

# **Bau eines Röhrenverstärkers** **Theorie und Anwendung in der Praxis**

Von Sebastian Grünwald



.....  
(Unterschrift des Kursleiters)

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Die Geschichte der Röhre	4
2	Theorie und Bau eines Röhrenverstärkers	
2.1	Die Röhre	
2.1.1	Einführung	5
2.1.2	Die Triode	
2.1.2.1	Aufbau und Herstellung	6-7
2.1.2.2	Eigenschaften der Pentode	7
2.1.2.3	Die Kennlinien	7-9
2.1.3	Die Pentode	
2.1.3.1	Aufbau	9-10
2.1.3.2	Die Kennlinien einer Pentode	10-13
2.2	Theoretischer Aufbau des Verstärkers	
2.2.1	Grundschialtung	13-15
2.2.2	Berechnungen	15-16
2.3	Der Bau eines Röhrenverstärkers	
2.3.1	Die Bauteile	16-17
2.3.2	Die Schaltskizze	17-19
2.3.3	Berechnung der benötigten Widerstände	20
2.3.4	Herstellung	20-21
2.4	Vergleich mit einem modernen Transistorverstärker	22-23
3	Die Zukunft der Röhre	24
	Quellenverzeichnis	25

## **1. Die Geschichte der Röhre**

Die Entwicklung der menschlichen Zivilisation ist seit jeher von physikalischen Erfindungen geprägt. Buchdruck, Dampfmaschine und Co machten es erst möglich, neue Gesellschaftsformen und politischen Systeme zu entwickeln. Um 1900 standen die Forscher vor einer weiteren Herausforderung: Der Verstärkung von elektrischen Signalen. Was früher bei Telegraphen mechanisch funktionierte, muss nun für die drahtlose Übertragung und das Telephon anders verstärkt werden. Das war notwendig, da man die benötigten hohen Frequenzen nicht mit beweglichen Bauteilen verstärken konnte. Man brauchte eine andere Methode, und man fand: die Röhre. Die Grundlage lieferte bereits Thomas Edison im Jahr 1883 mit der Entdeckung der Glühemission von Elektronen. Ihre heutige Gestalt und Funktionsweise bekam die Röhre jedoch erst im Jahr 1910 vom Österreicher Robert von Lieben und vom amerikanischen Forscher Lee de Forest 1913. Ab diesem Zeitpunkt wurde die Röhre in fast allen Lebensbereichen eingesetzt. Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete war die Funkübertragung, in der sie auch heute noch benutzt wird. Aber auch ihre Bedeutung als Audioverstärker war unumstritten. Hier wurde sie vor allem in Radios verwendet, die in dieser Zeit das bedeutendste Massenmedium waren. Erst in den 60er Jahren verdrängte eine neue Erfindung die Röhre aus vielen Bereichen: der Transistor. Er war kleiner, robuster und energieeffizienter. Doch auch danach war die Röhre noch sehr bedeutend. Zwar wurde sie nicht mehr in Radios verwendet, übernahm aber dafür eine wichtige Rolle im neuen Medium Fernsehen. Hier wurde sie nicht mehr zur Verstärkung von Signalen benutzt, sondern als Elektronenstrahlrohr zur Erstellung des Fernsehbildes. Sie war diesem Gebiet unentbehrlich, bis LCD und Plasma-Geräte sie vor kurzem ablösten. Heute ist die Röhre fast völlig aus unserem täglichen Leben verschwunden. Ist sie deshalb veraltet und hat ihre Existenzberechtigung verloren? Kann sein; sicher ist jedoch, dass sie fast ein ganzes Jahrhundert unser Leben beherrschte und allein das ist schon ein Grund sich mit ihr zu beschäftigen. In dieser Arbeit will ich die Funktionsweise eines Röhrenverstärkers, der ja lange Zeit die einzige Möglichkeit war Musik zu hören, anhand eines Beispiels erläutern und sein Klangbild mit einem modernen Transistorverstärker vergleichen.

## **2. Theorie und Bau eines Röhrenverstärkers**

### **2.1 Die Röhre**

#### **2.1.1 Einführung**

In der Audiotechnik versteht man unter Röhren grundsätzlich vakuumisierte Glaskolben, in denen Elektronen beschleunigt werden.

