

# Röhren- Kopfhörer- verstärker der Spitzenklasse

Nur wenigen Zeitgenossen ist es vergönnt,  
Musik mit der Lautstärke aus  
ihren Anlagen zu schmettern, die weitgehend  
der Originaldarbietung entspricht.  
Nicht mangels Technik, sondern  
dank der Nachbarn beschränkt  
sich die Lautsprecherwiedergabe zumeist  
auf einen Kompromiß zwischen  
Straßenlärmübertönung und Rücksicht  
auf die Mitmenschen.



Wem das nicht gefällt, dem bleiben nicht viele Möglichkeiten.  
Umzug in ein Haus weitab der Zivilisation  
— oder ein Kopfhörer. Die zweite Möglichkeit ist die billigere,  
und sie bietet sogar noch einen zusätzlichen Vorteil:  
Es gibt wohl kaum eine Box, die es in puncto Qualität  
mit einem Kopfhörer aufnehmen könnte.

Der Tatsache, daß Kopfhörer zu den besten Schallwandlern gehören, wird von den meisten Herstellern von Stereoanlagen kaum Beachtung geschenkt. Zwar besitzen fast alle Verstärker einen Kopfhörerausgang, jedoch stellt dieser in seiner technischen Ausführung meist einen sehr schlechten Kompromiß dar.

## Schlicht, schlecht und einfach

Üblicherweise wird der Kopfhörer einfach parallel zu den Lautsprecherklemmen angeschlossen, wobei der Lautsprecher wahlweise abgeschaltet werden kann. Da es Kopfhörersysteme von 8 bis 2000 Ohm Impedanz gibt, legt man einen Widerstand von etwa 300 Ohm in die Zuleitung des Kopfhörers, der bei 8-Ohm-Systemen eine Überlastung durch zu hohe Spannung am Lautsprecherausgang verhindert,

der aber andererseits beim Anschluß von hochohmigen Systemen keinen nennenswerten Spannungsabfall verursacht.

Soweit funktioniert die Sache recht gut. Leider vergißt man zu oft, daß ein dynamischer Kopfhörer, ebenso wie ein Lautsprecher, eine Bedämpfung durch den niedrigen Innenwiderstand des Verstärkerausgangs benötigen. Der erwähnte Serienwiderstand verhindert das konsequent.

Ein weiterer Mangel dieser Lösung liegt in der meist zu niedrigen Versorgungsspannung von Lautsprecherverstärkern. HiFi-Kopfhörer sind fast ausschließlich hochohmig (600—2000  $\Omega$ ) und brauchen eine entsprechend hohe Spannung zur Aussteuerung. Die für niederohmige Lautsprecherlasten konzipierten Endstufen können hier nicht mithalten.

Die Konsequenz ist also ein separater Kopfhörerverstärker.

## Aufwand, der sich lohnt ...

Ein Lautsprecherverstärker soll mit sehr niedrigem Innenwiderstand eine sehr niederohmige Last mit relativ kleinen Spannungen und hohen Strömen versorgen, eine Aufgabe, die dem Transistor auf den Leib geschneidert ist.

Wir aber wollen, zwar auch mit niedrigem Innenwiderstand, eine relativ hochohmige Last mit vergleichsweise hohen Spannungen bei geringen Strömen versorgen. Das geht natürlich auch mit Transistoren. Wir erinnerten uns aber an ein Bauelement, das die älteren unter uns noch in guter Erinnerung haben.

## Die Röhre kommt . . .

Für den oben geschilderten Aufgabenkatalog ist eine Röhrenbestückung geradezu ideal. Hohe Versorgungsspannung ist für Röhren eine Notwendigkeit, also können sie auch hohe Signalamplituden verarbeiten. Da die Last hochohmig ist, kommt man ohne den bei Lautsprecherbetrieb unvermeidlichen Ausgangsrafo aus. Das führt zu einer eisenlosen Röhrenendstufe allerhöchster Qualität, die den meisten Transistorverstärkern weit überlegen ist.

## . . . der Transistor bleibt.

Nun haben wir die Halbleiter allerdings nicht ganz verbannt. Dort, wo Röhren ihre Schwachstellen haben — sie unterliegen gewissen Fertigungstoleranzen, und sie zeigen als stark thermisch belastete Bauelemente eine relativ starke Alterung —, übernehmen Halbleiterbauelemente die Aufgabe, die Arbeitspunktschwankungen zu kontrollieren und auszuregeln.

Häufig erfährt man beim Anschluß eines Kopfhörers an den Ausgang eines bislang für hervorragend eingestuftem Lautsprecherverstärkers, was außer Musik noch so alles ankommt. Es rauscht, brummt, prasselt und zischt . . . und der Lautsprecher merkt von alledem nichts.

Kopfhörer sind naturgemäß wesentlich empfindlichere Wandler als Lautsprecher. Selbst geringste Rausch- und Brummspannungen werden von ihm gnadenlos zu Ohr gebracht. Die Anforderungen an einen Kopfhörerverstärker sind entsprechend hoch.

## Kann sich hören lassen

Die vorgestellte Schaltung, die von Helmut Becker entwickelt und zum Patent angemeldet wurde (P 3200 517.2), zeigt auch hier ein hervorragendes Verhalten. Beim Vergleich mit dem P 3090 von Onkyo stellte sich recht schnell heraus, daß es keine wesentlichen Unterschiede zu der weitaus kostspieligeren Referenz gab. Zusammen mit dem dynamischen Kopfhörer DT 880 Studio von Beyer reproduzierte der Verstärker alles, was in den Rillen steckte, sauber und natürlich. Untadelig brachte er dynamische Passagen und getragene Stellen. Solostimmen und Orchester kamen sehr verfärbungsarm.

