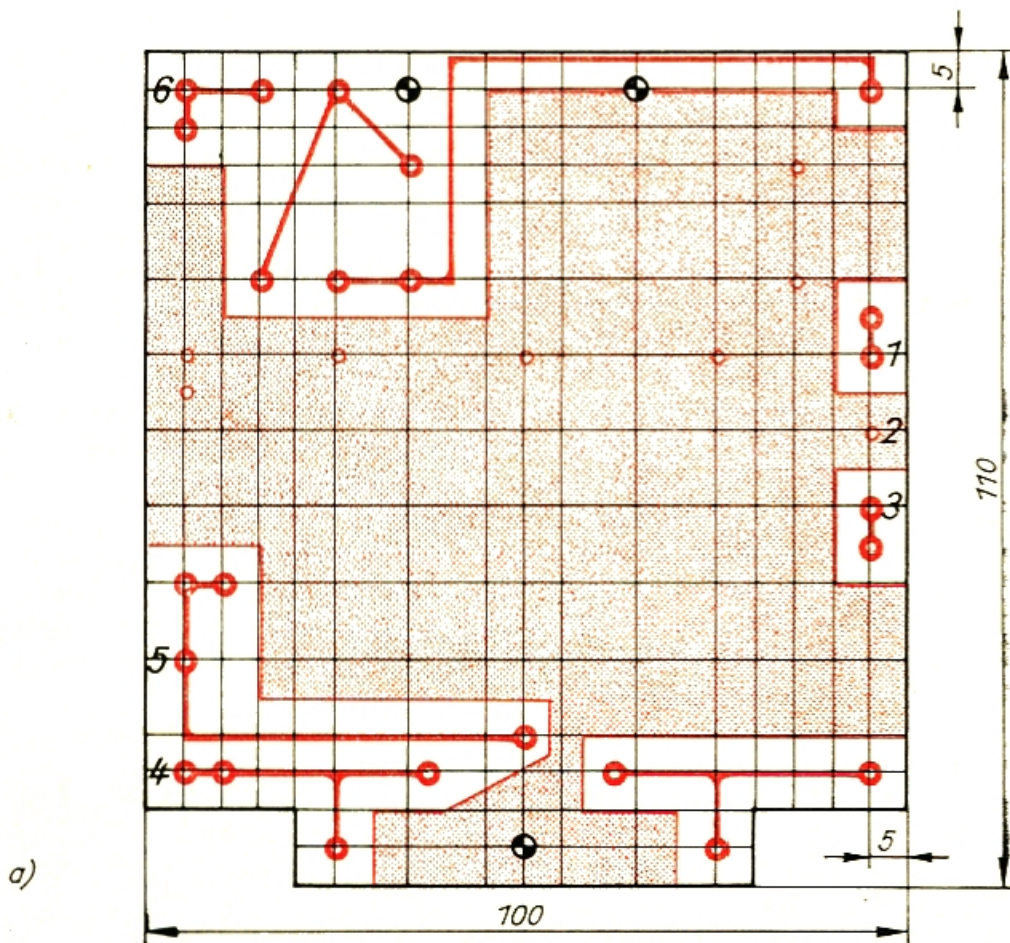
#### *Eine neue Verdrahtungsart: die gedruckte Schaltung* ¶

Wenden wir uns nun dem Bau des Netzgerätes zu. Wir beginnen mit dem im Bild 10.2 eingerahmten Teil, den wir als *gedruckte Schaltung* aufbauen wollen.

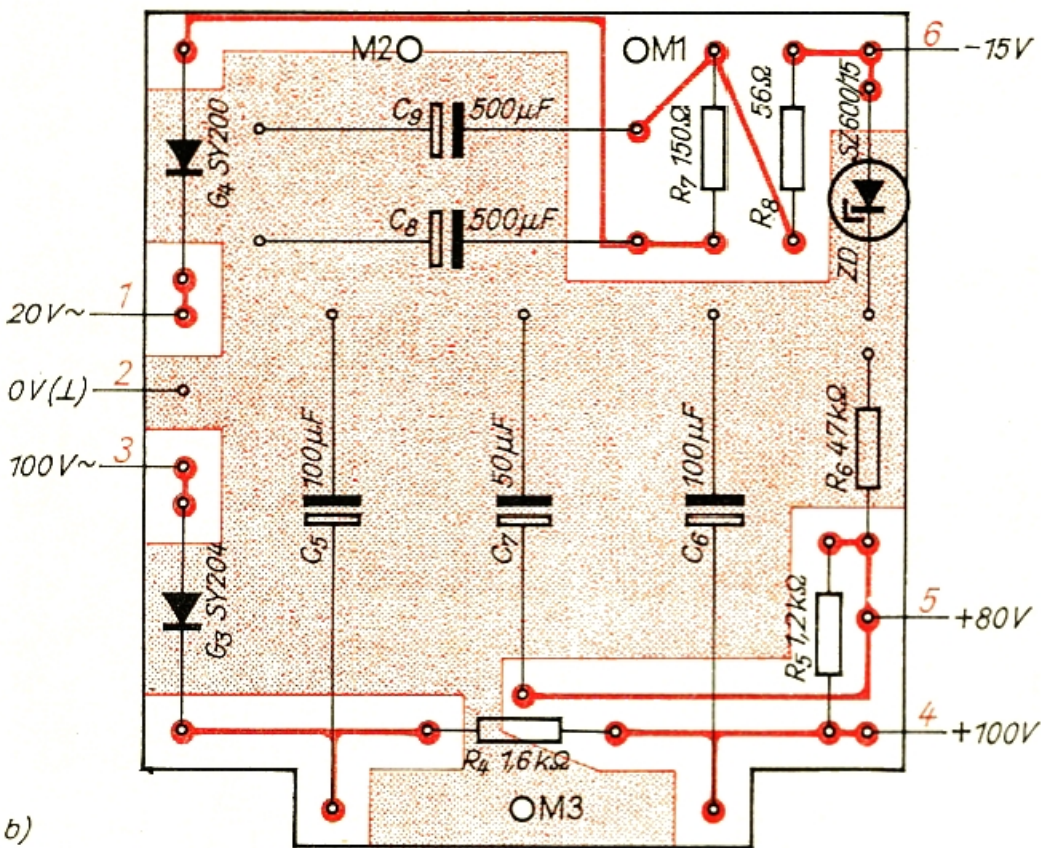
Ausgangspunkt für das Herstellen einer *Leiterplatte* – der Techniker bezeichnet sie als *Platine* – ist einseitig kupferkaschiertes Hartpapier von 1,5 mm Dicke. Die Kupferfolie ist nur 0,035 mm dick.

Für das Entwerfen der Leitungsführung zeichnet man zunächst auf weißes Papier ein Raster mit 5 mm Kantenlänge. Dann legen wir die

Bild 10.4  
 Leitungsführung (a)  
 und Bestückungs-  
 plan (b) für die Leiter-  
 platte des Netz-  
 gerätes NG



● Bohrungen  $\varnothing 3,1$ , alle übrigen Bohrungen  $\varnothing 1,0$



einzelnen Bauelemente auf das Papier und übertragen ihre Größen. Die Lötstellen werden nach Möglichkeit nur an den Schnittpunkten der Rasterlinien markiert. Beim Zeichnen der Leitungsführung achten wir darauf, daß keine Leitungskreuzungen entstehen.

Im Bild 10.4 ist die Leitungsführung der Platine unseres Teilnetzgerätes dargestellt. Diese Schaltung eignet sich besonders gut als Erstlingswerk, weil nur wenig Leiterzüge zu zeichnen sind und die Lötinseln wegen der großen Bauelemente relativ weit voneinander entfernt liegen. Dieses Bild übertragen wir maßstabsgerecht auf Papier. Mit Heftpflaster oder T-Band kleben wir es dann auf die vorher mit „Ata fein“ entfettete und gesäuberte Folienseite des Hartpapiers und können sämtliche Bohrungen durch das Papier vorsichtig an. Nach Abnahme der Papierschablone zeichnen wir mit verdünnter Nitrofarbe zunächst die Kreisflächen um die Körnerpunkte, dann die Verbindungsleitungen und zum Schluß die große Fläche. Bei richtiger Farbverdünnung können wir so arbeiten, wie wir es vom Zeichnen mit Tusche gewöhnt sind. Für das Abdecken der Fläche verwenden wir am besten einen kleinen Pinsel. Diese für uns etwas mühselige Arbeit ist industriell sehr rasch erledigt, nämlich durch Aufdrucken der gesamten Leitungsführung. Daher rührt auch die Bezeichnung der Schaltung.

Anschließend muß die nicht abgedeckte Kupferfolie durch Ätzen abgetragen werden. Wir verwenden dazu den handelsüblichen Ätzsatz oder Eisen-III-Chlorid ( $\text{FeCl}_3$ ), das in Fachdrogerien zu haben ist. Die Ätzlösung soll etwa 30- bis 40%ig sein, d. h., in 100 cm<sup>3</sup> Wasser sind 38 bis 55 g  $\text{FeCl}_3$  zu lösen. Als Ätzgefäß dient eine kleine Fotoschale, in die wir zunächst die Leiterplatte mit der Folienseite nach oben legen. Dann wird nur so viel Lösung in die Schale geschüttet, daß der Flüssigkeitsspiegel etwa einen Millimeter über der Platte steht. Beschleunigend auf den Ätzvorgang wirkt eine ständige Bewegung des Bades. Die Ätzzeiten liegen zwischen 10 und 20 Minuten.

Sobald die Folie abgetragen ist, nehmen wir die Leiterplatte aus der Fotoschale und spülen sie gründlich mit Leitungswasser. Dann entfernen wir mit Nitroverdünnung die aufgetragene Farbe und scheuern zum Schluß erneut mit „Ata fein“ ab. Nach dem Trocknen streichen wir die Folienseite mit lötbarem Elektro-Isolier-Überzugsack.

Der letzte Arbeitgang ist das Bohren der Befestigungslöcher und der 1-mm-Löcher zum Durchstecken der Bauelemente. Wie die einzelnen Bauelemente auf der Leiterplatte angeordnet werden müssen, entnehmen wir Bild 10.4b. Die drei Elektrolytkondensatoren  $C_5$ ,  $C_6$  und  $C_7$  haben Gewinde und sind nicht für gedruckte Schaltungen gedacht. Um sie trotzdem einlöten zu können, müssen ihre Gehäuse einen Drahtanschluß erhalten. Vorher probieren wir das *Verzinnen von Aluminium* an einem Stückchen Abfallblech. Zunächst muß die Oberfläche des Aluminiums von der Oxidschicht befreit werden. Mit einem Taschenmesser schaben wir eine Stelle blank, geben einen Tropfen Nähmaschinenöl darauf und schaben nochmals. Der Öltropfen verhindert den Luftzutritt und damit die sonst sofort einsetzende Oxydation. Dann entfernen wir mit einem Lappen das überschüssige Öl und die Schabespäne, zurück bleibt nur ein hauchdünner Ölfilm. Für das Verzinnen brauchen wir einen kräftigen LötKolben, dessen Leistung mindestens 100 bis 250 W beträgt. Wir geben einige Körnchen Kolophonium auf die Lötstelle und drücken den heißen Kolben darauf. Nach etwa einer halben Minute beginnt das Zinn zu fließen. An der so vorbehandelten

Stelle können wir nun einen Draht oder schmalen Blechstreifen aus Eisen, Messing oder Kupfer in der üblichen Art festlöten. Genauso verfahren wir mit unseren Kondensatoren. Nachdem wir die Stirnseite radial verzinkt haben, löten wir an Gehäuse und Fahne je ein Stückchen Schaltdraht. Wir bestücken die Leiterplatte zuerst mit den Widerständen, dann folgen die drei Dioden und zum Schluß die Elkos. Für den Anschluß der Wechselspannungen und die Entnahme der Gleichspannungen muß die Platine noch sechs Lötflähen erhalten, die wir am einfachsten ebenfalls aus Schaltdraht biegen. Bild 10.5 zeigt die bestückte Platine von der Leiterseite, Bild 10.6 von der Bauelementenseite. Wir erkennen, wie die Drähte an die Kondensatorengehäuse zu löten sind und wie die Anschlußflähen gebogen und eingelötet werden. Zum Schluß seien noch einige kurze *Hinweise zum Löten von gedruckten Schaltungen* gegeben: Der LötKolben soll nicht mehr als 100 W haben, 30 W reichen bereits aus; die Folie darf nicht wärmer als 250 °C werden. Mit geeignetem Flußmittel ist eine einwandfreie Lötstelle in weniger als zwei Sekunden möglich. Die LötKolbenspitze sollte pyramidenförmig gefeilt werden. Die Anschlüsse der Bauelemente werden vor dem Einsetzen verzinkt, nach dem Einsetzen dicht über der Folie abge-

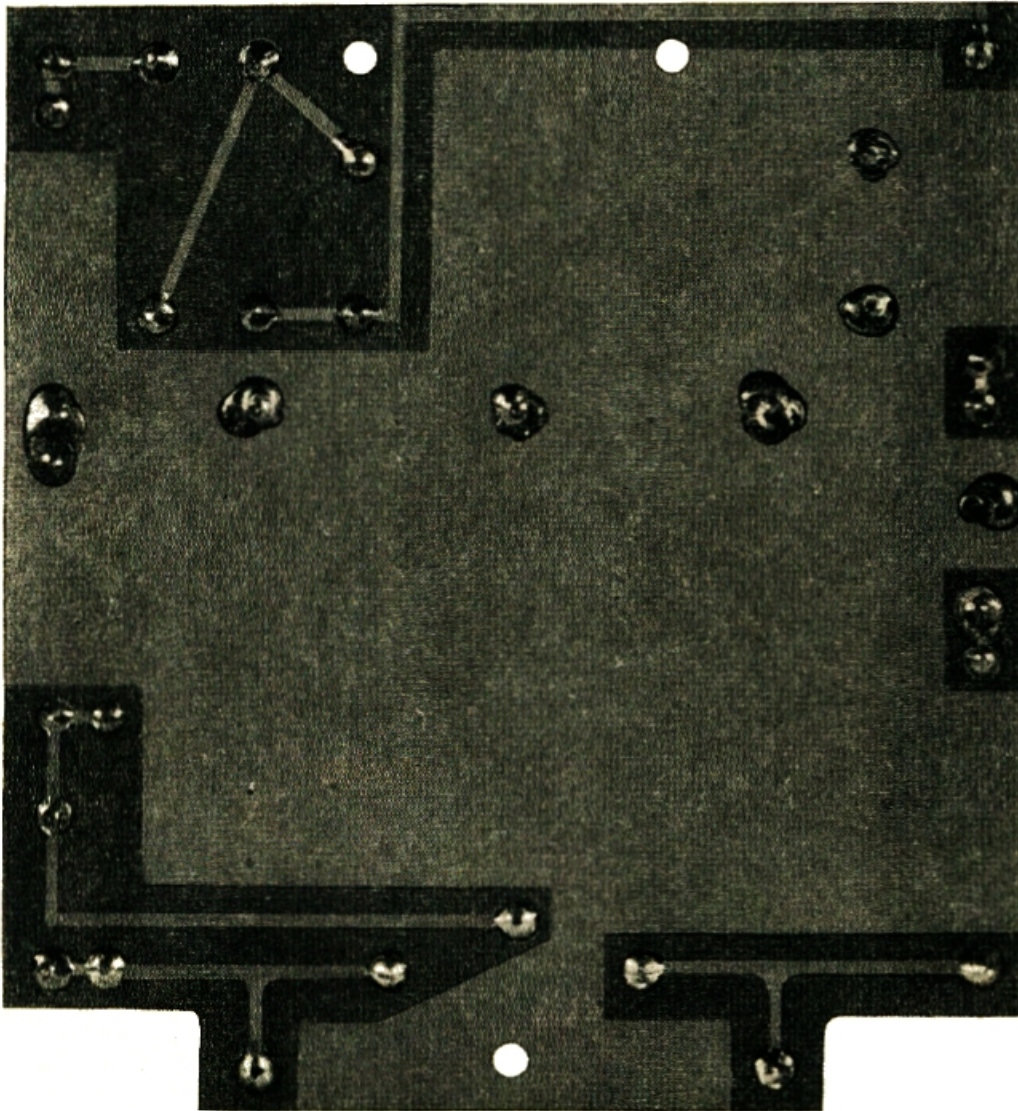
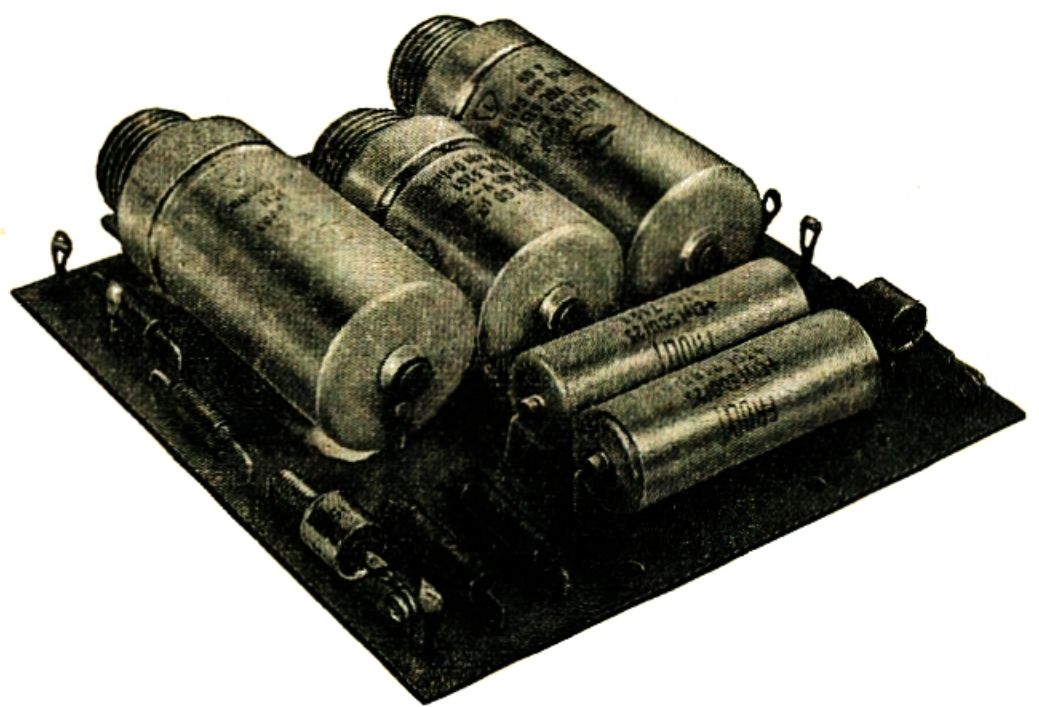