Dazu ist als erstes eine Elektronenquelle nötig. Es wird ein Glühdraht verwendet, aus dem Elektronen durch thermische Energie ausgelöst werden. Diese werden dann mittels einer am Glühdraht, der als Kathode genutzt wird, und einer Anode angelegten Spannung auf die Anode zu beschleunigt. Es fließt Strom. Dieser Aufbau beschreibt die einfachste Art der Röhre, die Diode.

Dioden kann man in verschiedenen Bereichen einsetzen, wie zum Beispiel als Fadenstrahlrohr für Versuche mit elektrischen und magnetischen Feldern oder für Fernseher. Sie kann jedoch noch nicht zur Verstärkung von Signalen, bzw. Spannungen eingesetzt werden.

#### **2.1.2 Die Triode**

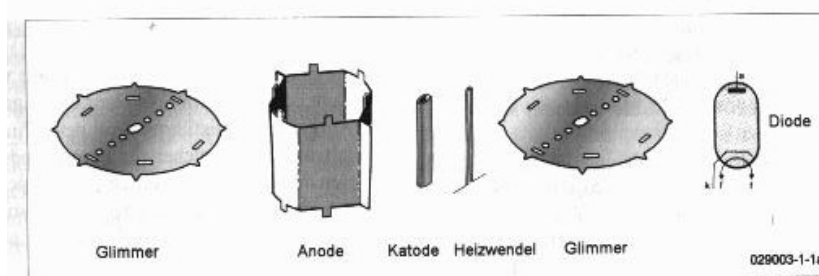
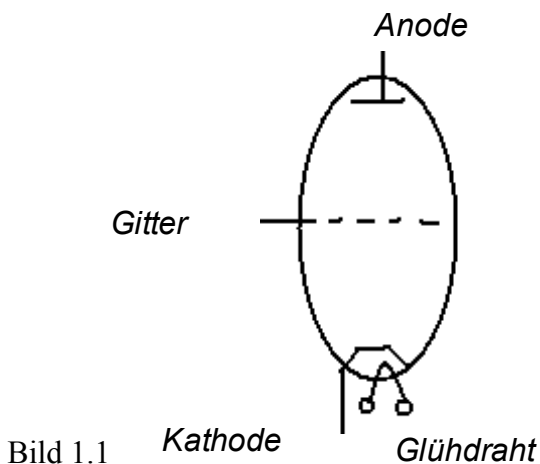
##### **2.1.2.1 Der Aufbau einer Triode**

Um eine Spannung zu verstärken wird ein Gitter zwischen Kathode und Anode angebracht. Eine an dieses Gitter angelegte Spannung variiert auch den Elektronenfluss und somit den Anodenstrom. Schaltet man noch einen Widerstand hinter die Anode, so wird auch die Anodenspannung geändert. Dies wird im Kapitel „Theoretischer Aufbau des Verstärkers“ noch einmal genauer erklärt. Je näher das Gitter an der Kathode, desto höher ist der Einfluss auf die Anodenspannung. Diese Art von Röhre nennt man eine Triode (=3 Elektroden).

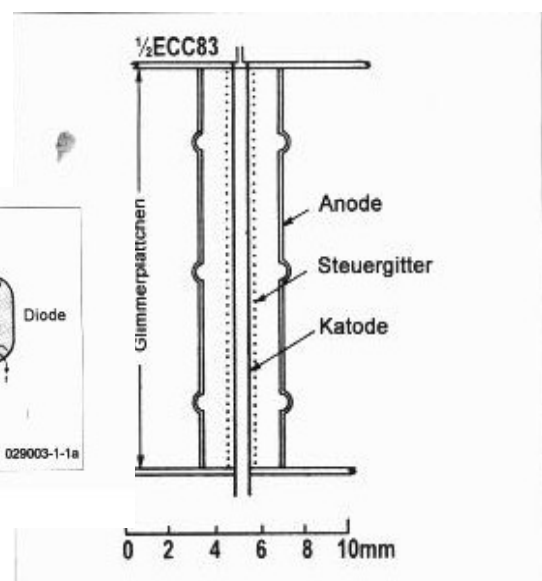
Vorher wurde beschrieben, dass die Anodenspannung an Glühdraht und Anode angelegt wird. Dies ist allerdings nur eine einfache Art der Röhre. Bei den meisten industriell hergestellten Röhren handelt es sich nicht um eine direkte Heizung sondern um eine indirekte, bei der Glühdraht und Kathode nicht identisch sind. Dies verhindert, dass die Heizspannung einen unerwünschten Einfluss auf die Anodenspannung hat, die man ja nur durch die Gitterspannung beeinflussen will. Außerdem erhöht es die Lebensdauer einer Röhre. Sie liegt dann bei ca. 3000 Betriebsstunden. Die Röhre funktioniert nach dieser Zeit zwar noch wird aber schwächer. Die Kathode wird also durch den sehr nahen Glühdraht aufgeheizt, wodurch sich Elektronen aus ihr lösen. Dabei muss das Material des Glühdrahtes einen sehr hohen Isolationswiderstand haben, damit kein Stromaustausch zwischen Kathode und Glühdraht stattfinden kann. Dies hätte ja wieder Einfluss auf die Anodenspannung. Eine maximale Spannung von ca. 100V zwischen Kathode und Glühdraht darf somit nicht