In Kurzform noch einmal die Pluspunkte des Schaltungskonzepts:

- hervorragende meßtechnische Daten (siehe unten)
- klanglich ausgewogener, konturen-scharfer, kräftiger Sound
- hohe Dynamik, damit CD-tauglich
- hoher Dämpfungsfaktor, niedrigster Innenwiderstand
- eisenlose Anpassung an Impedanzen zwischen 30 und 3000 Ohm
- erweiterbar mit Vorverstärker und damit Ausbau zum Linear-Vollverstärker

## Die Schaltung

Wie aus der Prinzip-Schaltung (Bild 1) hervorgeht, liegen die beiden Endröhren gleichspannungsmäßig in Serie, so

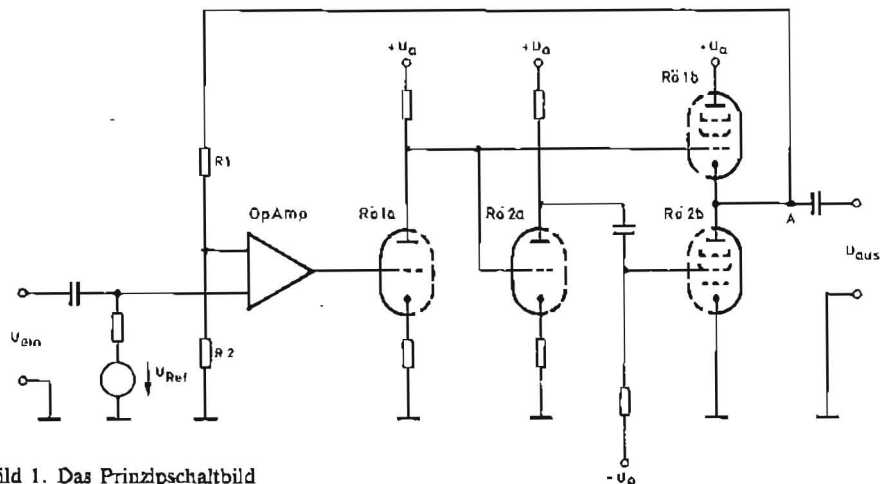


Bild 1. Das Prinzipschaltbild

daß sich die zur Verfügung stehende Versorgungsspannung auf beide Röhren verteilt.

Um eine unnötig hohe Betriebsspannung zu vermeiden, mußten Röhren zum Einsatz kommen, die noch bei einer Anodenspannung von etwa 150 V kräftige Ströme erlauben. Da die Palette der NF-Röhren durchweg auf hohe Anodenspannungen abgestimmt ist, fiel die Wahl auf einen Röhrentyp, der noch vor etwa zehn Jahren zur Standardbestückung von Fernsehgeräten gehörte.

Die Triode-Pentode PCL 805 erfüllt die obengenannten Anforderungen, hat aber in anderer Hinsicht gravierende Nachteile, die im übrigen Schaltungskonzept berücksichtigt und eliminiert werden müssen. So wird zum Beispiel das relativ starke Heizungsbrum-

men dieses Röhrentyps durch eine Regelschaltung wirkungsvoll unterdrückt und die stark gekrümmte Steuergitter-Kennlinie kompensiert.

Bild 1 verdeutlicht das Schaltungsprinzip, das auf drei Funktionsgruppen beruht:

- Referenzspannungsquelle als Bezugspunkt für alle Regelgrößen
- Operationsverstärker als Regelglied
- Röhrenendstufe

## Die Röhrenendstufe

Die Röhren 2 und 3 liegen gleichspannungsmäßig in Serie und werden damit vom gleichen Strom durchflossen. Sorgt man dafür, daß an beiden Röhren ein gleich großer Spannungsabfall auftritt, so ergibt sich eine maximale Aussteuerungsmöglichkeit.

Röhre 1b arbeitet in Anodenbasis-Schaltung, während Röhre 2b in Kathodenbasis-Schaltung eingesetzt wird. Die negative Gittervorspannung von Röhre 2b legt den Arbeitspunkt der Endstufe fest. Zweckmäßigerweise wählen wir den Arbeitspunkt für den AB-Betrieb.

Die Röhren 1a, 2a dienen als Treiberstufen und sorgen gleichzeitig für die gegenphasige Ansteuerung beider Endröhren. Steigt die Gitterspannung an Röhre 2b, so muß die Gitterspannung an Röhre 1b sinken — und umgekehrt. Dabei verschiebt sich das Spannungspotential am Verbindungspunkt A zwischen den Röhren 1b und 2b. Die gesamte Anordnung wirkt wie ein elektronisches Potentiometer, das zwischen Masse und Versorgungsspannung gelegt ist und dessen Abgriff auf den Ausgangselko C2 führt.

# Röhren- Kopfhörerverstärker

## Der Operationsverstärker

Die Aufgaben des Operationsverstärkers sind:

- Kontrolle der Arbeitspunkte des gleichstromgekoppelten Verstärkers
- Kontrolle des zu verarbeitenden NF-Signals

Um die Arbeitspunkte aller Verstärkerstufen von einer Stelle aus zu überwachen, ist eine galvanische Kopplung notwendig. Wie aus Bild 1 hervorgeht, ist das für die Röhrensysteme R0 1a, 2a, 1b der Fall. Der Arbeitspunkt von R0 2b wird allein durch die negative Gittervorspannung festgelegt. Dabei stellt sich für R0 2b ein bestimmter Innenwiderstand ein. Das Spannungspotential, das sich dabei am Punkt A ergibt, wird mit R1 und R2 herabgeteilt und vom OpAmp mit der Referenzspannung  $U_{Ref}$  verglichen. Die Ausgangsspannung des OpAmps wird nun die Arbeitspunkte der Röhren R0 1a und R0 1b so lange verschieben, bis die Spannungen am invertierenden und am nichtinvertierenden Eingang des OpAmps übereinstimmen. Die Referenzspannung  $U_{Ref}$  am invertierenden Eingang des OpAmps bestimmt also das Spannungspotential am Punkt A.

Wählt man  $U_{Ref}$  gerade so, daß am Punkt A die halbe Versorgungsspannung  $U_a$  liegt, so haben die beiden Endröhren gleiche Innenwiderstände, in beiden wird die gleiche Verlustleistung umgesetzt, und die Aussteuerbarkeit erreicht ihr Maximum.

Aus Bild 1 geht weiterhin hervor, daß der Referenzspannung die NF-Eingangsspannung überlagert ist. Die Arbeitspunkte werden sich also bei Aussteuerung im Rhythmus der Eingangsspannung in dem Sinne verschieben, daß am Ausgang des Verstärkers ein getreues Abbild des Eingangssignals entsteht — allerdings um das Widerstandsverhältnis von R1 und R2 verstärkt.

Die recht aufwendige Regelschaltung verleiht der Schaltung einige bemerkenswerte Eigenschaften. Ein Problem bei Röhrenschaltungen ist das Heizungsbrummen. Der Wechselstrom, der durch den Heizfaden der Röhre fließt, hat ein magnetisches Feld zur Folge, das natürlich auch die Kathode durchdringt und zu einer 50-Hz-Modulation des Anodenstroms führen kann.