Bild 10.5  
Die Platine des Netzgerätes, von der Leiterseite aus gesehen

Bild 10.6  
So sieht die bestückte  
Leiterplatte des Netz-  
gerätes aus

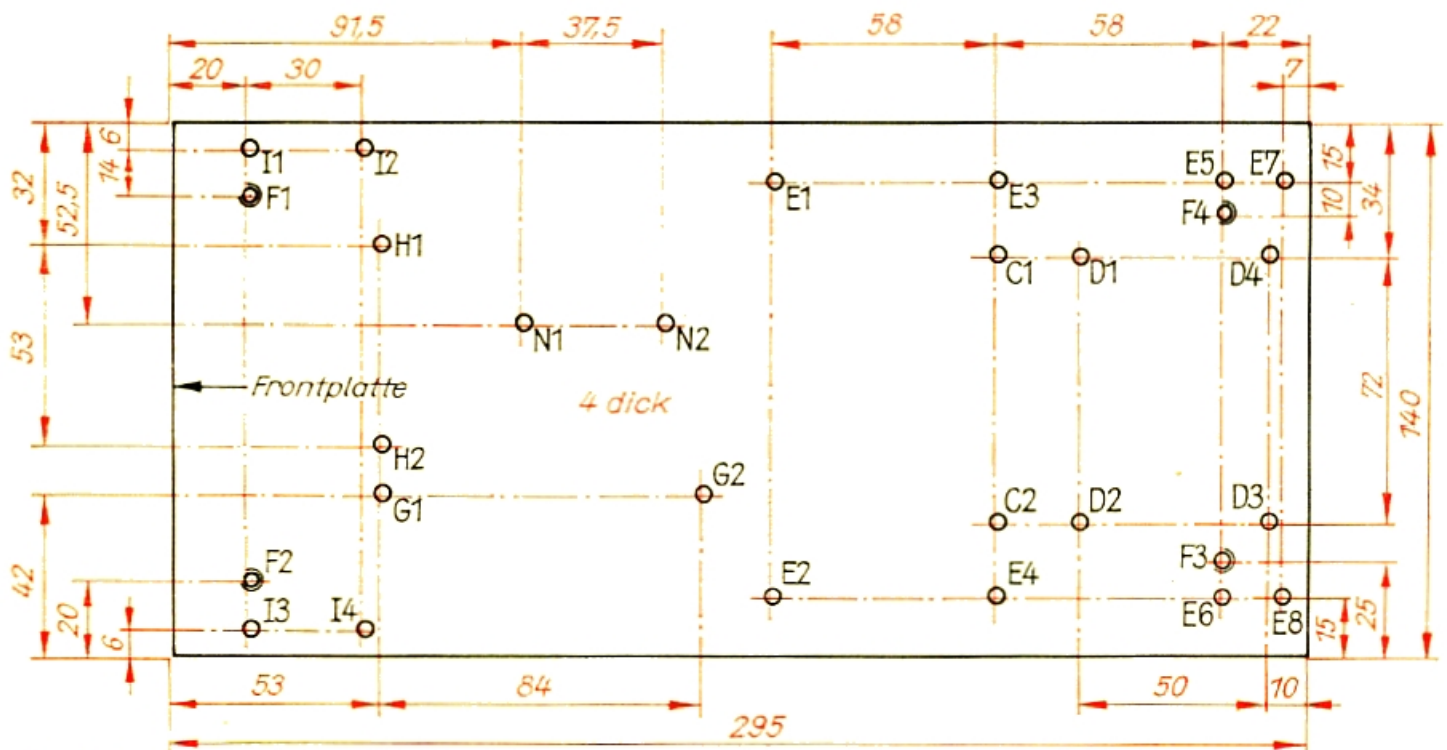


schnitten, aber nicht umgebogen. Das erleichtert eine unter Umständen erforderliche Demontage. Nach dem Löten säubern wir die Leiterseite mit Spiritus und streichen erneut mit dem erwähnten Schutzlack.

Bild 10.7  
Das Grundbrett des  
Oszillografen (von  
oben gesehen)

*Zum Bau des Netzgerätes*

Das Grundbrett des Oszillografen stellen wir nach Bild 10.7 aus 4 bis 5 mm dickem Pertinax her. Bevor wir die Kondensatoren des Hochspan-



alle Bohrungen  $\varnothing 3,5$  ; E5 und E6 von unten versenkt, alle Gewindebohrungen M3

nungsnetzteil und den Trafo montieren, stellen wir noch aus etwa 1 mm dickem Weicheisenblech vier Winkel nach N 2 (Maße in mm) her,

Winkel-Nr.	a	b	c	d	e	f	h	i	k
1	16	13	25	1	12,5	8	6	3,5	3,5
2	30	27,5	25	1	10	10	10	3,5	10
3 und 4	10	13	16	1	8	5	6	3,5	3,5

die zwei Winkel 5 und 6 nach Bild 10.8b und die Transformatorabschirmung nach Bild 10.8a. Wie im Kapitel 11 noch beschrieben wird, treten aus dem Kern einer von Wechselstrom durchflossenen Spule magnetische Feldlinien aus. Dieses Streufeld würde den Elektronenstrahl der Oszillografenröhre aus seiner Bahn ablenken und das Oszillogramm verfälschen. Mit magnetischen Werkstoffen entsprechender Dicke kann man solche Streufelder ganz oder teilweise abschirmen.

Unter die mit M4 bezeichnete Bohrung in der Deckfläche der Abschirmung kleben wir mit EP 11 von unten wie bei den Winkeln für das Stromversorgungsgerät eine Mutter M4 nach dem Bohren. Ebenso verfahren wir mit den Winkeln 5 und 6. In die Bohrungen A1 bis A4 setzen wir die vier Selengleichrichter ein, von denen zwei für  $G_1$  und zwei für  $G_2$  als Hochspannungsgleichrichter hintereinandergeschaltet werden. Bei B schrauben wir durch Bohrung i Winkel 1 an, und zwar so, daß

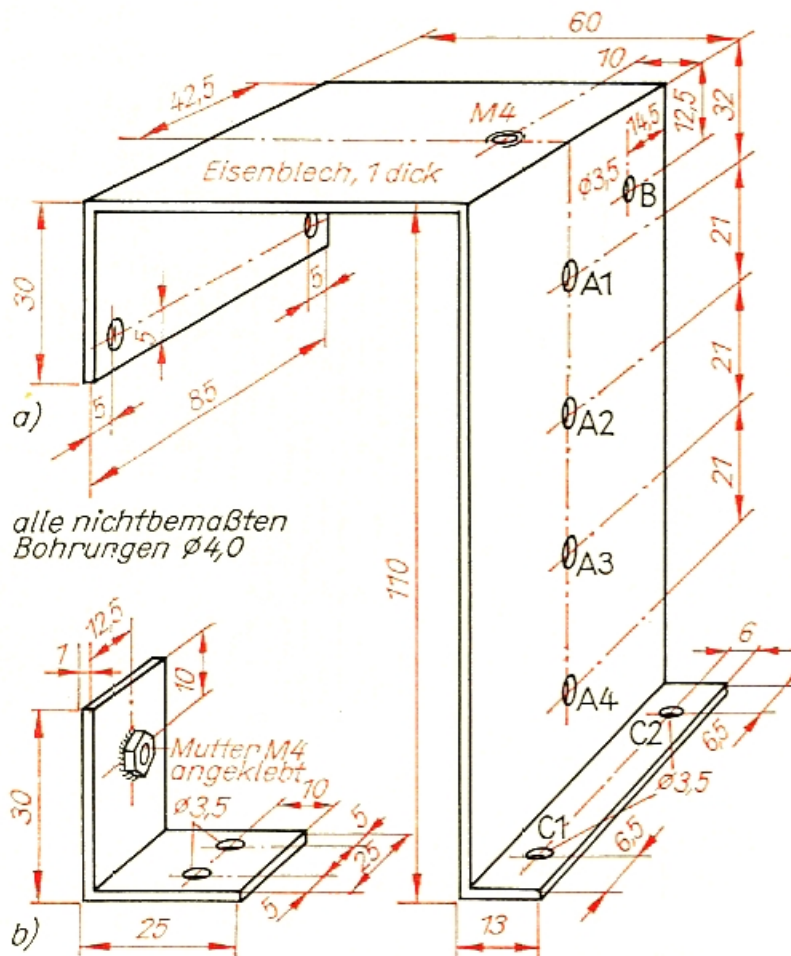


Bild 10.8  
Das Abschirmblech  
(a) aus Weicheisen  
für den Transformator  
und die Winkel 5  
und 6 (b)

die Fläche des 13 mm langen Schenkels nach der von B 14,5 mm entfernten Kante der Abschirmung weist.

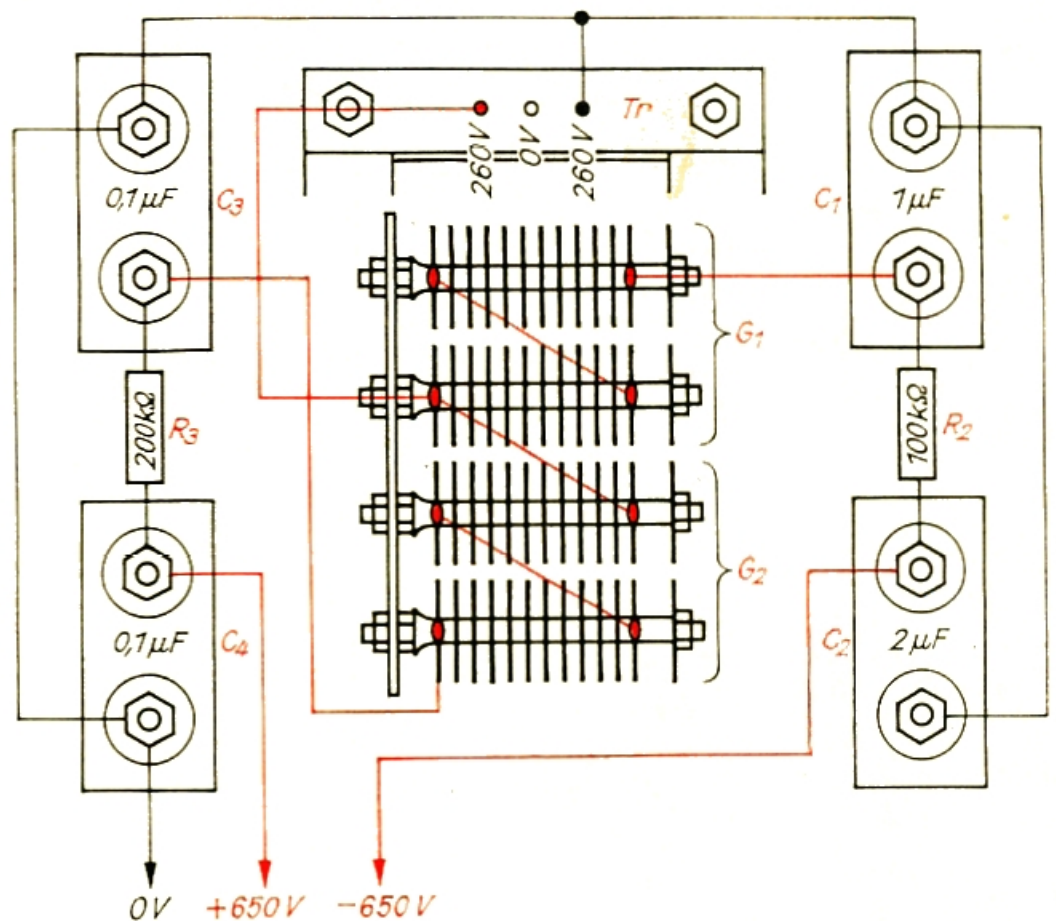
Nachdem wir nun noch die zwei oberen Kernschrauben des Netztrafos gelöst haben, schrauben wir die Einzelteile auf dem Grundbrett in folgender Reihenfolge fest:

1. Netztransformator bei D 1 bis 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. Hochspannungskondensatoren  $C_4$  ( $0,1 \mu\text{F}$ ) bei E 1 und  $C_2$  ( $2 \mu\text{F}$ ) bei E 2,
4. Hochspannungskondensatoren  $C_4$  und  $C_3$  ( $0,1 \mu\text{F}$ ) bei E 3 und  $C_2$  und  $C_1$  ( $1 \mu\text{F}$ ) bei E 4,
5.  $C_3$  und Winkel 5 bei E 5 und E 7 und  $C_1$  und Winkel 6 bei E 6 und E 8 (die 30 mm langen Schenkel der Winkel 5 und 6 weisen jeweils nach außen, an ihnen schrauben wir später das Gehäuse fest),
6. GummifüÙe von unten bei F 1 bis F 4.

Die Teilverdrahtung des Hochspannungsnetzgerätes nehmen wir nach Bild 10.9 vor und vergleichen mit Bild 10.2.

Zum Anschrauben der Platine des Netzgerätes – und auch später der Platinen des Kippperätes und des MeÙverstärkers – fertigen wir zwei Streben aus Pertinax, eine obere nach Bild 10.10a und eine untere nach Bild 10.10b. Die untere Strebe schrauben wir mit den zwei Winkeln Nr. 3 und 4 über Bohrung k bei G 1 und G 2 an die Grundplatte. Die Strebe weist dabei nach der näher gelegenen Seitenkante des Grund-

Bild 10.9  
Teilverdrahtungsplan  
des Hochspannungs-  
netzgerätes





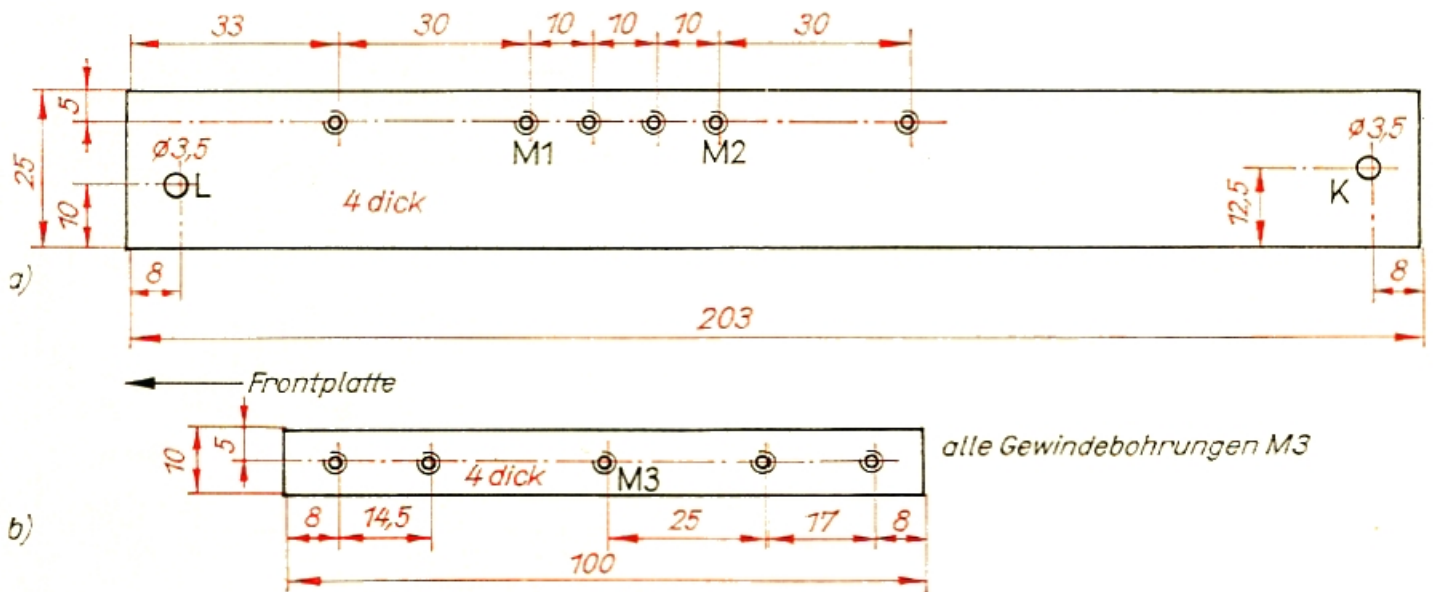


Bild 10.10  
Die Streben zum Anschrauben der Schaltungsplatinen:  
a) obere Strebe  
b) untere Strebe