überschritten werden, um einen Funkenüberschlag zu vermeiden.

Die Triode ist nicht wie auf Versuchsskizzen (Bild 1.1) dargestellt aufgebaut. In Wahrheit sind sowohl Anode als auch Kathode und Gitter Hohlzylinder, wie man auf dem Bild 1.2 erkennen kann. Der Glühdraht, oder Heizwendel, ist hierbei eine doppelt gewundene Spirale, was den nützlichen Effekt hat, dass sich durch den Stromfluss gebildete Magnetfelder gegenseitig aufheben und somit keinen Einfluss auf die Elektronen haben. Über den Heizdraht wird die Kathode gestülpt. Der Abstand zwischen ihr und dem Draht ist sehr klein, sie dürfen sich aber nicht berühren. Diese Anordnung wird in den Gitterzylinder gesteckt, und das ganze anschließend in die Anode. Dabei ist der Abstand von Anode zu Gitter viel größer als der Abstand von Gitter zu Kathode. Das hat den Grund, dass der Einfluss des Gitters auf die Anodenspannung mit kleinerem Abstand zur Kathode zunimmt, da dann bei einer negativen Gitterspannung weniger Elektronen aus der Kathode austreten können. Diese ganze Anordnung wird oben und unten durch Glimmerplättchen fixiert und in einen Glaskolben gesteckt, aus dem anschließend die Luft gesaugt wird.



1.2<sup>1</sup>



1.3<sup>2</sup>

1 Dieleman; S9

2 Dieleman; S15

### 2.1.2.2 Eigenschaften einer Triode

Um den Anodenstrom  $I_a$  zu berechnen gibt es für die Triode die Formel:

$$I_a = k * (D * U_a + U_g)^{\frac{3}{2}} \quad U_a \text{ ist hierbei die Anodenspannung und } U_g \text{ die Gitterspannung.}$$

Die Größen  $k$  und  $D$  (Durchgriff) sind röhrenabhängig. Die Konstante  $k$  ist die Abkürzung von

$$\frac{4}{9} * \epsilon_0 * \left(\frac{A}{b^2}\right) * \left(\frac{2q}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \quad , \text{ wobei } A \text{ die Fläche der Anode, } b \text{ der Abstand von Kathode und Anode}$$

und  $\epsilon_0$  die elektrische Feldkonstante ist.  $k$  liegt in der Größenordnung von  $10^{-3}$ .  $D$  ist bei den meisten Röhren angegeben und liegt zwischen 0,2 und 0,01. Manchmal ist auch der sogenannte

Leerlaufverstärkungsfaktor  $\mu$  angegeben. Es gilt  $\mu = \frac{1}{D}$  <sup>5</sup>.

Ein weiteres Merkmal einer Röhre ist ihre Steilheit. Mit ihr wird die Spannungsänderung am Gitter im Verhältnis zur Anodenstromänderung angegeben. Sie liegt im Bereich von 1-15 mA/V.

Einer der Wichtigsten Werte einer Röhre ist ihr Innenwiderstand. Dieser wird, wie jeder Widerstand

mit  $R = \frac{U}{I}$  angegeben. Da es sich aber um sich verändernde Größen handelt ist der Widerstand eine differentielle Größe. Der Widerstand, oder Impedanz, wie man bei differentiellen Widerständen sagt, liegt in der Größenordnung von  $1-100k \Omega$  und muss bei der Berechnung von Verstärkerschaltungen unbedingt berücksichtigt werden.