Da bei dem beschriebenen Schaltungskonzept eine solche Brummstörung innerhalb des Regelkreises auftritt, wird sie weitgehend ausgeglichen, wenn nur die Referenzspannung sauber und brummfrei ist. Diese Voraussetzung läßt sich jedoch sehr leicht durch gute Siebung und Glättung mit einem Festspannungsregler erfüllen. Geräuschspannungsabstände von 130 dB (A) sind auf diese Weise realisierbar.

Ein weiterer Vorteil des Schaltungskonzeptes ist die vollständige Kompensation der Kennlinienkrümmung der eingesetzten Röhren. Fertigungsbedingte Toleranzen und alterungsbedingte Verschiebungen werden selbsttätig ausgeglichen. Außerdem sorgt die Regelung, die wechsellastmäßig einer starken Gegenkopplung entspricht, für einen äußerst geringen Innenwiderstand des Ausgangs.

## Netzteil

Obwohl der Verstärker mit seiner gemischten Bestückung eine Vielzahl verschiedener Versorgungsspannungen benötigt, kommt der Netztrafo mit zwei Sekundärspannungswicklungen aus.

Zur Erzeugung der Anodenspannung reicht eine Wicklung mit 250 V und

100 mA Belastbarkeit zur Versorgung einer Stereo-Endstufe. Die zweite Wicklung erzeugt die Heizspannung für die Röhren. Die PCL 805 benötigt 18 V bei 300 mA Heizstrom. Da je zwei Röhren in Serie geschaltet sind, ist eine Trafospaltung von 36 V mit 0,7 A Belastbarkeit zu wählen.

Aus dieser Wicklung werden ebenfalls die positive und negative Versorgungsspannung des OpAmps sowie die negative Gittervorspannung für R0 2b und die positive Referenzspannung  $U_{Ref}$  abgeleitet.

## Aufbau

Leider ließ sich bei der Entwicklung der Schaltung eine doppelseitige Platine nicht umgehen. Aus diesem Grunde bleibt eine Selbstherstellung dem erfahrenen Ätzer vorbehalten.

Bei der Bestückung beginnt man zweckmäßigerweise mit dem Netzteil. Alle Bauelemente, die der Spannungsversorgung dienen, sind einzulöten. Dazu gehören der Gleichrichter G11, die Dioden und Z-Dioden D1—4 und D11, die Kondensatoren C1—14, die Widerstände R1—5, das Trimpoti P1, der Festspannungsregler IC1 sowie die beiden Sicherungen Si 1,2.

Bevor Sie nun den Trafo anschließen und die Spannungen überprüfen, ein

## Technische Daten (gemessen am Fertigerät)

Ausgangsleistung	3,4 W an 100 $\Omega$
RMS an 1 kHz 1% Kges.	6,6 W an 600 $\Omega$
Klirrfaktor	0,007% an 100 $\Omega$
1 kHz/100 mW	0,004% an 600 $\Omega$
Intermodulation	0,008 an 100 $\Omega$
600/6000 Hz, 4:1	0,005 an 600 $\Omega$
Leistungsbandbreite	2 Hz—120 kHz an 100 $\Omega$
—3 dB	1 Hz—140 kHz an 600 $\Omega$
Dämpfungsfaktor	$> 10^4$
Eingangsempfindlichkeit	0,2 V für 1 Watt an 100 $\Omega$
	0,5 V für 1 Watt an 600 $\Omega$
Eingangsimpedanz	100 k $\Omega$ (ohne Lautstärkepoti)
Geräuschspannungsabstand	113 dB (A), 50 mW an 600 $\Omega$
	138 dB (A), 2 W an 600 $\Omega$
Ausgangsspannung	80 V (RMS)
Anstiegszeit (40 V an 600 $\Omega$ )	80 V/ $\mu$ s
Leistungsausgang	2—3 dyn. Hörer (Imp. ca. 400 $\Omega$ )
Netzanschlußwert	220 V/50 Hz, 40 VA

Wort zum Umgang mit hohen Spannungen: Die Anodenspannung des Gerätes beträgt über 300 V! Das ist ein Wert, der unter Umständen ausreicht, Sie in die ewigen Jagdgründe zu



schicken. Arbeiten Sie am eingeschalteten Gerät nur, wenn es sich gar nicht vermeiden läßt und dann mit äußerster Vorsicht. Bedenken Sie vor allem, daß nach dem Ausschalten des Gerätes die Spannungen an den Hochvolt-Elkos C14, 24, 24', 25, 25', 26, 26' noch lange Zeit erhalten bleiben. Bevor Sie also, auch beim ausgeschalteten Gerät, mit beiden Händen herzhaft zufassen, sollten Sie die genannten Kondensatoren entladen. Das geschieht über einen Widerstand 1 k, 4 W, keinesfalls durch Kurzschluß, denn ein Elko mag es nicht gerne, wenn er kurzzeitig Ströme von über 10 A liefern muß.

Schalten Sie nun das Gerät ein und überprüfen Sie die Spannungen gegen Masse:

an C14 etwa +315 V  
an C4 -18 V

an C8 +22 V  
an C10 +12 V  
an C12 +6 V

Die Spannung an C13 wird zunächst mit dem Spindeltrimmpoti P1 auf etwa 3,5 V eingestellt.

Stimmen die Spannungswerte, so können Sie nach dem Abschalten des Gerätes und nach Entladung des Elkos als nächstes die Röhrensockel einlöten und die Röhren einsetzen, um sich anschließend von der Funktion der Heizfäden zu überzeugen. Nach dem Einschalten des Gerätes sollte nach wenigen Sekunden der glühende Heizdraht am oberen Ende des Röhreninnenlebens sichtbar werden.

Nach erneutem Abschalten und Entladen beginnt nun die weitere Bestückung. Sind alle Bauelemente eingelötet, kann der Verstärker in Betrieb genommen und abgeglichen werden. Dazu wird die Spannung an C26 oder C26' gemessen. Sie sollte zunächst zwischen 100 und 250 Volt liegen und kann nun mit P1 auf etwa 160 Volt eingestellt werden.

Schließt man jetzt den NF-Eingang kurz und überprüft das Ausgangssignal mit einem Oszilloskop, so sollte außer einem sehr kleinen Rauschsignal nichts zu sehen sein. Die gleiche Prüfung wird beim zweiten Kanal durchgeführt.