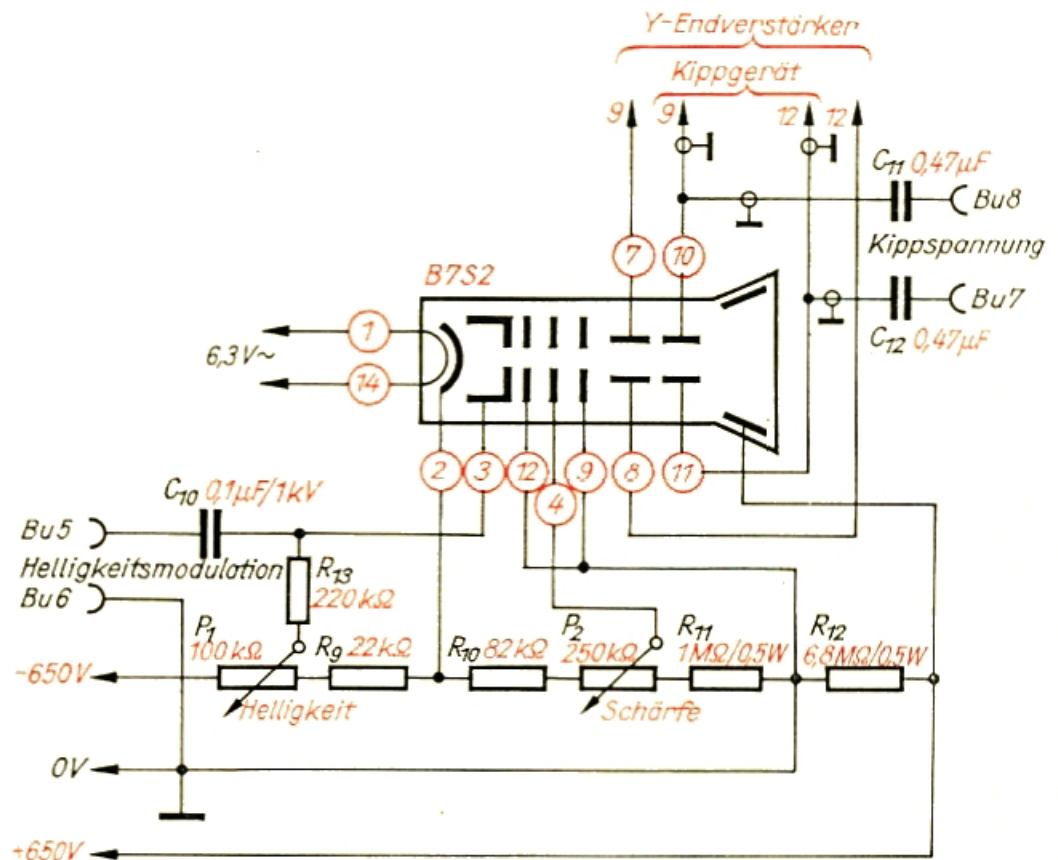
brettes. Die obere Strebe wird bei K an den Winkel 1 des Abschirmbleches angeschraubt; sie muß sich genau senkrecht oberhalb der unteren Strebe befinden. Bei L wird die Strebe später mit der Frontplatte verbunden. Nun können wir an die Streben bei M1 bis M3 die Platine des Netzgerätes schrauben. Dabei weist die Leiterseite nach den Streben. Zwischen Platine und Streben schieben wir über die Befestigungsschrauben etwa 8 mm × 8 mm große Abstandsstückchen aus 3 bis 4 mm dickem Pertinax. Diese sind erforderlich, damit die Leiterplatte gleichmäßig an die Streben gedrückt wird. Nach dem Anschluß der Leiterplatte an den Transformator über drei miteinander verdrehte Leitungen 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 Siebkondensatoren des Hochspannungsgerätes und an den Ausgängen 4 und 5 der Leiterplatte liegenden Spannungen. Sie müssen etwa bei einem Zehntel der im Bild 10.2 angegebenen Werte liegen. Erst dann dürfen wir – aber bitte *äußerste Vorsicht, mit etwa 1500 V ist nicht mehr zu spaßen!* – die Netzspannung anlegen. Wenn wir jetzt noch die Hochspannungen +650 V bzw. –650 V gegen Masse an den Hochspannungskondensatoren messen wollen, brauchen wir zwei Meßgeräte mit gleichem Innenwiderstand, die in Reihe geschaltet werden. Die Meßbereiche beider Geräte müssen mindestens je 400 V betragen. Die Summe der beiden Meßwerte gibt uns die anliegende Spannung an. Nachdem wir die Netzspannung abgeschaltet haben, entladen wir sämtliche Kondensatoren über einen Widerstand von 5 kΩ mit gut isolierten Anschlußkabeln. So schließen wir unliebsame Überraschungen aus.

## Der Sichtteil mit dem Anschluß der Oszillografenröhre

Die Teilschaltung für den Bildröhrenanschluß ist im Bild 10.11 angegeben. Der Spannungsteiler besteht nicht nur wie bei unserem „Behelfsoszillografen“ aus zwei Potentiometern, sondern zusätzlich noch aus Festwiderständen. Dadurch grenzen wir die Einstellbereiche sinn-

voll ein. Das RC-Glied  $R_{13}C_{10}$  am „Steurgitter“ der Braunschen Röhre ist für die Helligkeitsmodulation des Elektronenstrahls mit einer Wechselspannung erforderlich. Dieser Eingang ist für Fernsehversuche wichtig. An den Buchsen Bu 7 und Bu 8 oder an einer von beiden und Masse können wir während des Betriebes die Kippspannung abgreifen.

Bild 10.11  
Anschluß der Oszillografenröhre



### Wir gestalten die Frontplatte des Oszillografen

Das „Gesicht“ unseres Oszillografen konstruieren wir in der gleichen Weise wie die Frontplatte des Stromversorgungsgerätes. Gestaltung und Abmessungen entnehmen wir Bild 10.12. Wir stellen die Frontplatte aus 4 mm dickem Pertinax her. Die Rückseite der Frontplatte wird teilweise mit einer Abschirmung aus Konservendosenblech (Eisen) versehen, deren Form und Lage Bild 10.14 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 10.13). 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

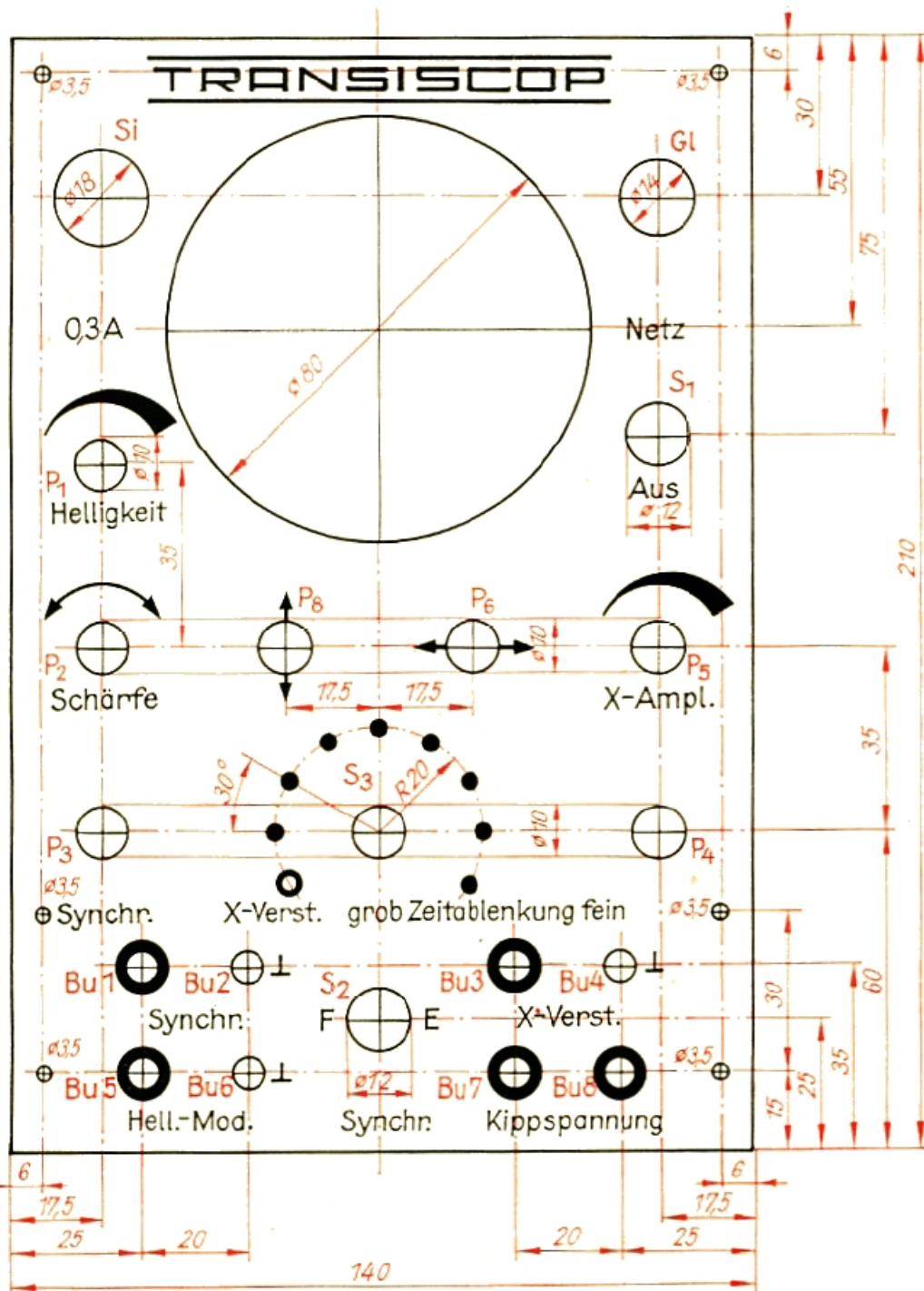


Bild 10.12  
Das Negativ für die  
Frontplatte des  
Oszillografen

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. Dazu benötigen wir zwei Winkel, die wir nach Bild 3.16a herstellen. Der Winkel, der neben den Buchsen Bu 1 und Bu 5 an die Frontplatte geschraubt wird, erhält noch ein kleines Pertinaxbrettchen, in das wir die Telefonbuchsen Bu 9 bis Bu 12 einsetzen (vgl. Bilder 10.2 und 10.26). Die Buchsenköpfe versenken wir so weit, daß sie mit dem Pertinax gleichmäßig abschließen.

Dann bestücken wir den zweimal neunpoligen Umschalter S<sub>3</sub> mit den einzelnen Kippkondensatoren für die verschiedenen Frequenzbereiche. Dazu werfen wir einen Blick auf das Schaltbild des Kippgerätes im

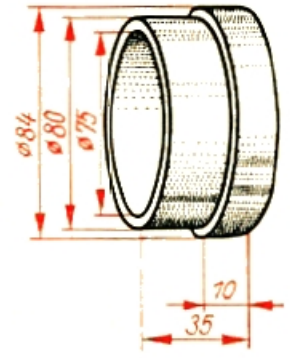
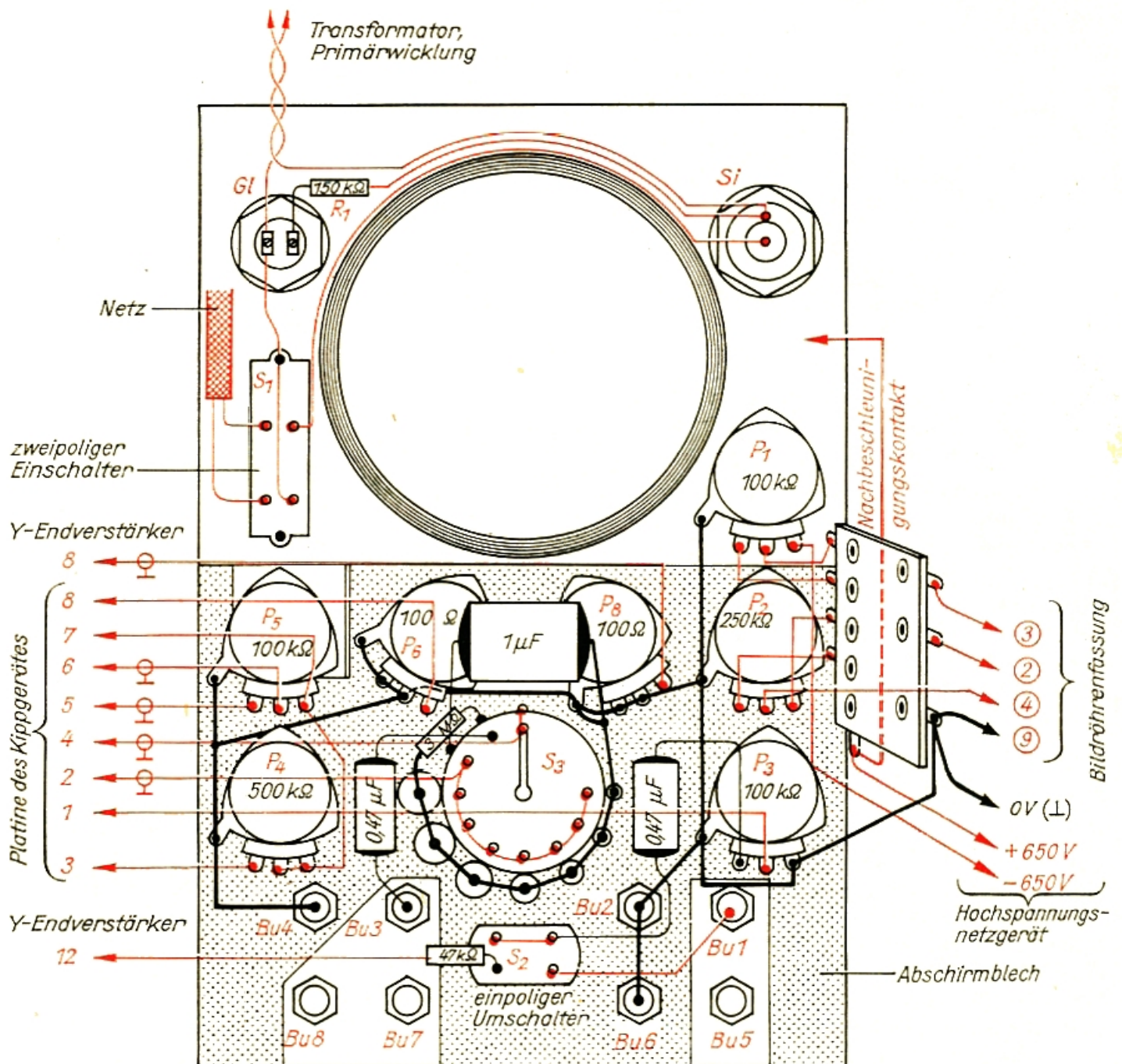


Bild 10.13  
Die vordere Bild-  
röhrenhalterung

Bild 10.22. Wir erkennen, daß mit der einen Ebene des Umschalters, vom linken Anschlag beginnend, der Reihe nach zunächst ein 3-M $\Omega$ -Widerstand und dann Kondensatoren der Kapazitätswerte 1  $\mu$ F, 0,25  $\mu$ F, 69 nF, 22 nF, 5,7 nF, 1,5 nF, 470 pF und 150 pF anzuordnen sind, deren freie Enden alle miteinander verbunden werden. Manche Kapazitäten müssen wir durch Parallelschaltung selbst „herstellen“. 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 10.14 gibt uns dazu sicherlich noch einige Anregungen.

Bild 10.14  
Verdrahtungsplan der Frontplatte



Die Widerstände des Spannungsteilers der Oszillografenröhre setzen wir auf ein kleines Lötösenbrettchen nach Bild 10.15, das wir über vier stabile Kupferdrahtbrücken an die Potentiometer  $P_1$  und  $P_2$  löten. 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 bis I 4 an das Grundbrett und bei H 1 und H 2 den Hochspannungskondensator  $C_{10}$ . Die obere Strebe, die nun auch mit dem Frontplattenwinkel verschraubt wird, verleiht unserer Konstruktion die notwendige Festigkeit.