### 2.1.2.3 Die Kennlinien:

Man kann Den Zusammenhang zwischen Anodenstrom, Anodenspannung und Gitterspannung auch graphisch als Funktionenschar darstellen. Diese nennt man dann die Kennlinien einer Röhre.

Sie zeigen die unter Laborbedingungen gemessenen Werte und nicht die theoretischen, da bei diesen Berechnungen verschiedene störende Effekte nicht berücksichtigt werden. Zum Beispiel haben die im Raum fliegenden Elektronen einen Einfluss auf den Feldverlauf und auf die Feldstärke. Ein sehr wichtiger und störender Effekt ist außerdem die Inselbildung. So wird der Effekt bezeichnet, wenn eine zu große Gitterspannung verhindert, dass aus Teilen der Kathode Elektronen austreten können. Sie macht sich vor allem bei Signalspitzen bemerkbar, da diese dadurch schwächer verstärkt werden, was zu Verzerrungen führt.

Diese Kennlinienmessungen werden nach einem Versuchsaufbau ,wie auf Skizze 1.4 dargestellt,

---

3 Dieleman; S 15

4 Dieleman; S 24

5 Dieleman; S 16

vorgenommen. Ich habe diese Werte für eine ECC82 Doppeltriode, wie ich sie im selbst gebauten Verstärker verwende, ebenfalls gemessen und in ein Koordinatensystem eingetragen. Der Unterschied zwischen den Idealwerten auf Bild 1.5a und den selbst gemessenen auf Bild 1.5b lässt sich mit den nicht idealen Bedingungen und mit Messungenauigkeiten erklären.