Zur Einstellung der Symmetrie legt man ein 1-kHz-Sinussignal an den Verstärkereingang. Der Ausgang wird dabei mit einem Widerstand 390  $\Omega$ , 4 W belastet und das Ausgangssignal mit dem Oszilloskop überwacht. Nun erhöht man die Eingangsspannung so lange, bis auf dem Bildschirm die Begrenzung der Ausgangsspannung sichtbar wird. Durch geringes Nachstellen von P1 wird der Arbeitspunkt soweit verschoben, bis die Begrenzung bei positiver und negativer Halbwellen gleich wird. Bis kurz vor Einsatz der Begrenzung darf keine Verzerrung der Sinusform sichtbar sein.

Sollten Sie kein Oszilloskop zur Verfügung haben, so können Sie sich damit begnügen, die Spannung an C26, 26' auf die halbe Anodenspannung zu bringen. □

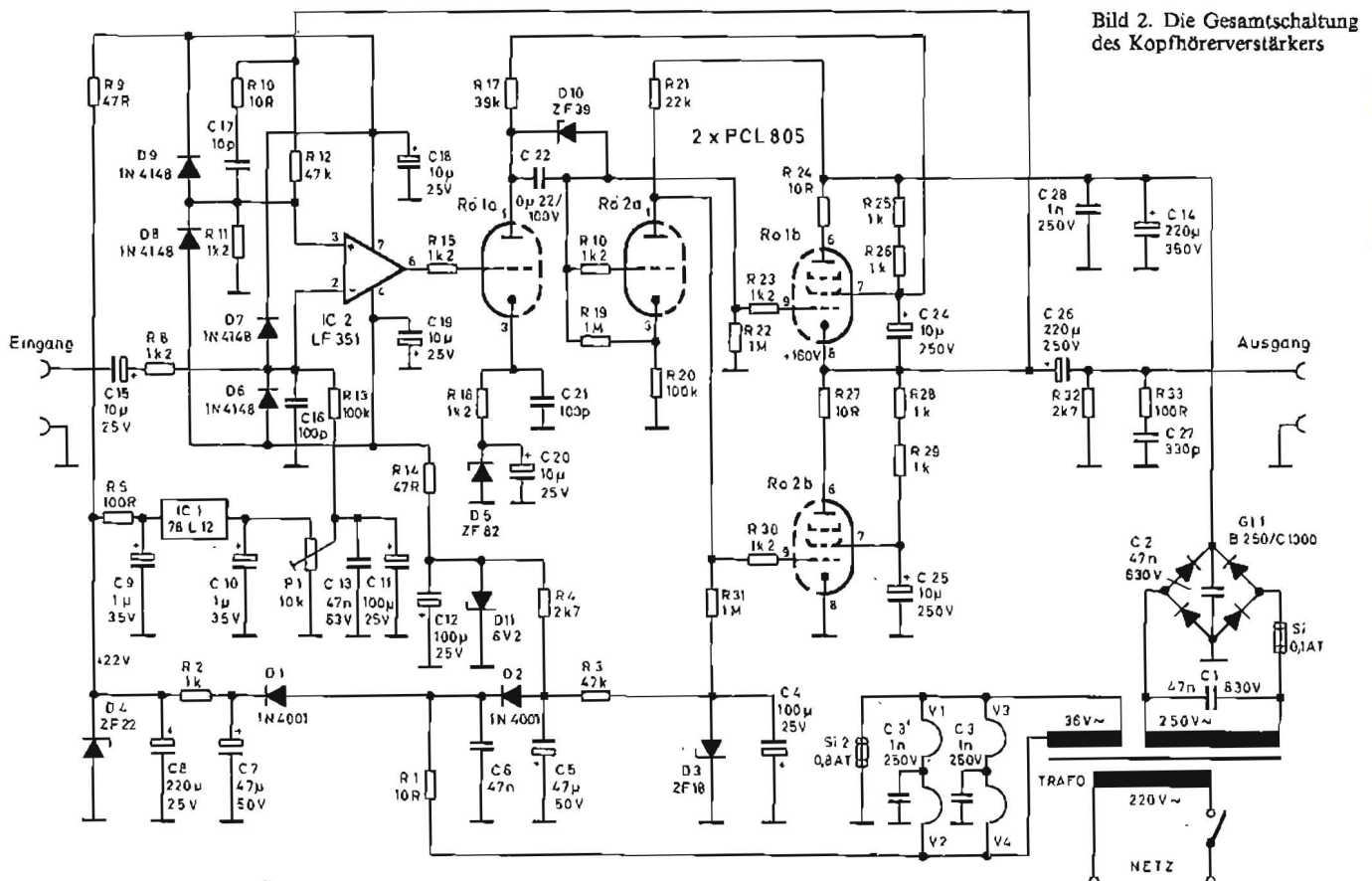


Bild 2. Die Gesamtschaltung des Kopfhörerverstärkers

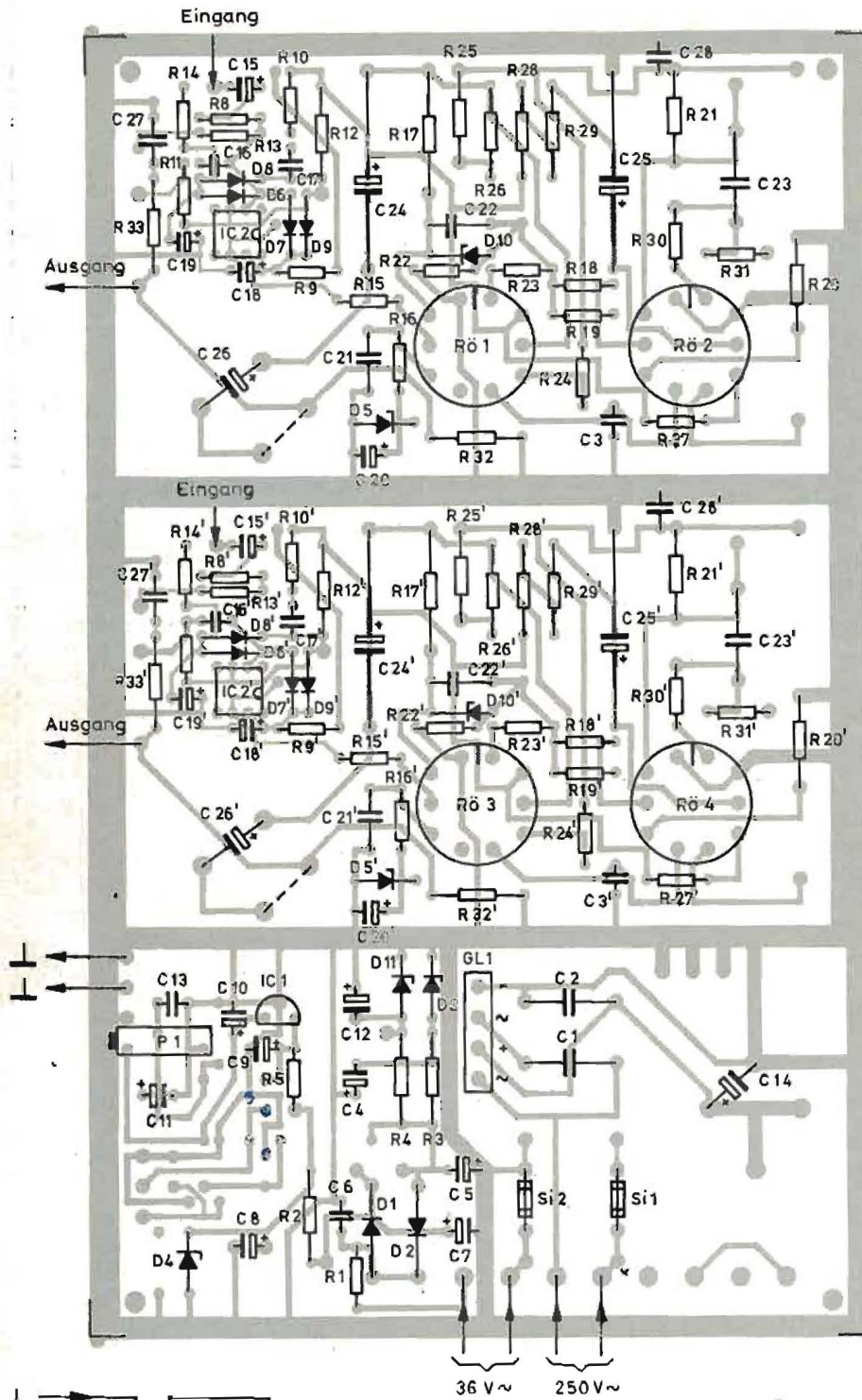


Bild 3. Der Bestückungsplan

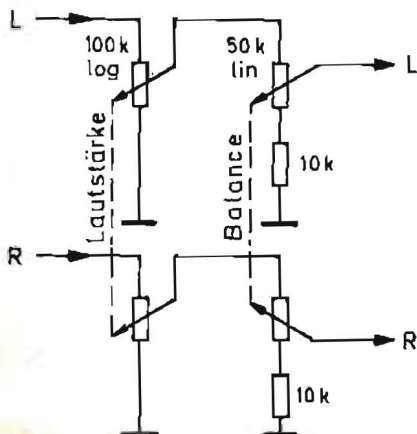


Bild 4. Diese Schaltung zur Lautstärke- und Balance-Einstellung kann bei Bedarf dem Verstärker vorgeschaltet werden. Das Balancepotentiometer ist gegenläufig anzuschließen.

### Stückliste

R81,1',2,2'	PCL 805