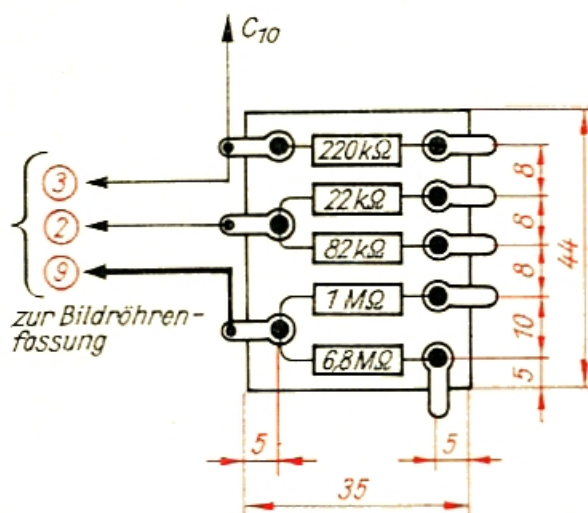


Bild 10.15  
Das Lötösenbrettchen für die Widerstände des Bildröhrenspannungsteilers

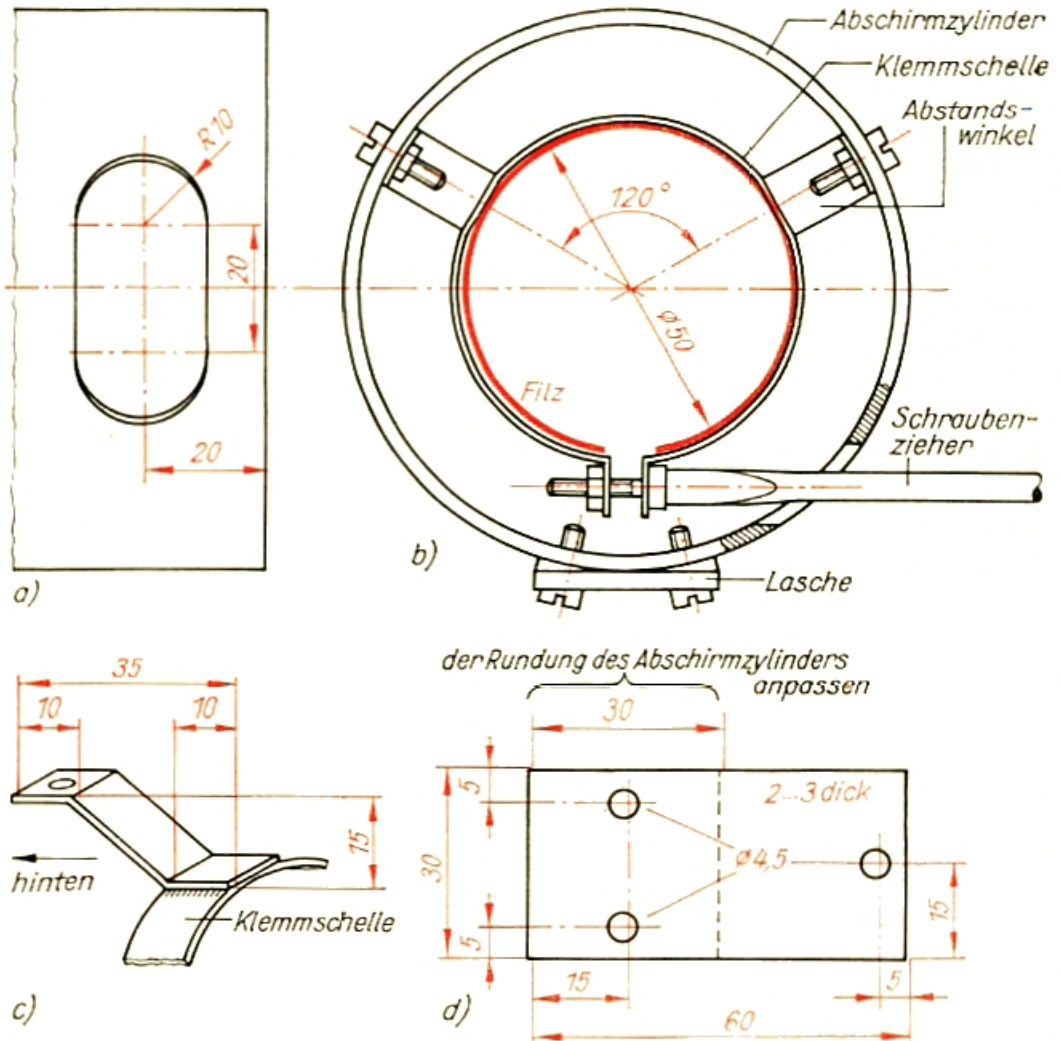
Ein Eisenzylinder schirmt die Bildröhre ab

Wie bereits erwähnt, reagiert der Elektronenstrahl einer Braunschen Röhre sehr empfindlich auf magnetische Felder. Die Industrie stellt *Abschirmzylinder* aus dünnwandigem, hochpermeablem Spezialmaterial her. Da sie jedoch verhältnismäßig teuer sind, bauen wir uns selbst einen. Am einfachsten gelingt das mit einem 200 mm langen Stück Eisenrohr, das einen Innendurchmesser von 84 mm hat und eine Wanddicke von 2 bis 3 mm. Macht die Rohrbeschaffung Schwierigkeiten, stellen wir es aus 2 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 10.16a 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.

Bild 10.16

Bau des Abschirmzylinders:

- Das Langloch an der vorderen Stirnseite für den Nachbeschleunigungsanschluß
- Ansicht von der hinteren Stirnseite
- So löten wir die Abstandswinkel an die Klemmschelle
- Mit dieser Lasche schrauben wir den Abschirmzylinder am Abschirmblech fest



Von einem 0,4 bis 0,5 mm dicken Stück Messingblech schneiden wir 10 mm breite Streifen für die Klemmschelle ab. Mit ihr schrauben wir den Hals der Oszillografenröhre im Abschirmzylinder fest. Bild 10.16b zeigt die Ansicht des Zylinders mit eingeschraubter Klemmschelle von der hinteren Stirnseite und Bild 10.16c, 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 10.16d) 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 Silberbronze 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 ( $-650\text{ V}$ ,  $0\text{ V}$ ,  $+650\text{ V}$ ) von den Hochspannungssiebcondensatoren zur Frontplatte und parallel dazu in einem weiteren Kabelbaum vier flexible Leitungen vom Lötösenbrettchen zur Bildröhrenfassung. Sie sollen nur so lang sein, daß die Fassung noch ordentlich vom Sockel abgezogen werden kann. Den Steckkontakt für die Nachbeschleunigung ( $+650\text{ V}$ ) löten wir über eine kurze flexible Leitung ebenfalls am Lötösenbrettchen an. Dann schließen wir die Seitenwandbuchsen Bu 9 bis Bu 12 an. Die 4-V-Heizleitung verlegen wir verdreht vom Netztrafo, und die beiden Leitungen für Masse und  $-650\text{ V}$  führen wir vom Lötösenbrettchen nach unten. Die Netzleitung und die verdrehte Leitung von der Frontplatte zum Primäranschluß 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 10.17 ist noch einmal das Anschlußschema der Röhrenfassung dargestellt und hervorgehoben, welche vier 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 die gesamte Leitungsführung. Dann wird die Glimmlampe sowie die Sicherung eingesetzt und die Netzspannung eingeschaltet. Nach etwa fünfzehn 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.

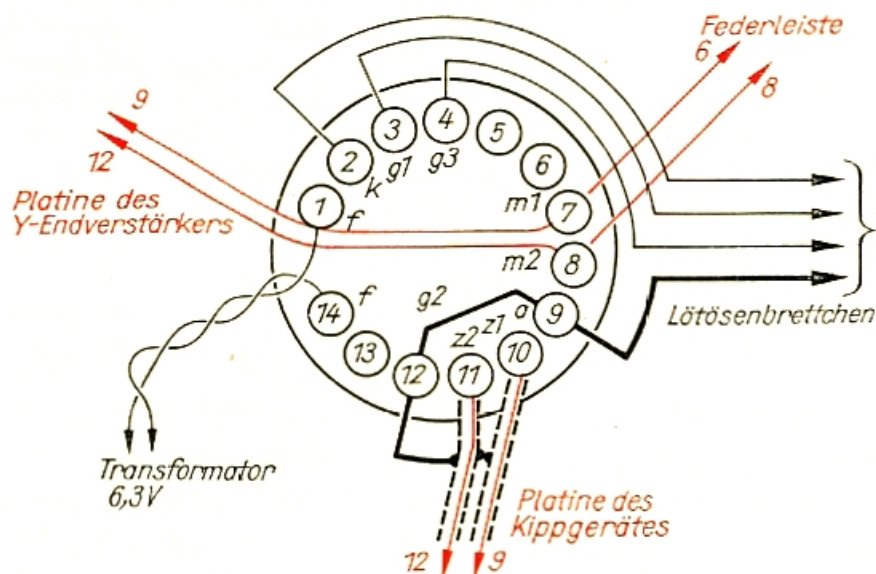


Bild 10.17  
So schließen wir die  
Bildröhrenfassung an

## Ein Gegentaktverstärker sorgt für die notwendige hohe Ablenkspannung

Wenn wir die beiden Leitungen zu den Meßplattenanschlüssen vom Massepunkt trennen, auseinanderlöten und eine Wechselspannung von beispielsweise 24 V anlegen, so 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  $2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\sim} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 24 \text{ V} = 68 \text{ V}$  notwendig. Der *Ablenkfaktor* für die Meßplatten beträgt unter den gegebenen Bedingungen demnach  $A_m = \frac{U}{l} = \frac{68 \text{ V}}{4 \text{ cm}} = 17 \frac{\text{V}}{\text{cm}}$ . Um den Elektronenstrahl 7 cm auslenken zu können, wird eine Gleichspannung von  $U = A_m \cdot l = 17 \frac{\text{V}}{\text{cm}} \cdot 7 \text{ cm} \approx 120 \text{ V}$  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, 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 Gegentaktschaltung 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.

Das vollständige Schaltbild des Gegentaktendverstärkers, 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 10.18 dargestellt. Die beiden Endstufentransistoren T 12 und T 13 vom Typ SF 129 D arbeiten in Basisschaltung.

Als Betriebsspannung verwenden wir +80 V, die Arbeitswiderstände R<sub>53</sub> und R<sub>54</sub> sind 6,8 k $\Omega$  groß. Der Ruhestrom beider Endstufentransistoren wird auf  $I = \frac{40 \text{ V}}{6,8 \text{ k}\Omega} \approx 6 \text{ mA}$  eingestellt.

Die Schaltung mit den Transistoren T 10 und T 11 ist eine *Phasenumkehrschaltung* und liefert an den Kollektorwiderständen R<sub>48</sub> und R<sub>49</sub> gegenphasige Ansteuersignale für die Endtransistoren. Während mit den beiden 5-k $\Omega$ -Einstellreglern R<sub>46</sub> und R<sub>51</sub> in beiden Endtransistoren der Ruhestrom von je 6 mA fest eingestellt wird, dient das Potentiometer P<sub>8</sub> zum begrenzten Verändern der Basisvorspannung für T 11. 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 ange-



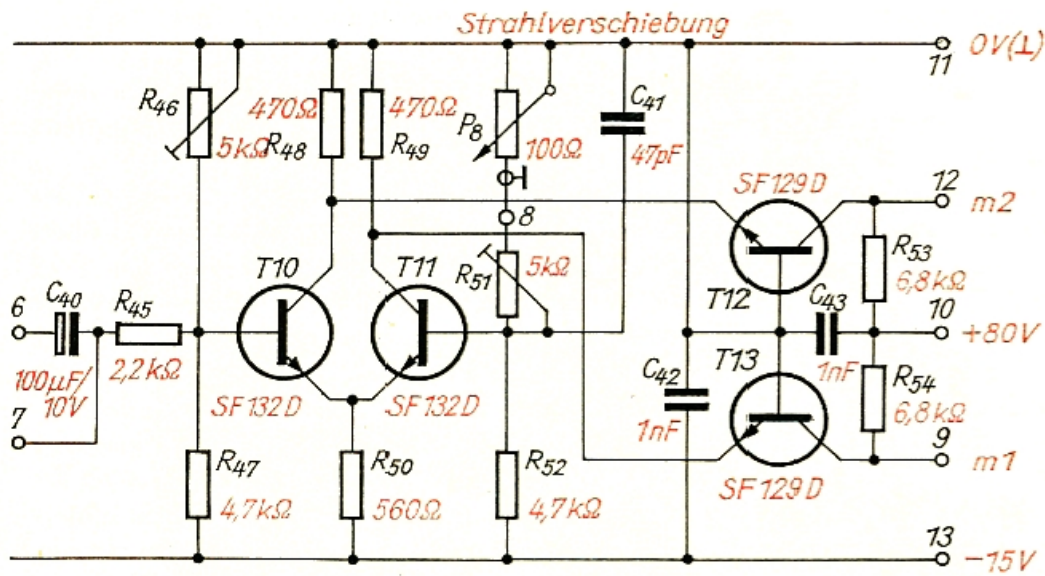


Bild 10.18  
Schaltbild des Gegen-  
taktendverstärkers

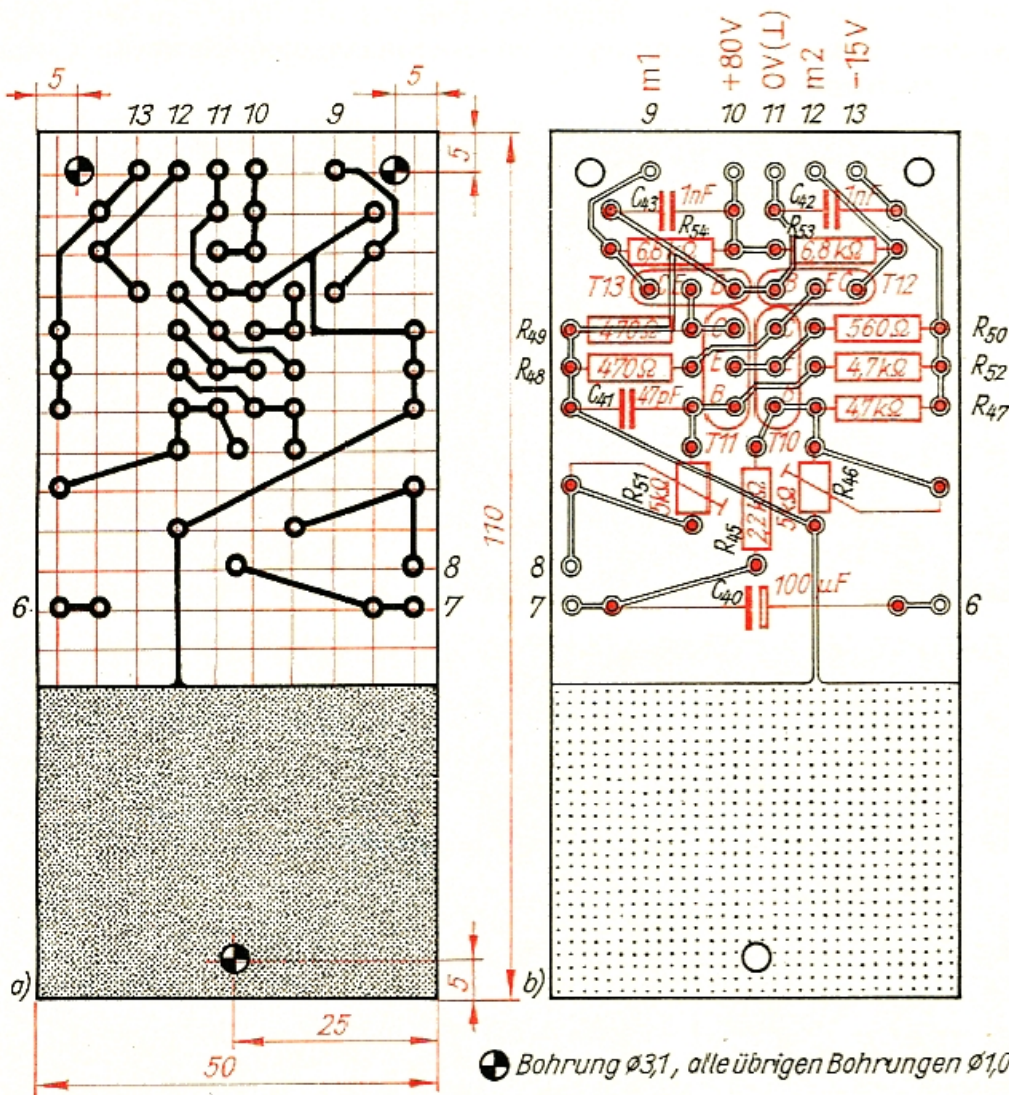


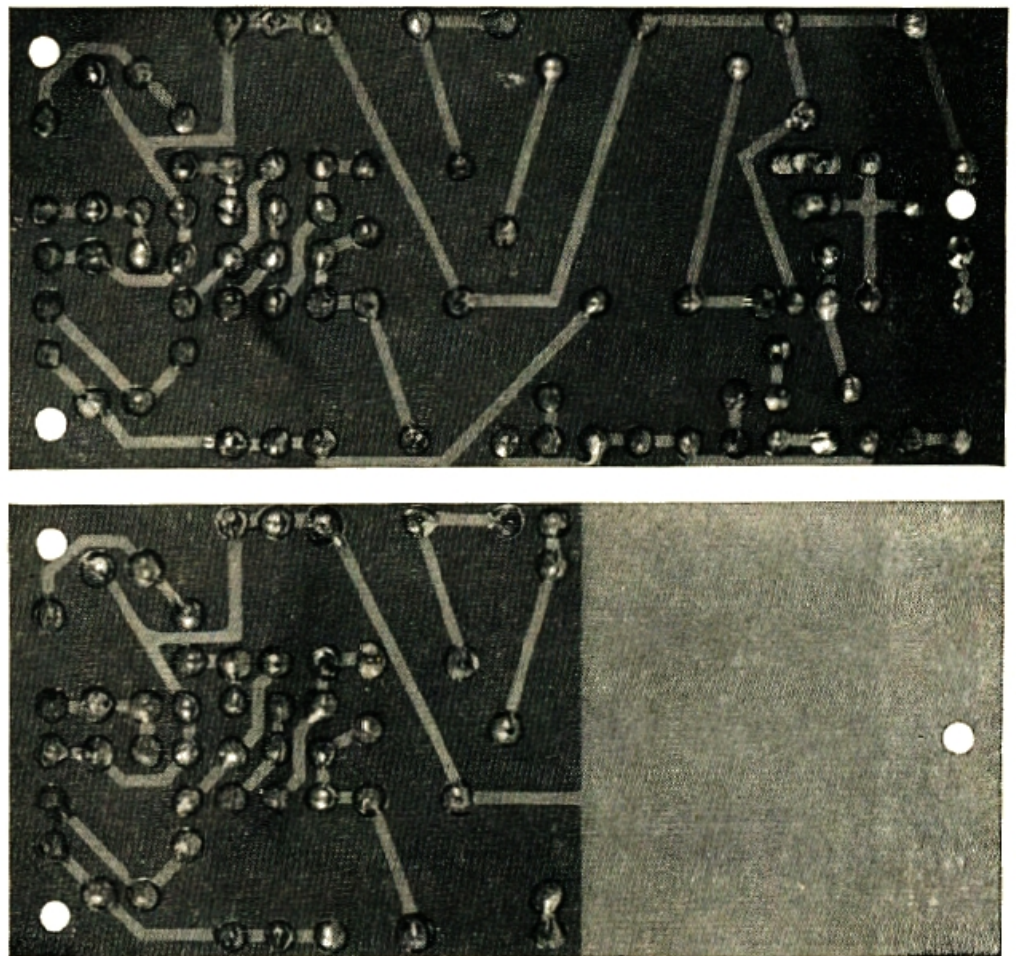
Bild 10.19  
Leitungsführung (a)  
und Bestückungs-  
plan (b) des Y-End-  
verstärkers YE

geschlossen ist, können wir mit  $P_8$  den Elektronenstrahl um etwa 1 cm nach oben und auch nach unten verschieben. Die Kondensatoren  $C_{42}$  und  $C_{43}$  dienen der hochfrequenzmäßigen Erdung der beiden Betriebsspannungen,  $C_{41}$  ermöglicht ein Anheben der oberen Grenzfrequenz auf über 1 MHz.