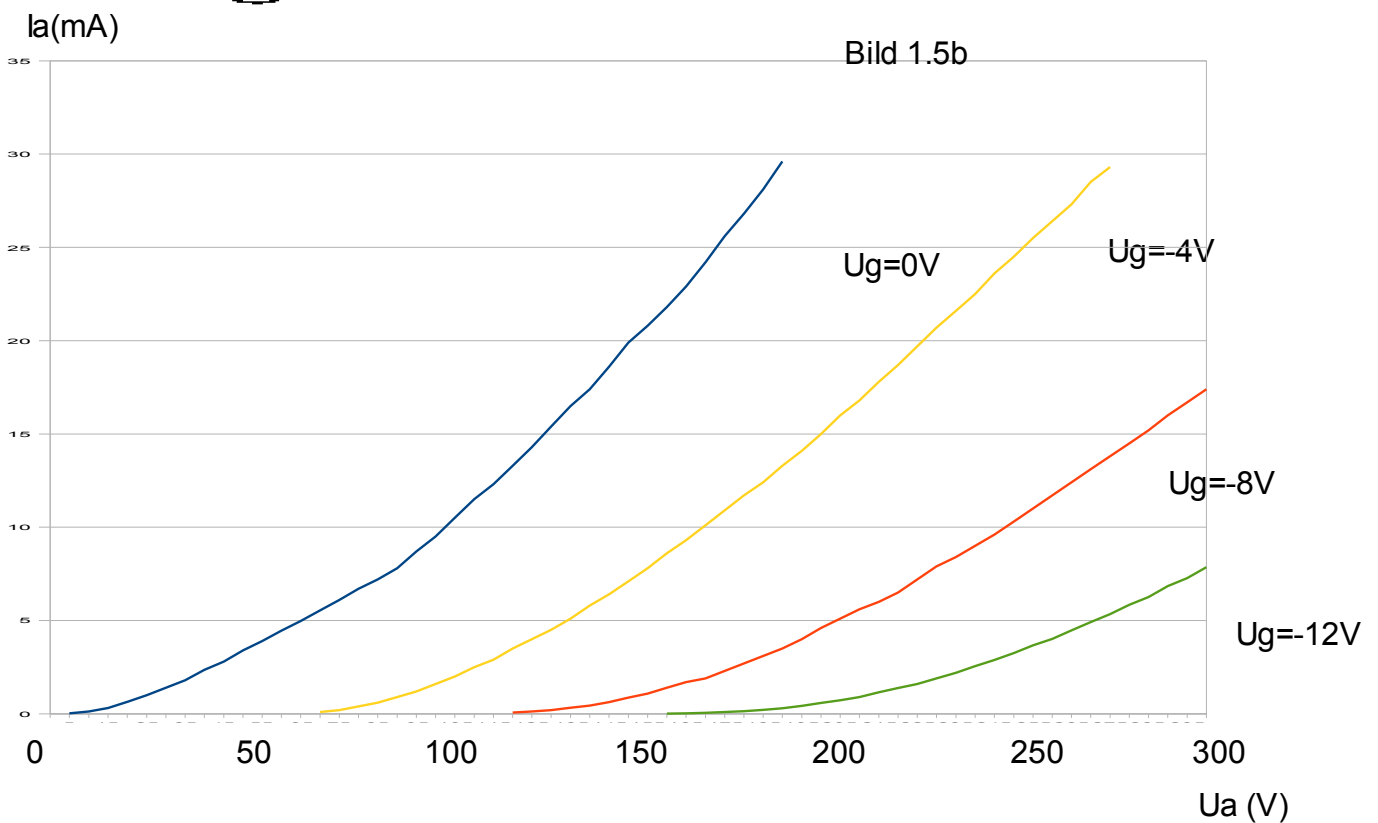
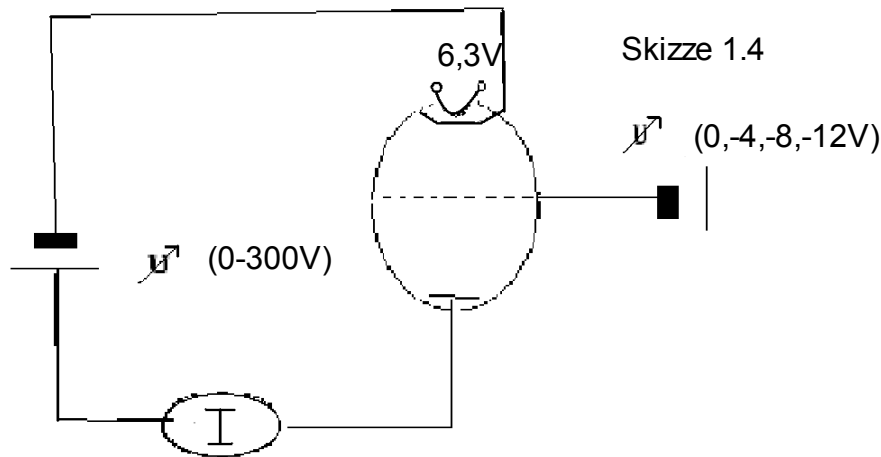
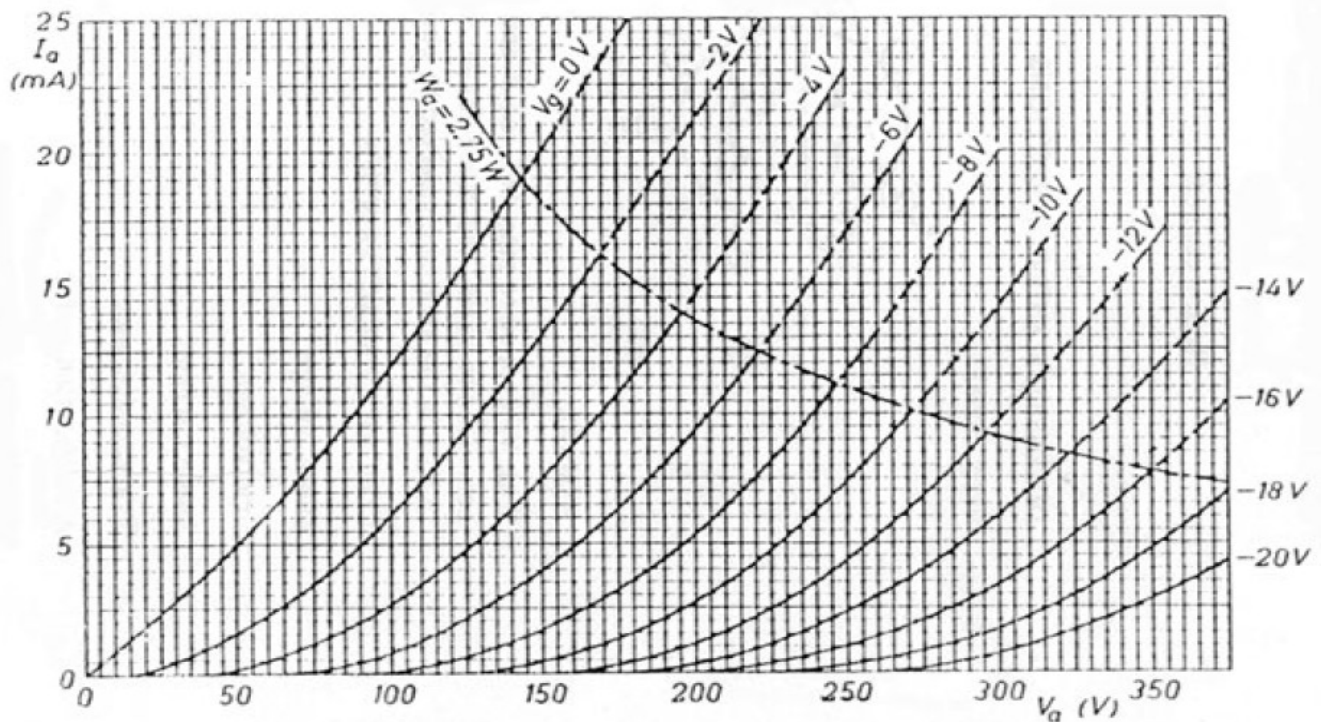