IC1	78L12
IC2,2'	LF 351
GI1	B250C1000
D1,2	1N4001
D3	ZF18
D4	ZF22
D5,5'	ZF8,2
D6...9,	
6'...9'	1N4148
D10,10'	ZF39
D11	ZF6,2

Widerstände (alle 1/4 W, 5%, soweit nicht anders angegeben)

R1,10,10',24,24',	10R
27,27'	10R
R2,25,25',26,26',	1k/0,5 W
28,28',29,29'	1k/0,5 W
R3	47k
R4,32,32'	2k7/0,5 W
R5	100R
R8,8',11,11',15,	
15',16,16',18,18',	
23,23',30,30'	1k2
R9,9',14,14'	47R
R12,12'	47k/0,5 W
R13,13'	100k
R17,17'	39k/0,5 W
R19,19',22,22',	
31,31'	1M
R20,20'	100k/0,5 W
R21,21'	22k/0,5 W
R33,33'	100R/0,5 W
P1	10k, Wendeltrimmer

### Kondensatoren

C1,2	47n/630 V
C3,3'	1n/250 V
C4,11,12	100µ/25 V Elko
C5,7	47µ/50 V Elko
C6,13	47n/50 V ker.
C8	220µ/25 V Elko
C9,10	1µ/35 V Tantal
C14	220µ/350 V Elko
C15,15',18,18',	
19,19',20,20'	10µ/25 V Tantal
C16,16',21,21'	100p ker.
C17,17'	10p ker.
C22,22'	220n/100 V Folie
C23,23'	220n/250 V Folie
C24,24',25,25'	10µ/350 V Elko
C26,26'	220µ/250 V Elko
C27,27'	330p ker.
C28,28'	1n/350 V ker.

### Sonstiges

SI1	Feinsicherung 0,1 A träge
SI2	Feinsicherung 0,8 A träge
Trafo	primär: 220 V sekundär: 250 V/100 mA 36 V/0,7 A

- 4 Noval-Röhrensockel
- 2 IC-Fassungen DIL 8
- 2 Sicherungshalter
- 1 Netzschalter