Bevor wir diesen Verstärker als gedruckte Schaltung aufbauen, probieren wir seine Funktion auf dem Experimentierbrettchen aus und üben auch gleichzeitig das Einstellen der richtigen Kollektorströme von T 12 und T 13. Die Einstellregler werden auf den größten Widerstandswert eingestellt, der Schleifer des Potentiometers steht etwa auf Mitte. Die Betriebsspannungen entnehmen wir der Platine des Netzgerätes. Durch geringfügiges wechselseitiges Verkleinern der Einstellwiderstände stellen wir gleiche Endströme von 6 mA ein. Die beiden Endtransistoren werden verhältnismäßig warm, obwohl ihre Belastung nur  $P = 40 \text{ V} \cdot 6 \text{ mA} = 240 \text{ mW}$  beträgt. Trotzdem brauchen wir keine Wärmeleitungsmaßnahmen vorzusehen. Nach dem Erproben des Gegentaktverstärkers stellen wir eine Leiterplatte nach Bild 10.19a her und bestücken sie nach Bild 10.19b. Zum Einstellen der richtigen Ströme löten wir die Kollektorwiderstände  $R_{53}$  und  $R_{54}$  zunächst nur einpolig fest. Die Bilder 10.20 und 10.21 zeigen die Leiterplatten des Y-Endverstärkers und des Kippgerätes.

Funktioniert die gedruckte Schaltung des Y-Endverstärkers ebenso wie die Experimentierschaltung, wenden wir uns dem Bau des Kippgerätes zu. Als Kippspannungsverstärker verwenden wir vorläufig den Y-Endverstärker.

Bild 10.20  
Die Leiterseiten der  
bestückten Platinen  
des Y-Endverstär-  
kers und des Kipp-  
gerätes



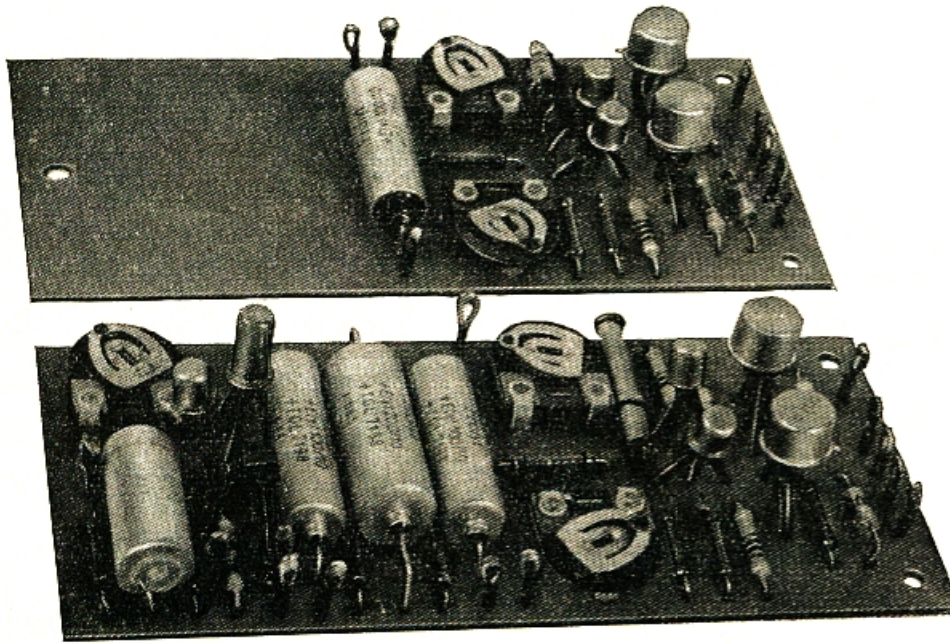


Bild 10.21  
So sehen die be-  
stückten Leiter-  
platten des Y-End-  
verstärkers und des  
Kippgerätes aus

## Das Kippgerät setzt sich aus Kippgenerator und Endverstärker zusammen

Wie in unserem Glimmlampenkippergerät (vgl. Bild 9.18) wird auch in der Schaltung nach Bild 10.22 die Kippspannung durch die Auf- und Entladung eines Kondensators erzeugt. Die Funktion der Glimmlampe, den Kondensator periodisch zu entladen, wird von den Transistoren T 1 und T 2 übernommen. Um eine ganze Reihe von Frequenzbereichen zu erhalten, sind acht Kondensatoren ( $C_{15}$  bis  $C_{22}$ ) eingebaut, die wahlweise als Kippkondensatoren geschaltet werden können. Mit dem Umschalter  $S_3$  schalten wir die einzelnen Kondensatoren an den Ladewiderstand, der aus dem Festwiderstand  $R_{19}$  und dem Potentiometer  $P_4$  besteht, und stellen damit die Kippfrequenz *grob* – in Stufen – ein. Das Potentiometer  $P_4 = 500\text{ k}\Omega$  dient der *Feineinstellung*. Die Kippfrequenzen betragen in den einzelnen Bereichen 12 bis 45 Hz, 30 bis 130 Hz, 110 bis 450 Hz, 300 Hz bis 1,4 kHz, 1,3 bis 6 kHz, 4 bis 18 kHz, 12 bis 50 kHz und 30 bis 150 kHz, wobei die höchste Frequenz mit dem kleinsten Kondensator erzielt wird.

Im Bild 10.23 ist der eigentliche Kippgenerator noch einmal gesondert dargestellt. Der Kippkondensator sei entladen, die gesamte Betriebsspannung fällt an  $R_E$  ab. Damit ist der Kollektor von T 2 positiver als die mit dem Basisspannungsteiler eingestellte Basisspannung – das entspricht einer negativen Basisvorspannung gegenüber dem Kollektor –, und T 2 ist deshalb gesperrt. Wenn aber über T 2 kein Kollektorstrom fließt, ist auch T 1 gesperrt. In dem Maße, wie die Spannung beim nun folgenden Ladevorgang an  $C_K$  wächst, wird sie über  $R_E$  niedriger, denn die Summe beider Spannungen ist immer gleich der Betriebsspannung. Bei diesem Ladevorgang wird der Kollektor von T 2 ständig weniger positiv und erreicht schließlich den Wert der eingestellten Basisspannung. Sobald der Kollektor um etwa 0,6 V negativer als die Basis wird, öffnet T 2, und es fließt ein Kollektorstrom. Dieser ruft

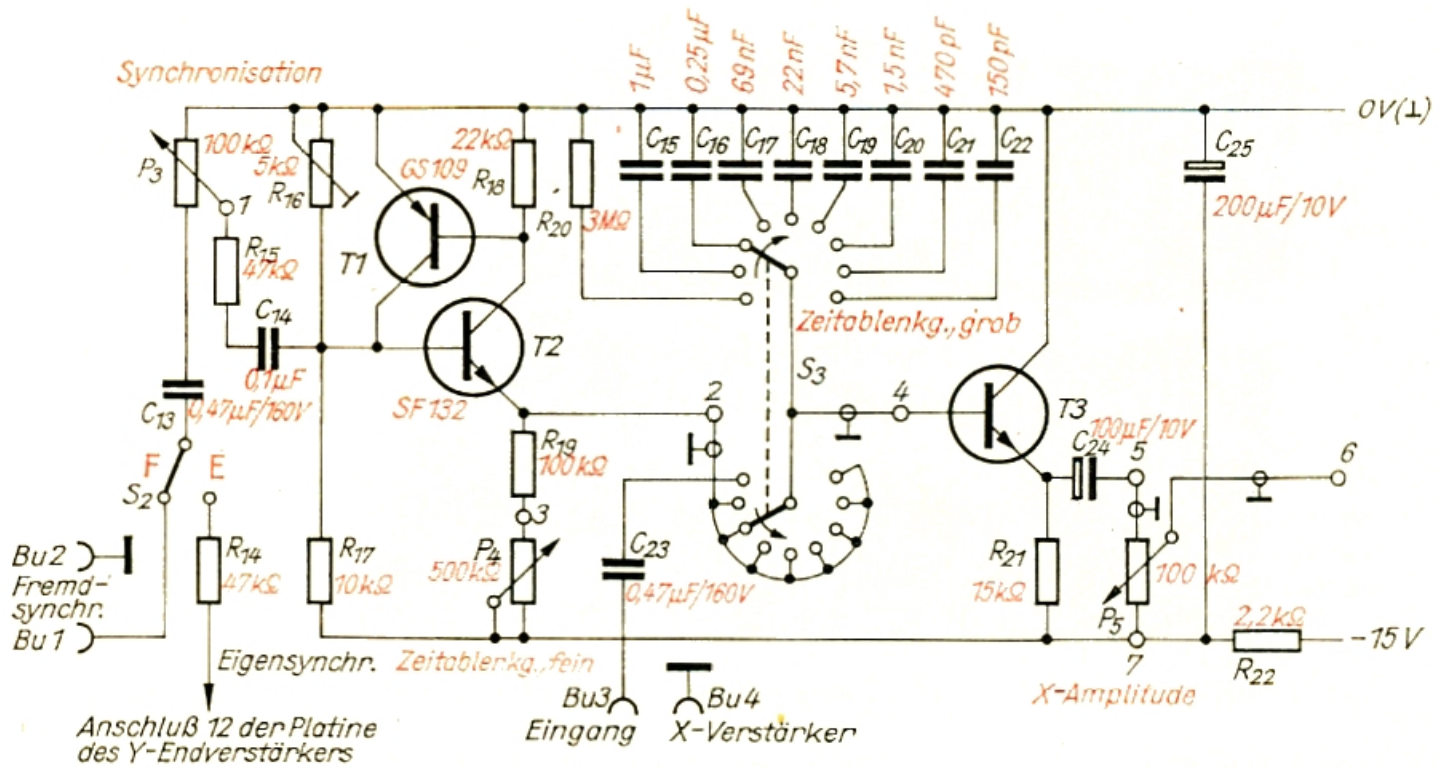


Bild 10.22  
Schaltbild des Kipp-  
generators

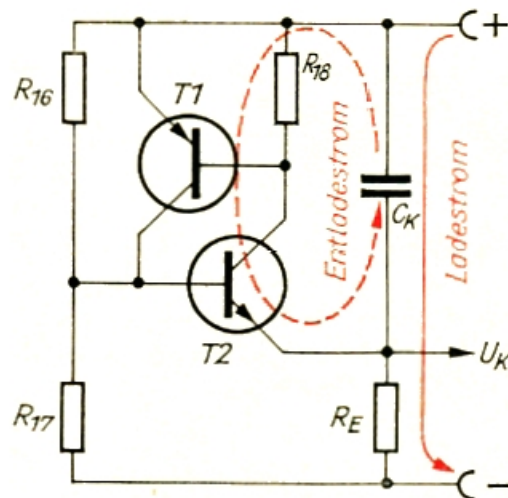


Bild 10.23  
Prinzip des Kipp-  
generators

über  $R_{18}$  einen Spannungsabfall hervor, so daß die Basis von T 1 negativer als dessen Kollektor wird. T 1 öffnet nun ebenfalls und bewirkt seinerseits, daß T 2 vollkommen durchgesteuert wird. Da sich diese Vorgänge sehr schnell abspielen, erfolgt die Entladung von  $C_K$  nahezu augenblicklich, und die Aufladung kann erneut beginnen.

Um die Schirmbildkurve sicher zum Stehen zu bringen, muß sich der Kippgenerator durch die Meßspannung *synchronisieren* lassen. Mit dem Schalter  $S_2$  kann von Eigensynchronisation (E) auf Fremdsynchronisation (F) umgeschaltet werden. Den Synchronisationsgrad stellen wir mit dem Potentiometer  $P_3 = 100 \text{ k}\Omega$  ein.

In der ersten Stellung des Drehschalters  $S_3$  wird sowohl die Verbindung zum Ladewiderstand  $R_{19}$  unterbrochen als auch an Stelle eines Kippkondensators der Widerstand  $R_{20} = 3 \text{ M}\Omega$  eingeschaltet; der Kippgenerator ist dann außer Betrieb. In dieser Stellung kann über die

Buchsen Bu 3 und Bu 4 eine beliebige Spannung von außen angelegt werden. Sie gelangt über  $C_{23}$  an die Basis des Transistors T 3, der in Kollektorschaltung arbeitet. Mit dem Potentiometer  $P_5 = 100 \text{ k}\Omega$  wird der Wert der an den Eingang des Gegentaktendverstärkers gelangenden Wechselfspannung auf den gewünschten Wert eingestellt. Wir wissen bereits, daß die Kollektorschaltung einen hohen Eingangswiderstand hat. Das ist auch der Grund, weshalb wir sie hier einsetzen. Der Basiswiderstand  $R_{20}$  hängt wie bei der Emitterschaltung von der Stromverstärkung und vom Arbeitswiderstand ab. Werfen wir noch einmal einen Blick auf Bild 5.21b. Die Betriebsspannung bezeichnen wir mit  $U_B$  und mit  $U_E$  den Spannungsabfall über  $R_E$ . Für den Basisstrom gilt näherungsweise sowohl  $I_B \approx \frac{I_C}{B}$  als auch  $I_B \approx \frac{U_B - U_E}{R_B}$ , so daß wir zunächst  $\frac{I_C}{B} \approx \frac{U_B - U_E}{R_B}$  – und nach dem gesuchten Widerstand umgestellt –  $R_B \approx \frac{U_B - U_E}{I_C} \cdot B$  erhalten. Damit der Arbeitspunkt der Kollektorstufe in der Mitte des Aussteuerbereiches liegt, darf  $U_E$  nur halb so groß wie  $U_B$  sein:  $U_B = 2 \cdot U_E$ ; die Differenz  $U_B - U_E$  wird dann gleich  $U_E$ . Für  $I_C$  setzen wir  $\frac{U_E}{R_E}$  ein, so daß sich für den Basiswiderstand einer Kollektorstufe  $R_B \approx \frac{U_E \cdot B \cdot R_E}{U_E}$  bzw.  $R_B \approx B \cdot R_E$  ergibt.

In der Schaltung nach Bild 10.22 wurde für T 3 ein Si-Miniplast-Transistor SF 215 mit  $B = 200$  eingesetzt; deshalb ist  $R_B = 200 \cdot 15 \text{ k}\Omega = 3 \text{ M}\Omega$  groß. Der Eingangswiderstand liegt ebenfalls bei  $3 \text{ M}\Omega$ . Sobald mit  $S_3$  der Kippgenerator eingeschaltet wird, liegt diese Kollektorstufe am Kippkondensator, und die Belastung des Generators durch den nachfolgenden Verstärker wird sehr gering gehalten. Das ist wesentlich für eine gute Linearität des Kippspannungsanstiegs und damit der Zeitablenkung.