Bild 1.5a<sup>6</sup>

### 2.1.3 Die Pentode

#### 2.1.3.1 Der Aufbau

Die Triode verstärkt nun zwar Spannungen, hat jedoch noch einige Eigenschaften, die das Signal signifikant verändern. Eine davon ist der große Einfluss der Anodenspannung auf den Anodenstrom. Um eine große Anodenwechselspannung zu erzielen, was ja der Sinn der Verstärkung ist, müsste man die Gitterspannung sehr hoch halten, was aber zur Inselbildung oder Abschnürung der Röhre führen kann. Um dieses Problem zu lösen, baut man ein weiteres Gitter zwischen Steuerungsgitter und Anode ein. An dieses Schirmgitter wird eine relativ hohe Spannung von ca. +150V angelegt. Dadurch wird die Anode abgeschirmt und ihr Einfluss auf den Strom extrem verringert. Nun muss man allerdings noch ein drittes Gitter aufgrund von störenden Effekten eingebaut werden. Prallen nämlich Elektroden auf der Anode auf, so lösen sie sogenannte Sekundärelektronen aus. Diese fliegen sehr häufig, statt zur Anode zurück, zum Schirmgitter. Dieser Effekt stört besonders, wenn Anode und Steuergitter eine ähnliche Spannung haben, bzw. wenn die Steuergitterspannung größer ist als die Anodenspannung. Das dritte Gitter, das sogenannte Bremsgitter, das sehr nahe an der Anode liegt und die gleiche Spannung wie die Kathode hat, verhindert, dass Sekundärelektronen zum Schirmgitter fliegen, in dem es sie auf die Anode zu

<sup>6</sup> <http://www.drtube.com/datasheets/ecc82-jj2003.pdf> Stand: 22.1.10

beschleunigt. Es gibt nun aber immer noch einen Gitterstrom, hervorgerufen durch die Elektronen, die direkt auf das Steuergitter prallen und gar nicht zur Anode kommen. Um diesen Strom, der eine Verschlechterung der Verstärkerleistung zur Folge hat, niedrig zu halten verwendet man sogenannte Beam-Power-Röhren. Bei ihnen ist das Bremsgitter kein Gitter, sondern es besteht aus Blechen, die direkt hinter dem Schirmgitter angeordnet sind und die Elektronen so bündeln, dass sie zwischen den Schirmgitterdrähten hindurch fliegen. Die Pentode ist in Versuchsskizzen wie auf Bild 1.6a dargestellt. In der Skizze 1.6b ist ein Beispiel für den Flugweg eines Elektrons eingezeichnet.