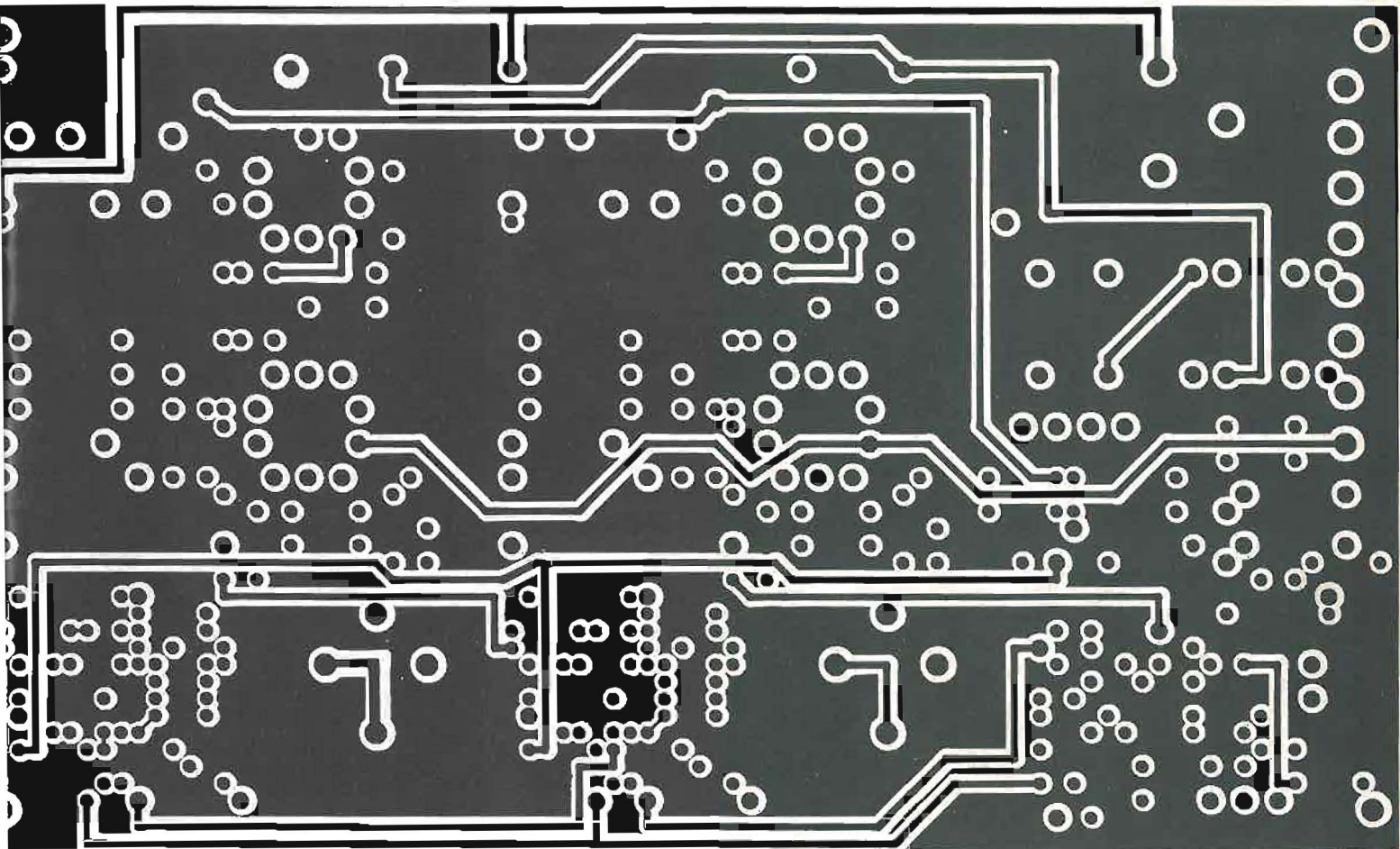


Bild 5. Layout der Bestückungsseite

# Röhren- technik für Transistor- leute

Michael Oberesch

Während man noch vor einigen Jahren annehmen konnte, daß so ziemlich jeder Hobby-Elektroniker einmal als Röhrenbastler begonnen hat, verliert heute diese Einschätzung immer mehr an Gültigkeit.

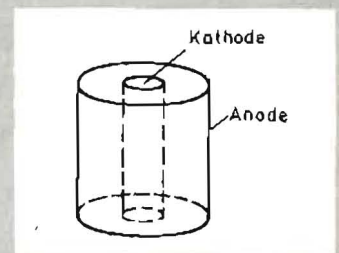
Für alle, die eine Röhre nur noch als prä-elektronisches Bauelement kennen, sei an dieser Stelle ein kleiner und unvollständiger Schnellkurs eingefügt.

Beginnen wir mit der Diode. Ja, ganz recht — Diode! Das Wort 'Diode' sagt nämlich eigentlich gar nichts aus über die Art des Bauelements, sondern nur über dessen Funktion. Was wir heute so massenweise in unseren Schaltungen verbrauchen als 1N4148 oder 1N4001, sind korrekt gesagt — Halbleiterdioden.

Es gibt eben auch Röhrendioden. Sie sind größer, heißer, teurer — und in mancher Beziehung auch besser als Halbleiterdioden.

Nun — wie ist so ein Veteran aufgebaut? Zunächst einmal besteht so eine Röhre aus einem Glaskolben, in den am unteren Ende Anschlußstifte eingelassen sind, die ihr Innenleben mit der Außenwelt verbinden. Das Innere des Glaskolbens ist luftleer gepumpt. Eine Diode braucht nun vier Anschlußstifte. In Worten — vier! Eine Anode, eine Kathode, das kennen wir, und die Heizung. Auch im Sommer!

Stellen wir uns vor, die Kathode sei ein Rohr aus dünnem Blech mit etwa 2 mm Durchmesser und 1 cm Länge. Dieses Kathodenrohr steckt nun genau in der



Mitte eines zweiten Rohres, genauso lang, aber mit etwa 5 mm Durchmesser, der Anode.

Legen wir eine Spannung an diese beiden Elektroden, und zwar  $\oplus$  an die Anode und  $\ominus$  an die Kathode, dann passiert — nichts. Warum sollte auch? Ist die Spannung nicht gerade so hoch, daß ein Funke überspringen kann, so sind ja schließlich die beiden Elektroden vortrefflich durch das Vakuum isoliert.