Die Schaltung des Kippgenerators probieren wir ebenfalls zunächst wieder auf dem Experimentierbrettchen aus; als Endverstärker verwenden wir den bereits fertiggestellten. In die Experimentierschaltung bauen wir jeweils nur einen Kippkondensator ein. Die Bauelemente zur Synchronisation lassen wir weg. Den Abgriff des Einstellwiderstandes  $R_{16}$  bringen wir etwa auf Mitte. Die Größe dieses Widerstandes beeinflußt sowohl die Höhe der Kippspannung als auch die Kippfrequenz. Sollte unsere Experimentierschaltung bei Frequenzen oberhalb  $100 \text{ kHz}$  nicht mehr schwingen, so brauchen wir nicht enttäuscht zu sein. Für die oben angegebenen  $150 \text{ kHz}$  ist ein sehr sorgfältiger Schaltungsaufbau erforderlich, den wir anschließend in gedruckter Schaltung vornehmen. Leitungsführung und Bestückungsplan sind im Bild 10.24 dargestellt. Die Schaltung des X-Endverstärkers entspricht bis auf drei Bauelemente der des Y-Endverstärkers, und es besteht folgende Zuordnung:

Y-Endverstärker	$R_{45} \dots R_{53}$	$R_{54}$	$C_{40}$	$C_{41}$	$C_{42}$	$C_{43}$	T 10 ... T 13
X-Endverstärker	$R_{23} \dots R_{31}$	$R_{32}$	$C_{26}$	$C_{27}$	$C_{28}$	$C_{29}$	T 4 ... T 7
andere Werte	–	– 10k	–	200 pF	–	–	–

Da die Endstufentransistoren mit  $+100 \text{ V}$  betrieben werden und die Kollektorwiderstände  $10 \text{ k}\Omega$  groß sind, stellen wir die Kollektorströme

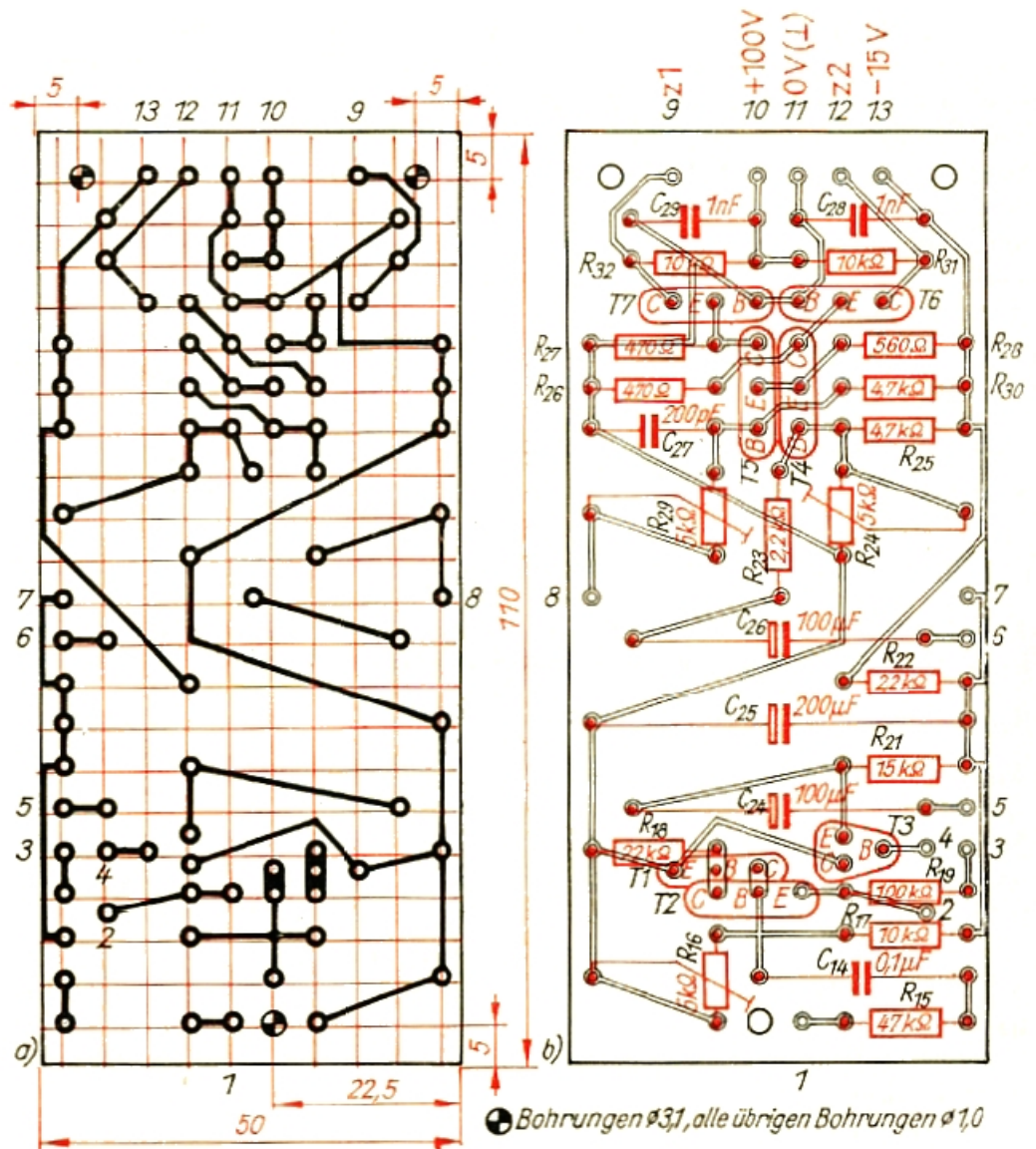


Bild 10.24  
 Leitungsführung (a)  
 und Bestückungsplan  
 (b) des Kippgerätes X

auf  $I = \frac{50 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 5 \text{ mA}$  ein. Nachdem wir die bestückte Platine des Kippgerätes auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft haben, schrauben wir sie und die des Y-Endverstärkers an die Streben. Beide liegen der Platine des Netzgerätes genau gegenüber, die des Kippgerätes befindet sich in Frontplattennähe. Zwischen Platine und Strebe legen wir wieder kleine Pertinaxabstandsstücke unter.

Wie die beiden Platinen anzuschließen sind, geht teilweise aus den Bildern 10.14, 10.17, 10.19b und 10.24b hervor. Bild 10.25 zeigt die Gesamtschaltung des Oszillografen, das wir ebenfalls für die Verdrahtung heranziehen können. Es bedeuten:

- NG Platine des Netzgerätes,
- X Platine des Kippgerätes,
- YV Platine des (noch zu bauenden) Y-Vorverstärkers,
- YE Platine des Y-Endverstärkers; YV und YE bilden den Meßverstärker.

Besondere Aufmerksamkeit widmen wir dem Verlegen der Leitungen zu den Ablenkplatten. Erfolgt dies unsachgemäß, kann es die Funktion des Oszillografen in Frage stellen. Wir erkennen das entweder an einer

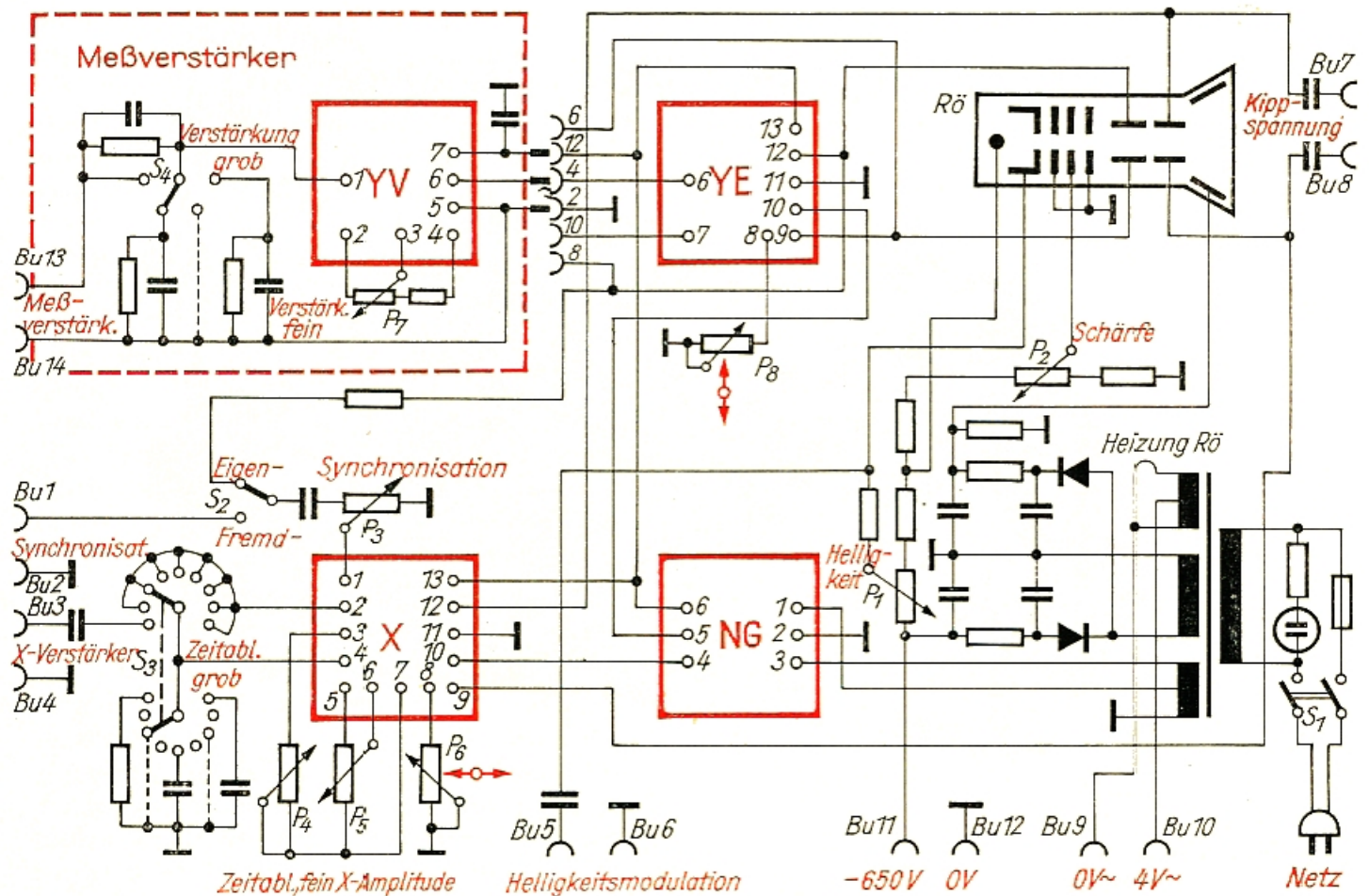


Bild 10.25  
Gesamtschaltbild des  
Oszillografen

gekrümmten, geneigten oder unregelmäßig verformten Zeitlinie. Daran denken wir auch, wenn der eigentliche Meßverstärker angeschlossen wird und wenn wir die beiden Leitungspaare zum Herausführen der Kipp- bzw. der Meßspannung anschließen. Die Leitungen sollen möglichst kurz sein und weit genug voneinander entfernt verlaufen.

Während wir die beiden abgeschirmten Zeitplattenzuleitungen „hinter“ den Leiterplatten unterhalb des Abschirmzylinders zur Röhrenfassung führen, gehen die beiden nicht abgeschirmten flexiblen Meßplattenzuleitungen an der Seite des Abschirmzylinders, aber weit genug von diesem und voneinander entfernt, zur Fassung.

Das Herausfinden der günstigsten Lage der Leitungen kann unter Umständen einige Stunden dauern; diese Zeit müssen wir geduldig aufbringen. *Vor jedem Berühren und Verbiegen der Leitungen schalten wir den Netzschalter aus und ziehen außerdem den Netzstecker aus der Dose.* Das erfordert zwar etwas mehr Zeit, ist aber zur Vermeidung von Unfällen unbedingt notwendig.

Danach führen wir wieder eine Funktionsprobe durch. Für den Abgleich des Kippgenerators ist ein Rechteck- oder Wechselspannungsgenerator von Vorteil, dessen Frequenz sich im Bereich von 10 Hz bis 500 kHz verändern läßt und dessen Spannung wir über Anschluß YE<sub>6</sub> und Masse auf die Meßplatten geben. Sollte trotz aller Versuche die Kipp-schwingung im höchsten Frequenzbereich abreißen, noch bevor wir das Potentiometer P<sub>4</sub> bis zum rechten Anschlag durchgedreht haben, bauen wir in die Leitung vom Umschalter S<sub>3</sub> zum Anschluß X<sub>2</sub> eine kleine Induktivität ein. Auf den Kern eines Dreikammerspulenkörpers wik-

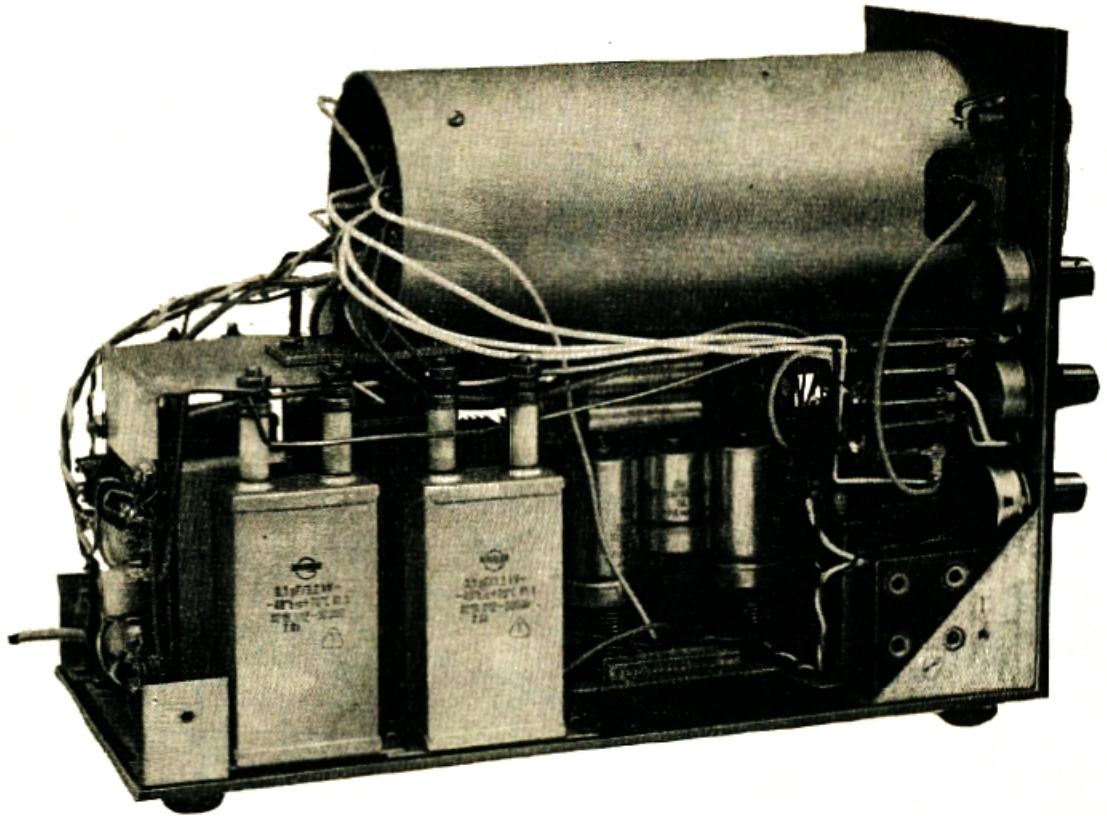


Bild 10.26  
Ansicht des Oszillo-  
grafenaufbaues von  
links

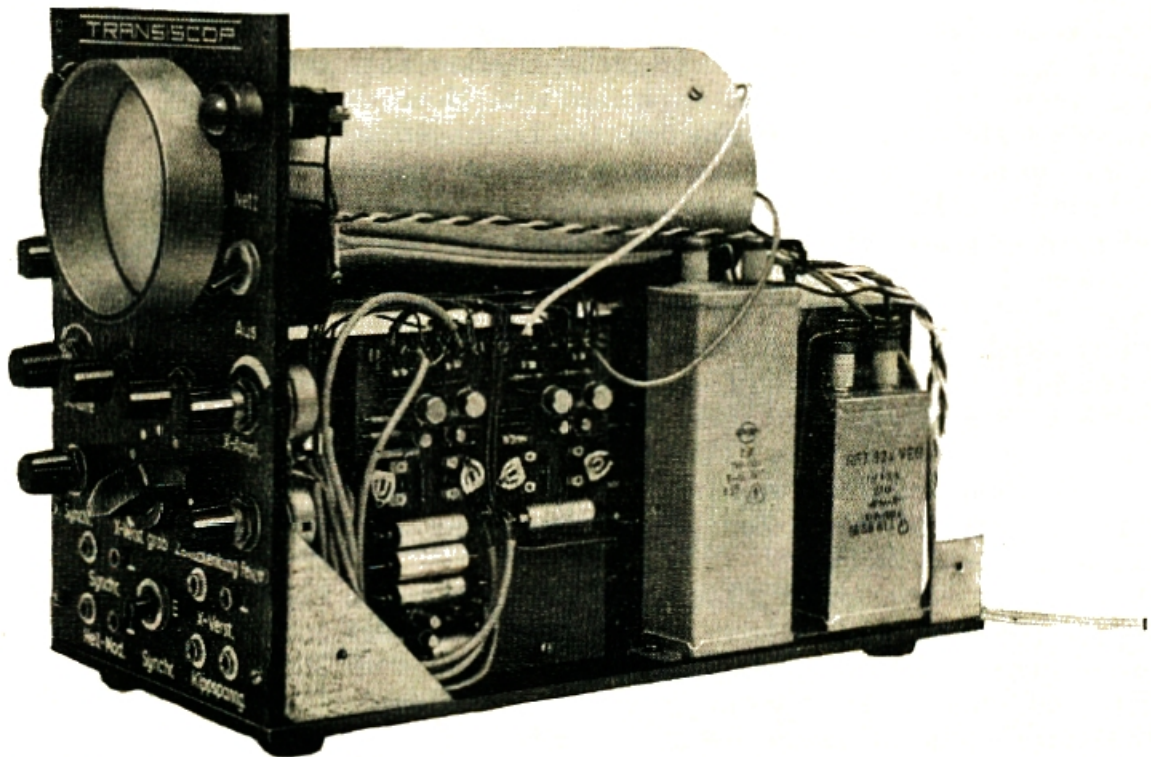


Bild 10.27  
Ansicht des Oszillo-  
grafenaufbaues von  
rechts



keln wir zu diesem Zweck 10 bis 20 Windungen aus 0.2 CuL. Dann stellen wir mit dem Einsteller  $R_{16} = 5 \text{ k}\Omega$  im höchsten Frequenzbereich und bei Rechtsanschlag von  $P_4$  eine Kippfrequenz von 150 kHz ein. Nach diesem Abgleich von  $R_{16}$  müssen sich automatisch etwa die Frequenzbereiche ergeben, die zu Beginn genannt wurden. Wir überzeugen uns davon, indem wir an Eingang  $YE_6$  und Masse eine niedrige Wechselspannung (über Potentiometer  $1 \text{ k}\Omega$ ) legen. Im niedrigsten Frequenzbereich und bei Linksanschlag von  $P_4$  müssen fünf Schwingungen abgebildet werden, die langsam über den Schirm wandern. Geben wir eine Wechselspannung von 5 bis 10 V an den Eingang „Helligkeitsmodulation“, 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. Die Bilder 10.26 und 10.27 vermitteln uns zwei Ansichten des bisherigen Aufbaus unseres Elektronenstrahloszillografen.