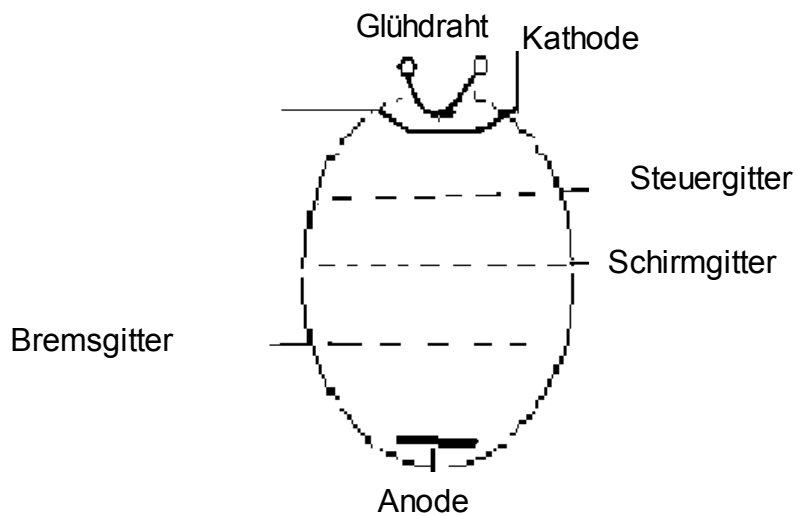
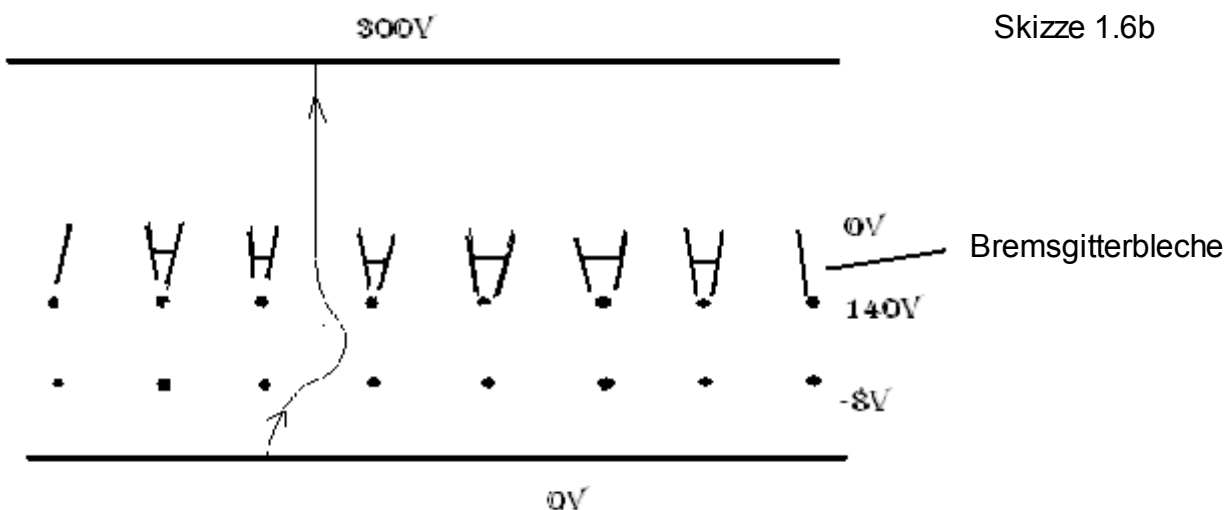