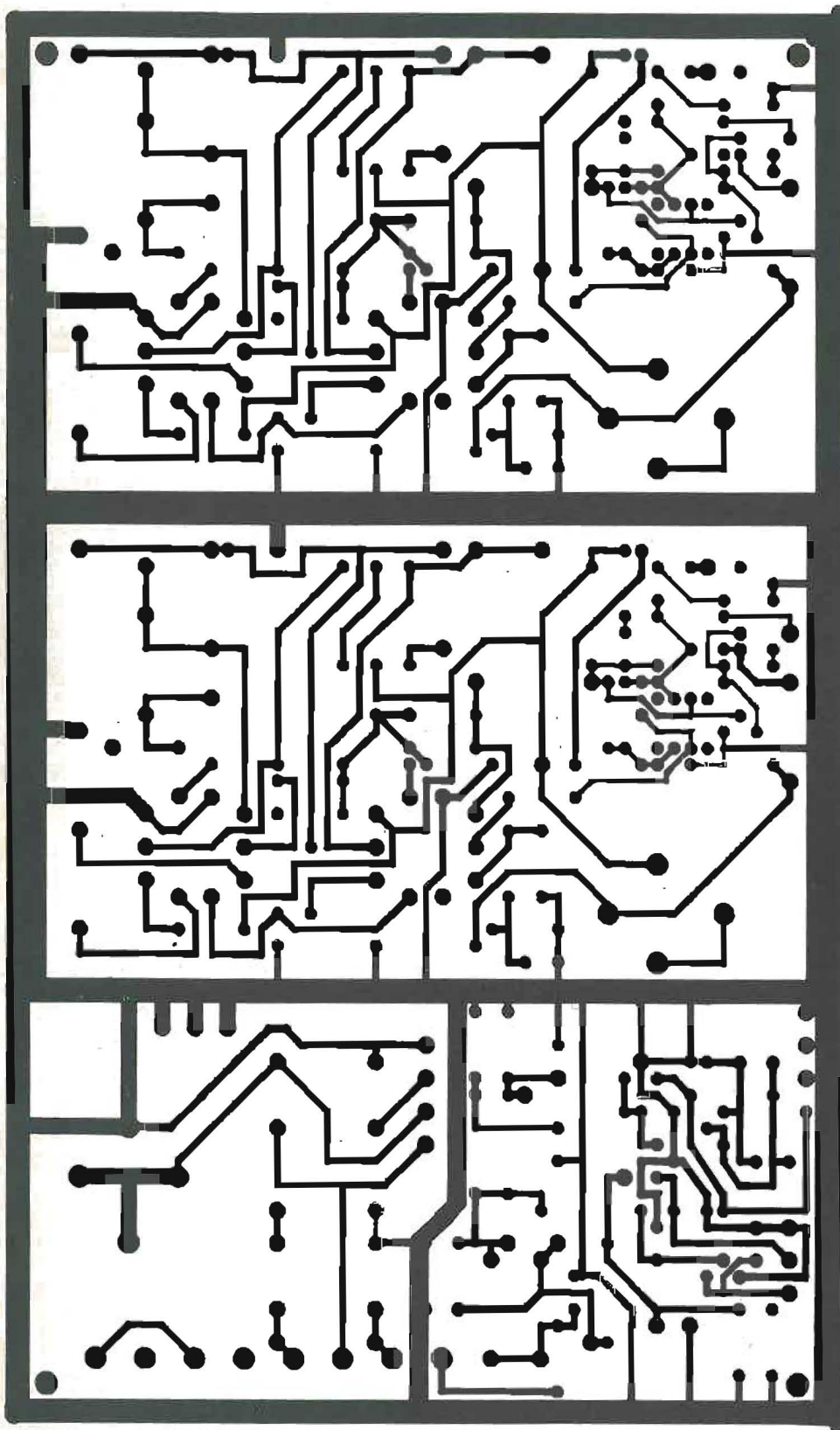


Bild 6. Layout der Verdrahtungsseite

Auf der Kathode herrscht zwar ein Elektronenüberschuß und auf der Anode ein Elektronenmangel, aber wir können die ganze Anordnung bestenfalls als einen Kondensator ansehen.

Jetzt wird geheizt. Und zwar die Kathode. Wir denken uns einen dünnen Heizdraht durch das Innere der Kathode gezogen, der mit einer bestimmten Spannung zum Glühen gebracht wird. Das Blech der Kathode wird also heiß.

Und nun kommt's. Auf einmal werden wir feststellen, daß ein Strom zwischen Anode und Kathode zu fließen beginnt.

Warum? Nun, die Erwärmung der Kathode hat zur Folge, daß die Elektronen, die ja hier im Überfluß vorhanden sind, beweglicher werden. Elektronen sind zwar dauernd in Bewegung, nur mit zunehmender Temperatur wird ihre Bewegung immer schneller. Irgendwann werden sie dann so schnell, daß sie das Kathodenblech gleichsam durchstoßen und verlassen können.

In diesem Zustand nennt man sie 'freie Elektronen', und sie bilden eine Art Elektronenwolke, die die Kathode umgibt.

Da die Elektronen im Vakuum durch nichts behindert werden, zum Beispiel nicht durch Luftmoleküle, können sie sich frei bewegen — wohin sie wollen. Und sie wollen — und zwar zur Anode, denn dort herrscht ja Elektronenmangel. Elektronen sind bekanntlich negativ geladen, die Anode ist positiv. Also wird sie auf die Elektronen eine unwiderstehliche Anziehungskraft ausüben. Ein Strom fließt!

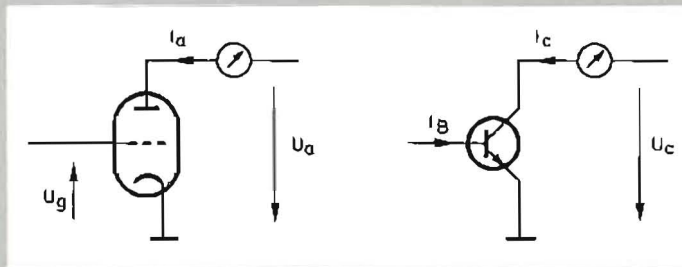
Drehen wir den Spieß um. Legen wir jetzt an die Kathode  $\oplus$  und an die Anode  $\ominus$ . Was passiert? — Nichts! Ganz klar, denn die Anode ist ja nicht geheizt. Also können hier keine Elektroden austreten.



Wir haben eine Diode: In der einen Richtung kann ein Strom fließen, in der anderen Richtung tut sich nichts. Genau wie bei der Halbleiterdiode.

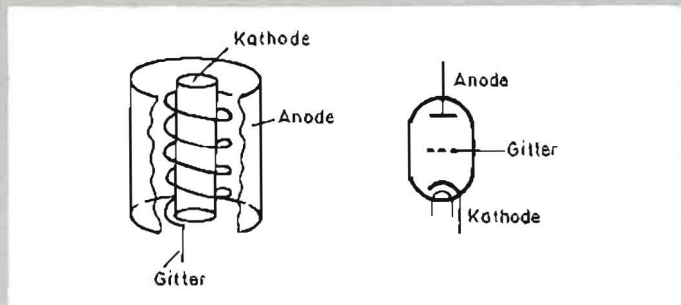
Nun zur Triode, der Dreipolröhre. Wieso drei? — Die Diode hatte ja schon vier Anschlüsse. Die Heizwendel wird einfach nicht mitgezählt, denn sie hat ja nur eine Hilfsfunktion.