## Wir bauen einen Meßverstärker

Aus Bild 10.25 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 um den Vorverstärker handelt) – nicht fest in den Oszillografen eingebaut, sondern über eine Steckverbindung „eingeschoben“ wird. Das ist deshalb vorteilhaft, weil wir später den Oszillografen für unsere Fernsehexperimente verwenden wollen und er dann an Stelle des Meßverstärkers ein zweites Kippgerät erhalten muß. Das Schaltbild des Meßverstärkers entnehmen wir Bild 10.28. Über umschaltbare RC-Kombinationen gelangt die Meßspannung an eine vom Kippgerät bekannte Kollektorstufe mit T 8, die wieder für einen hohen Eingangswiderstand sorgt. Am Potentiometer  $P_7 = 100 \text{ k}\Omega$  stellen wir den Wert der Meß-

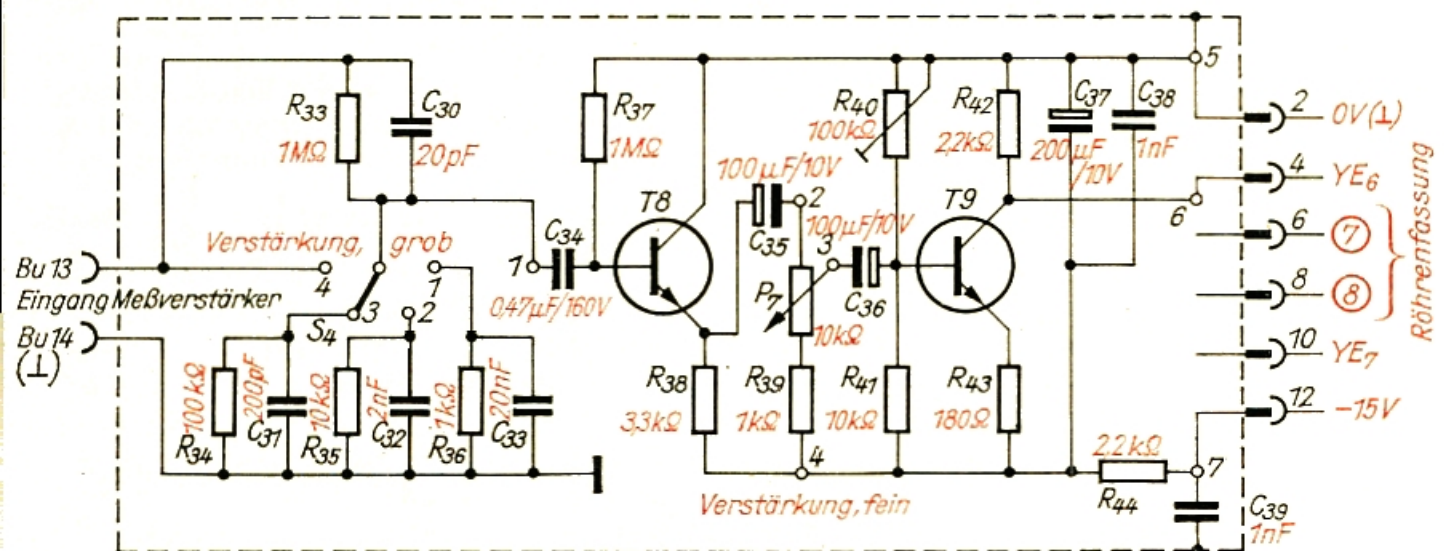


Bild 10.28  
Schaltbild des Meß-  
verstärkers

spannung ein, der dann von der Emittierstufe mit T 9 verstärkt wird, ehe er den Y-Endverstärker ansteuert. Für T 8 und T 9 wurden in der Musterschaltung ausgesuchte Bastel-Miniplast-Transistoren (SF 215) eingesetzt. Die Stromverstärkungen betragen für T 8  $B = 300$  und für T 9  $B = 150$ . Der Kollektorstrom von T 8 beträgt 1,5 mA, den von T 9 stellen wir mit  $R_{39}$  auf 2 mA ein.

### 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 10.29a an den Meßverstärkereingang ebenfalls ein Potentiometer schalten, träten untragbar hohe Meßfehler bzw. Kurvenverzerrungen auf. Das machen wir uns wieder an einem kleinen Rechenbeispiel klar.

Damit die Belastung des Meßobjekts klein bleibt, muß P hochohmig sein, wir nehmen  $P = 1 \text{ M}\Omega$  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 dann

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

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  $C \approx 20 \text{ pF}$  groß, so hat diese einen Wechselstromwiderstand von

$$R_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1 \text{ V}}{2\pi \cdot 10^6 \text{ s}^{-1} \cdot 20 \cdot 10^{-12} \text{ As}} =$$

$8 \text{ k}\Omega$ . Damit ist aber der am Transistoreingang liegende Teilwiderstand  $R_2^*$  nicht mehr  $500 \text{ k}\Omega$  groß, sondern kleiner als  $8 \text{ k}\Omega$ . Während von einer niederfrequenten Spannung immer noch die Hälfte an den

Transistor gelangt, ist es bei der hochfrequenten nur  $\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_2^*}{R_1 + R_2^*} = \frac{8 \text{ k}\Omega}{508 \text{ k}\Omega} = \frac{1}{63}$ .

Dieser für einen Meßverstärker untragbar hohe Fehler läßt sich beseitigen, wenn parallel zum Teilwiderstand  $R_1$  ein Kondensator geschaltet wird (vgl. Bild 10.29b). Dabei muß das Verhältnis der Ohmschen Teil-

widerstände ebensogroß wie das der kapazitiven sein:  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{C1}}{R_{C2}}$ . Hier-

aus 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:

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

In diesem Ausdruck läßt sich  $2\pi \cdot f$  kürzen, und wir erhalten  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_2}{C_1}$ .

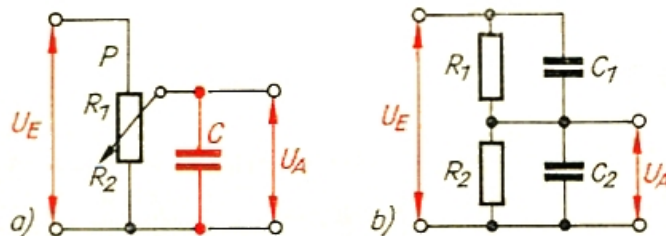


Bild 10.29  
Zum Eingangsspannungsteiler des Meßverstärkers

Da der genaue Wert der Schalt- und Transistorkapazität unbekannt ist, geben wir uns die Kapazität  $C_1 = 20 \text{ pF}$  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  $C_2 = C_1 \cdot \frac{R_1}{R_2} = 20 \text{ pF} \cdot \frac{1000 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega} = 20 \text{ pF} \cdot 10 = 200 \text{ pF}$  betragen. Um das Ver-

hältnis der Teilwiderstände berechnen zu können, brauchen wir zunächst den kapazitiven Widerstand von  $C_2$  für  $1 \text{ MHz}$ . Er beträgt –

bitte nachrechnen! –  $R_{C2} = 800 \Omega$ . Die Gegenüberstellung von  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1000 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega}$  und  $\frac{R_{C1}}{R_{C2}} = \frac{8000 \Omega}{800 \Omega}$  ergibt jetzt Verhältnigleichheit. Der Ge-

samtwiderstand des Spannungsteilers ist zwar kleiner geworden, das Widerstandsverhältnis bleibt jedoch konstant.

Im Bild 10.28 entspricht  $R_{33}$  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  $C_{34}$  an die Basis von T 1. In der dritten beträgt der an T 1 gelangende Spannungsanteil nur noch  $\frac{1}{11}$ , in der zweiten  $\frac{1}{101}$  und in

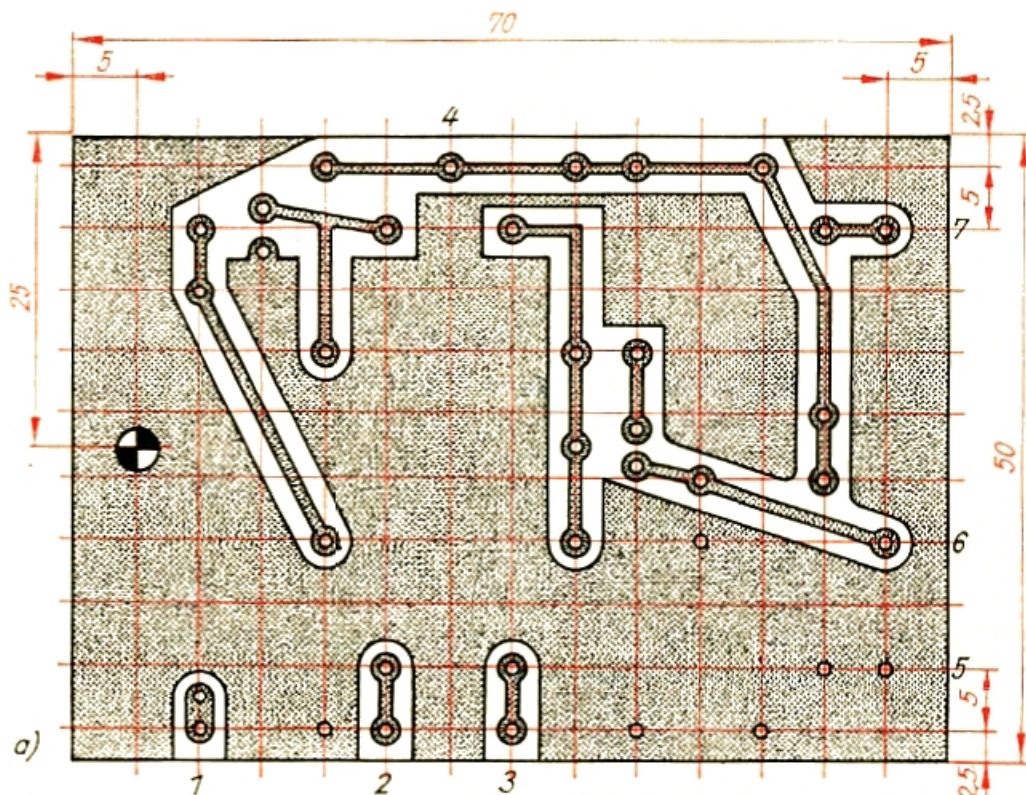
der ersten  $\frac{1}{1001}$  der Eingangsspannung. Bedenken wir weiter, daß

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.

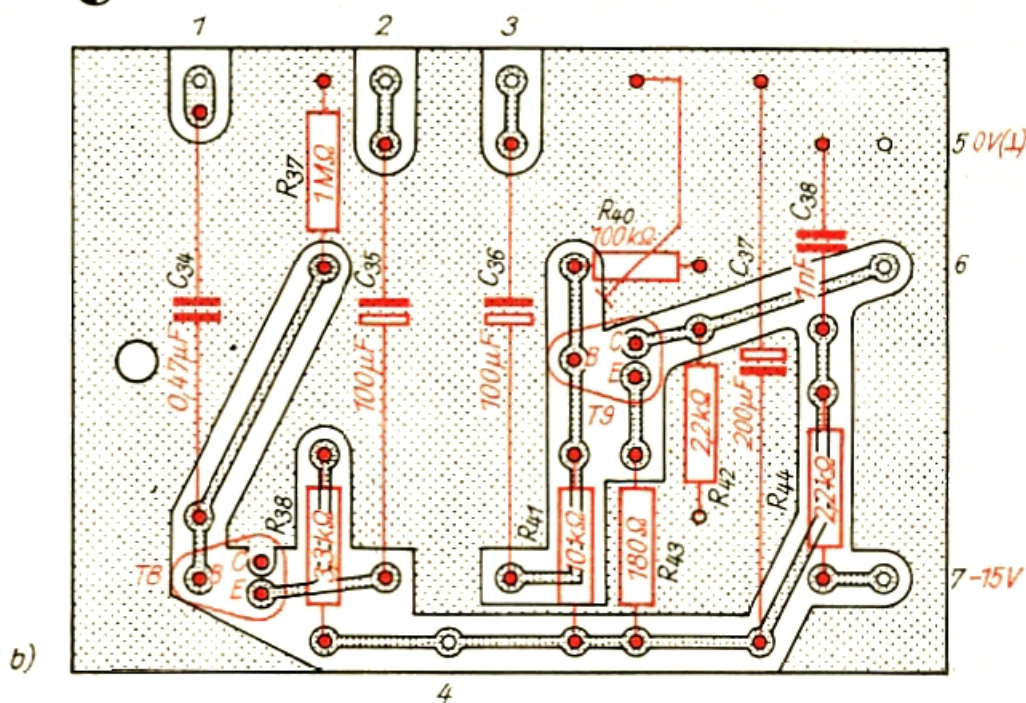
### Der Meßverstärker muß abgeschirmt werden

Nach der Erprobung des Meßverstärkers auf dem Experimentierbrettchen erfolgt wieder der Aufbau auf einer Leiterplatte nach Bild 10.30. 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  $50 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$  für Boden und Deckel, zwei  $50 \text{ mm} \times 72 \text{ mm}$  große Seitenwände, eine  $70 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$  große Frontplatte und eine  $70 \text{ mm} \times 66 \text{ mm}$  große Rückwand. Die Frontplatte bearbeiten wir nach Bild 10.31a. Damit die Telefonbuchse Bu 13

Bild 10.30  
Leitungsführung (a)  
und Bestückungsplan  
(b) des Y-Vorver-  
stärkers YV



Bohrung  $\varnothing 3,1$ , alle übrigen Bohrungen  $\varnothing 1,0$



keinen Kontakt mit dem Kupferbelag bekommt, senken wir die entsprechende Bohrung von der Kupferseite an und legen eine Pertinax-isolierscheibe unter die Mutter; Bu 14 schrauben wir direkt an.

Nach der mechanischen Bearbeitung der Platten verlöten wir fünf davon zum Gehäuse. Eine kleine Holzvorrichtung nach Bild 10.32, in der die Platten ordentlich ausgewinkelt und 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,

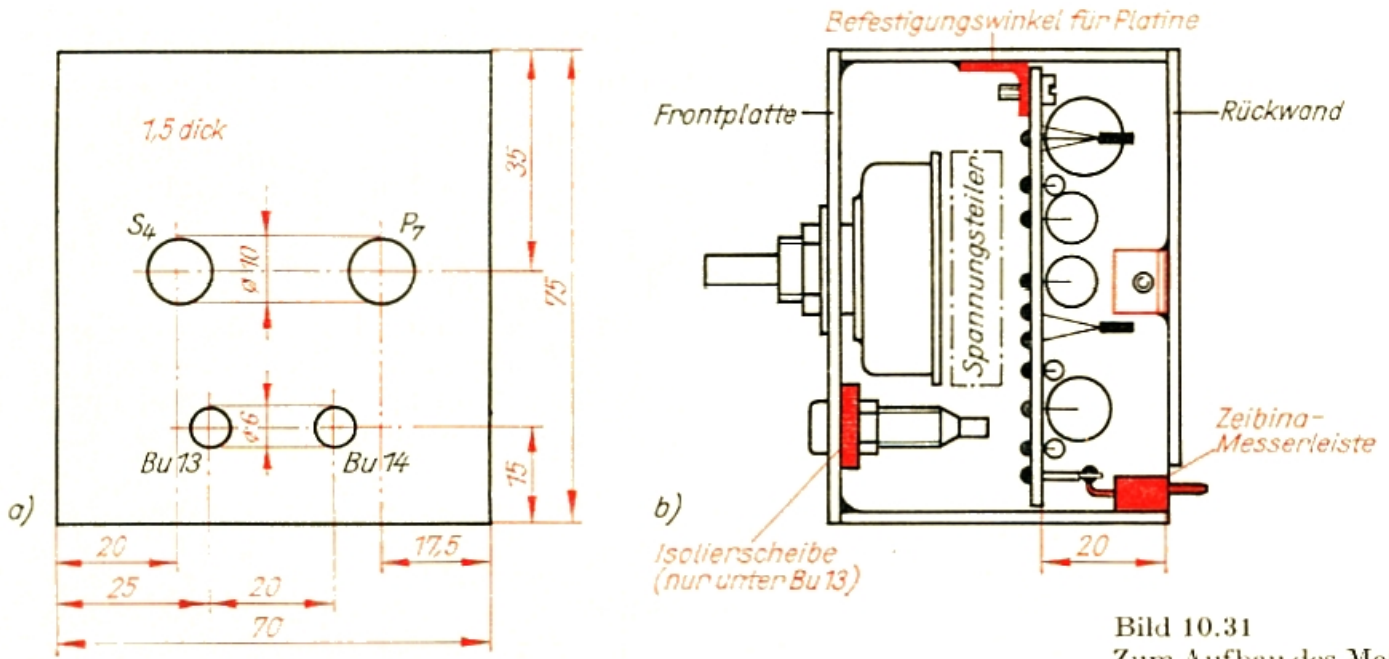


Bild 10.31  
Zum Aufbau des Meß-  
verstärker-Einschubs:  
a) Frontplatte  
b) Querschnitt durch  
das Gehäuse

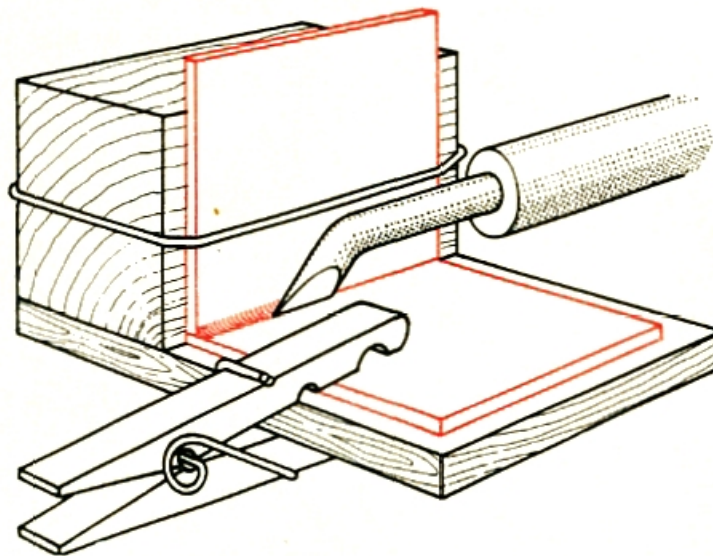


Bild 10.32  
So lassen sich Ge-  
häusekanten exakt  
löten

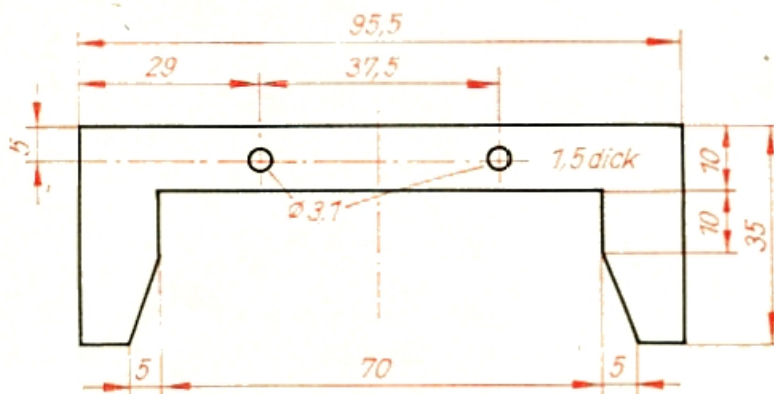
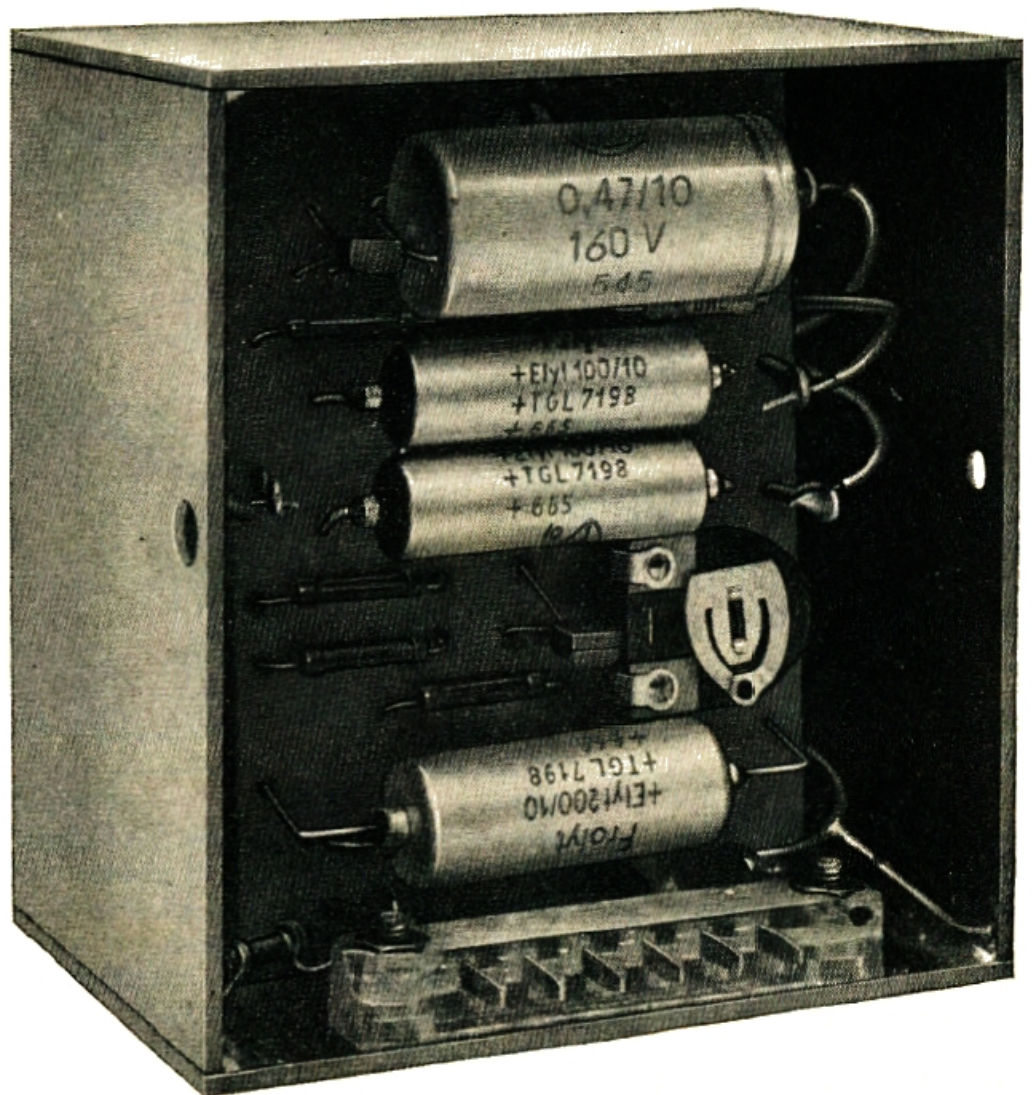


Bild 10.33  
Führungsplatte für  
den Einschub

das wir vorher erst an Abfallstückchen 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 10.31b). Die sechspolige ZEIBINA-Messerleiste ist genau in der Mitte der Bodenplatte anzuordnen; wir schrauben sie mit zwei Senkschrauben M3 an. Die Lötflächen der Messerleiste biegen wir nach oben und löten entsprechend Bild 10.28 die Anschlüsse 5, 6 und 7 der Platine an. Zwischen Anschluß 5 und der Gehäuseinnenseite löten wir eine kurze Drahtbrücke als direkte Masseverbindung und zwischen Anschluß 7 und dem Gehäuse einen Kondensator von 1 nF zur hochfrequenzmäßigen Erdung der Betriebsspannung an. Bild 10.34 gestattet uns 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 diese 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 Ge-

Bild 10.34  
Unser Meßverstärker-  
Einschub



häuselöcher bohren wir auf 3 mm auf, und in die Winkel schneiden wir Gewinde M3. Mit zwei Senkschrauben M3 schrauben wir zum Schluß die Rückwand an das Gehäuse.

Die zur Messerleiste passende Federleiste schrauben wir gemeinsam mit der Führungsplatte (vgl. Bild 10.33) aus 1,5 mm dickem Platinenmaterial bei N 1 und N 2 am Grundbrett des Oszillografen fest. Bild 10.28 gibt an, wo die Fahnen der Federleiste anzuschließen sind. Die Federn 6 und 8 verbinden wir auf kürzestem Wege mit den Anschlüssen 7 und 8 der Bildröhrenfassung. Diese Leitungen dürfen nicht in die Nähe der Zeitplattenleitungen kommen und dürfen auch nicht gegenseitig koppeln. Für den Masseanschluß legen wir eine besondere Leitung vom Transformator zur Feder 2.

Zum Meßverstärker gehört auch unbedingt ein abgeschirmtes Zuleitungskabel. Dafür nehmen wir aber nicht das dünne Abschirmkabel, das wir für die Leitungen des Kippgerätes im Oszillografen verwendet haben, sondern sogenanntes Koaxialkabel, wie es auch teilweise für Fernsehantennenleitungen üblich ist. Aus Bild 10.35 ist ersichtlich, wie wir die Enden des Koaxialkabels bearbeiten und dann je zwei kurze flexible Leitungen anlöten. Zuerst bringen wir die rote Leitung an, dann umwickeln wir die Lötstelle mit so viel Isolier- oder Lenkerband, bis die Dicke etwa mit der des Abschirmgeflechtes übereinstimmt. Anschließend löten wir die Masseleitung an und isolieren das ganze noch einmal. Die Masseleitung an dem Ende unserer Meßleitung, das wir am Meßobjekt anschließen, soll etwa 15 cm lang sein.

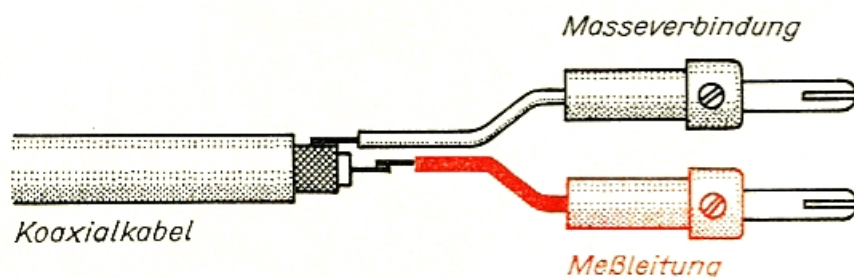
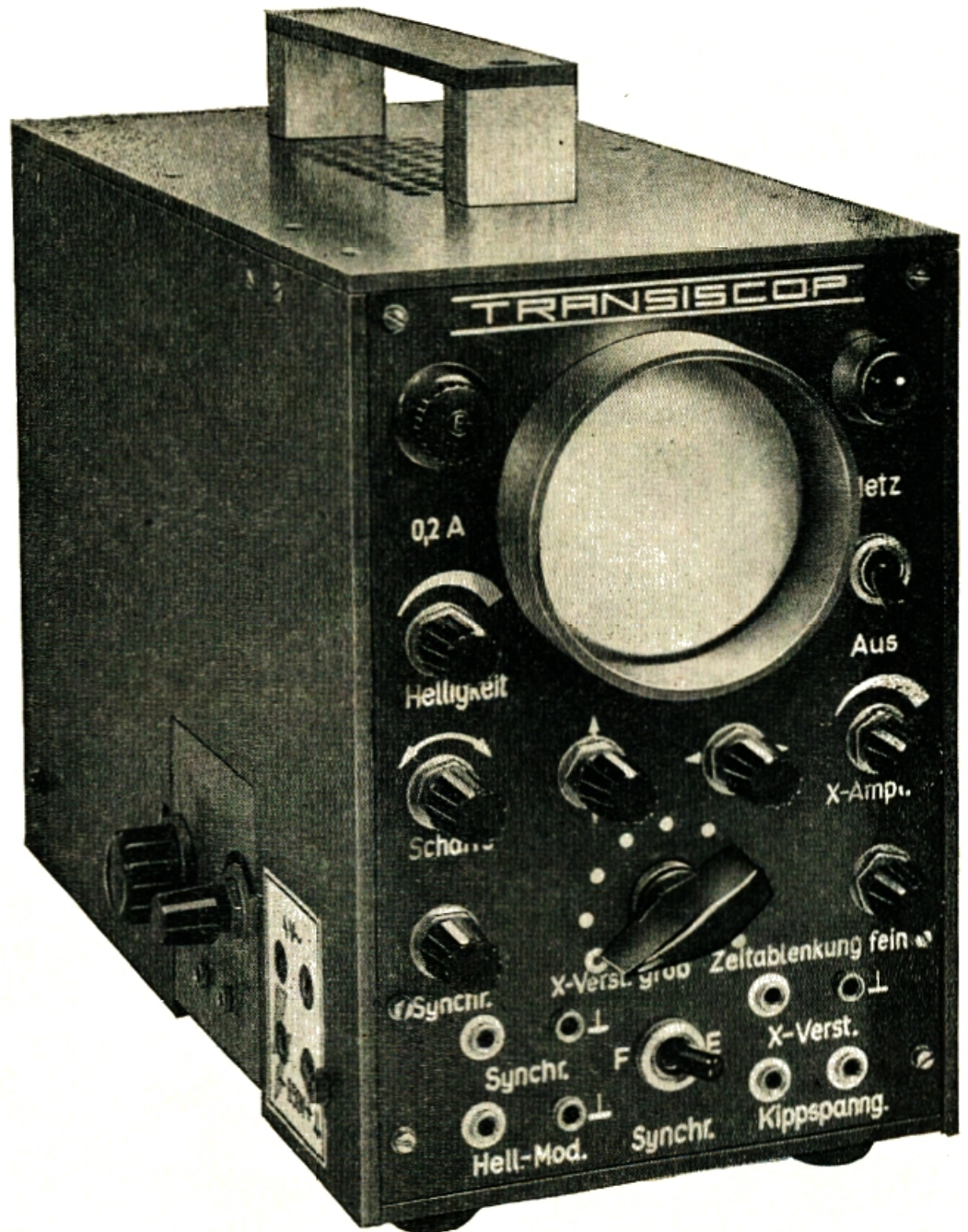


Bild 10.35  
Zum Bau der Meßleitung

Nach der letzten Funktionsprobe, bei der die Massebuchse Bu 14 des Meßverstärkers geerdet und unter Umständen noch diese oder jene Leitungsführung korrigiert werden muß, bauen wir das Gehäuse des Oszillografen. Als prinzipielles Vorbild dient uns dabei das Gehäuse unseres Stromversorgungsgerätes nach Bild 3.20. 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 9 bis Bu 12 vergessen. Um einen Wärmestau im Oszillografen zu vermeiden, erhalten der Deckel und eine Seitenwand eine Reihe von Belüftungsbohrungen. Außerdem bringen wir am Deckel einen Tragegriff an. Bild 10.36 zeigt unseren nunmehr betriebsbereiten Elektronenstrahloszillografen.

Um uns abschließend eine Vorstellung von der Verstärkung unseres Meßverstärkers zu verschaffen, legen wir über ein Potentiometer eine niedrige Wechselspannung von unserem Stromversorgungsgerät an seinen Eingang. Das Kippgerät schalten wir ab, das Potentiometer des

Bild 10.36  
 Unser Elektronen-  
 strahloszillograf



Meßverstärkers ist voll aufgedreht, und der Schalter des Eingangsspannungsteilers steht in Stellung 2. Jetzt gelangt rund  $\frac{1}{100}$  der anliegenden Spannung an den Verstärker. Wir stellen nun am zusätzlichen Potentiometer eine solche Wechsellspannung ein, daß die senkrechte Strahlauslenkung genau 4 cm beträgt, und messen die eingestellte Spannung. Liegt diese bei 2,7 V, gelangen an den Verstärkereingang 0,027 V. Wir erinnern uns, daß zur gleichen Strahlablenkung bei direktem Anschluß der Meßplatten 24 V Wechsellspannung notwendig waren, und berechnen daher eine Spannungsverstärkung von  $\frac{24 \text{ V}}{0,027 \text{ V}} \approx 900$ . Dieser Wert ist für das spätere Ermitteln der Größe von niedrigen Eingangsspannungen wichtig.