Bei der Triode kommt als dritte Elektrode das sogenannte Gitter hinzu. Das Gitter befindet sich meist in Form einer einfachen Drahtwendel zwischen Kathode und Anode.



Aufmerksame Transistorianer höre ich an dieser Stelle sagen: 'Das kennen wir doch'. Richtig! Eine Röhre funktioniert ganz ähnlich wie ein Transistor, jedenfalls äußerlich. Vielleicht

Dieses Verhalten läßt sich durch ein sogenanntes Schirmgitter weitgehend vermeiden. Es befindet sich zwischen Steuergitter und Anode und wird gleichspannungsmäßig auf Anodenpotential gelegt, wechsellspannungsmäßig jedoch gegen Masse abgeblockt. Durch diese Maßnahme verringern sich die Rückwirkungen vom Ausgang auf den Eingang deutlich.



Wir legen nun wieder  $\oplus$  an die Anode und  $\ominus$  an die Kathode, so fließt natürlich wieder ein Strom. Solange wir das Gitter freilassen, wirkt die Röhre als Diode. Legen wir aber eine Spannung an das Gitter, so stellen wir sofort eine Änderung fest.

Machen wir das Gitter negativ gegen die Kathode, so werden wir eine Abnahme des Anodenstromes bemerken. Das ist ganz logisch zu erklären. Um die Kathode herum befindet sich die Elektronenwolke, die das Bestreben hat, zur positiven Anode zu wandern. Trifft sie auf ihrem Weg dorthin jedoch auf das negativ geladene Gitter, so werden die Elektronen mehr oder weniger zurückgedrängt, sie werden auf ihrem Weg behindert. Der Strom nimmt also ab. Macht man die negative Gittervorspannung groß genug, so wird der Anodenstrom vollkommen unterbunden.

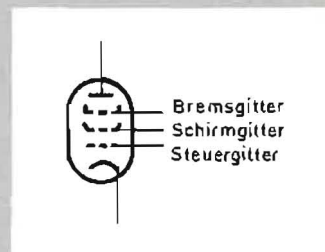
Aus diesem Sachverhalt ergibt sich in der Praxis die Tatsache, daß sich mit relativ kleinen Gitterspannungsänderungen im Bereich zwischen 0 und -10 Volt relativ große Anodenstromänderungen erzielen lassen (zwischen 0 und 100 mA).

sollte man jedoch besser sagen. Ein Transistor funktioniert ähnlich wie eine Röhre. Im Gegensatz zur Henne mit ihrem Ei läßt sich hier nämlich sehr genau bestimmen, wer zuerst da war.

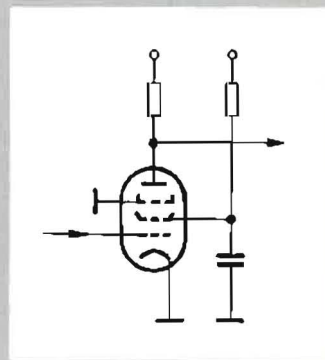
Einen kleinen Unterschied gibt es. Beim Transistor steuert der Basisstrom den Kollektorstrom. Bei der Röhre steuert die Gitterspannung den Anodenstrom.

Nun hatten wir die Diode und die Triode. Dann kommt die Tetrode, die Pentode, die Hexode, die Heptode, die Oktoide... Gibt's tatsächlich alle? Wozu? Nehmen wir als Beispiel die Pentode. Diese 5-Pol-Röhre hat noch zwei zusätzliche Gitter. Allerdings dienen diese nicht zum Steuern der Röhre; diese Aufgabe bleibt allein dem Steuergitter vorbehalten.

Die zusätzlichen Gitter sollen nur bestimmte Eigenschaften der Röhre verbessern. Bei der Triode sind Anode und Gitter zwei benachbarte Elektroden, die miteinander einen kleinen Kondensator bilden, der damit zwischen Eingang und Ausgang der Röhre liegt. Solche schädlichen Kapazitäten sind auch aus der Transistortechnik bekannt.



Das dritte Gitter, das Bremsgitter, liegt unmittelbar vor der Anode. Werden die Elektronen auf ihrem Weg von der Kathode zur Anode durch eine hohe Anodenspannung stark beschleunigt, so treffen sie mit einer solchen Wucht auf der Anode auf, daß hierdurch aus der Anode weitere Elektronen herausgeschlagen werden, die dann unberechtigterweise bis zum Steuergitter vordringen könnten. Dieser ungewollte Strom wird durch das Einfügen des Bremsgitters verhindert. Das Bremsgitter liegt normalerweise auf Massepotential.



Röhren mit noch mehr Gittern sind für Spezialaufgaben gedacht, auf die wir hier nicht weiter eingehen wollen.

Eine Anmerkung ist noch zur Heizung zu machen. Es gibt Röhrenserien, die für eine bestimmte Heizspannung normiert sind, aber auch solche, die auf einen festen Heizstrom ausgelegt sind.

Alle Röhrentypen, deren Bezeichnung mit dem Buchstaben E beginnt, benötigen eine Heizspannung von 6,3 Volt. Der Strom variiert von Typ zu Typ. Röhren, die mit dem Buchstaben P beginnen, benötigen einen Heizstrom von 0,3 Amperere, wobei die Spannung unterschiedlich sein kann.

Die Heizdaten von Röhren sollten recht genau eingehalten werden, da Überheizung und Unterheizung die Lebensdauer verkürzt.

Der zweite Buchstabe der Röhrenkennzeichnung gibt über die Art der Röhre Auskunft. So bedeuten zum Beispiel:

- A — Diode
- B — Doppeldiode
- C — Triode
- F — Pentode
- L — Leistungspentode
- Y — Gleichrichterdiode

Auch die folgende Zahl hat eine Bedeutung. Beginnt sie mit einer 8, so benötigt die Röhre einen 9poligen Novalsockel, bei einer 9 einen 7poligen Miniatursockel. Die darauf folgenden Ziffern dienen zur weiteren Unterscheidung.

Die an anderer Stelle in diesem Heft eingesetzte Röhre PCL 805 ist eine Triode-Endpentode mit Novalsockel für 0,3 A Heizstrom.

Auch das gibt's. Sogar häufig. Zwei, manchmal sogar drei verschiedene, vollkommen voneinander getrennte Röhrensysteme in einem Kolben! Das spart Glas, Heizenergie und — Platz. Ein wichtiger Aspekt beim Größenvergleich zwischen Röhre und Transistor. □