Bild 1.6a

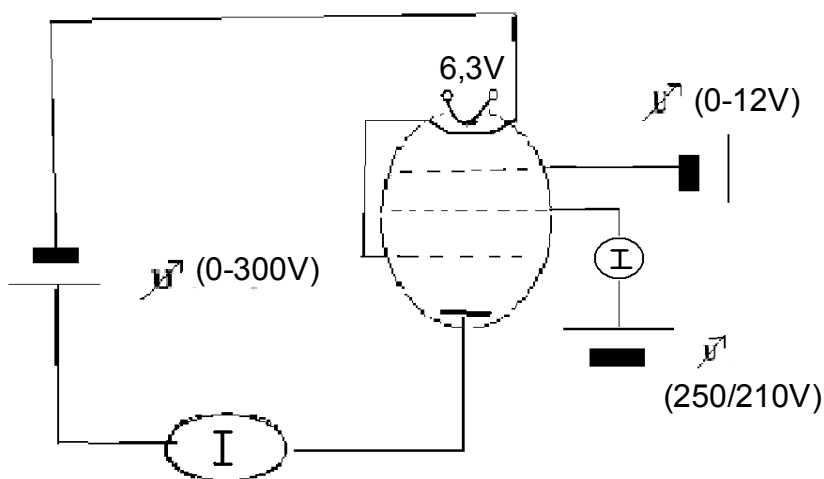


Skizze 1.6b

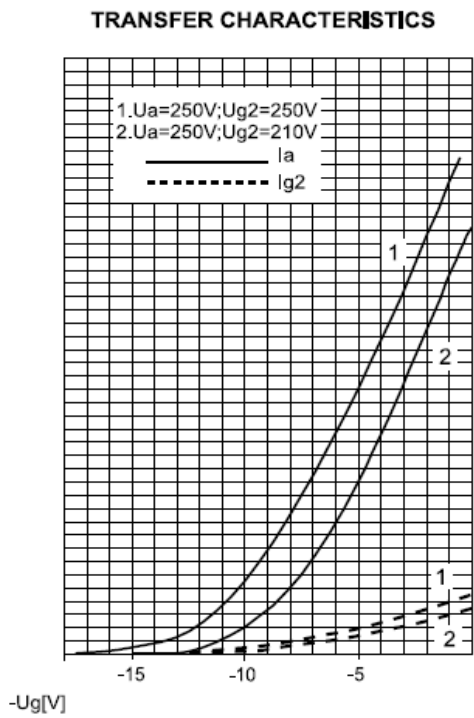
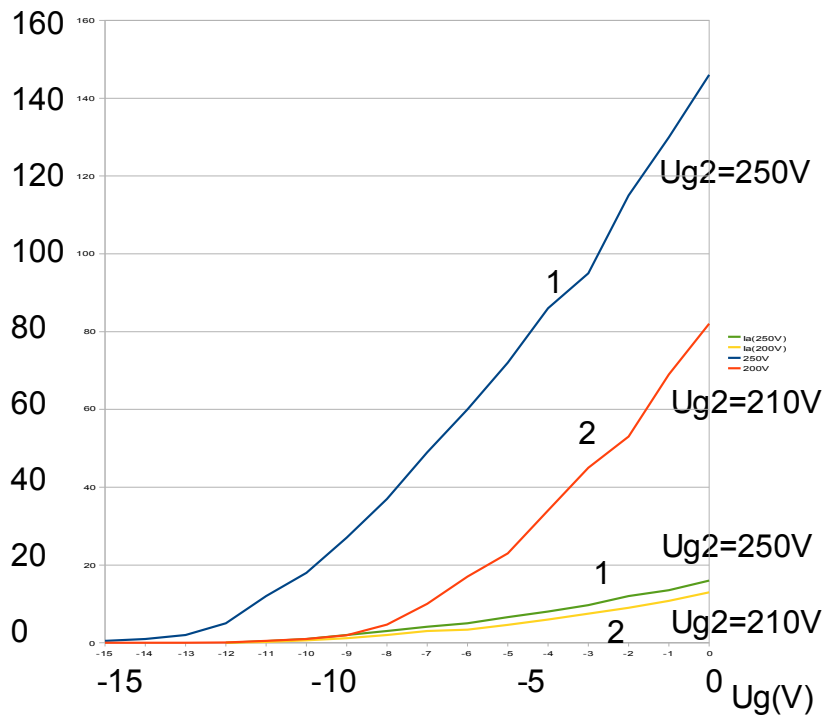
### 2.1.3.2 Die Kennlinien einer Pentode

Auch bei den Pentoden gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Strom und den einzelnen Spannungen. Er lautet .  $I_a = k * (D_a * U_a + D_{g2} * U_{g2} + D_{g3} * U_{g3} + U_g)^{\frac{3}{2}}$  Hierbei gilt für k wieder der gleiche Zusammenhang wie bei der Triode, Da, Dg2 und Dg3 sind wieder röhrenabhängig und meist angegeben. k liegt wieder im Bereich von 0,2 bis 0,01.

Man kann für die Pentode verschiedene Arten von Kennlinien erstellen. Zum einen mit konstanter Anodenspannung und veränderbaren Gitterspannungen (Bild 1.8a/b), und zum andern mit konstanter Schirmgitterspannung und veränderbarer Anoden- und Gitterspannung (Bild 1.9a/b). Die Bremsgitterspannung ist hierbei immer auf Kathodenpotential. Bei den meisten Pentoden sind Kathode und Bremsgitter sogar intern fest verbunden. Beide Arten von Kennlinien werden mit dem gleichen Versuchsaufbau (Skizze 1.7) ermittelt. Hier also die aufgenommenen und die angegebenen Werte für die EL84, eine Endpentode, die im gebauten Verstärker verwendet wird. Die Unterschiede zwischen den gemessenen (b) und den angegebenen (a) Werten haben die gleichen Ursachen wie bei der Triode.

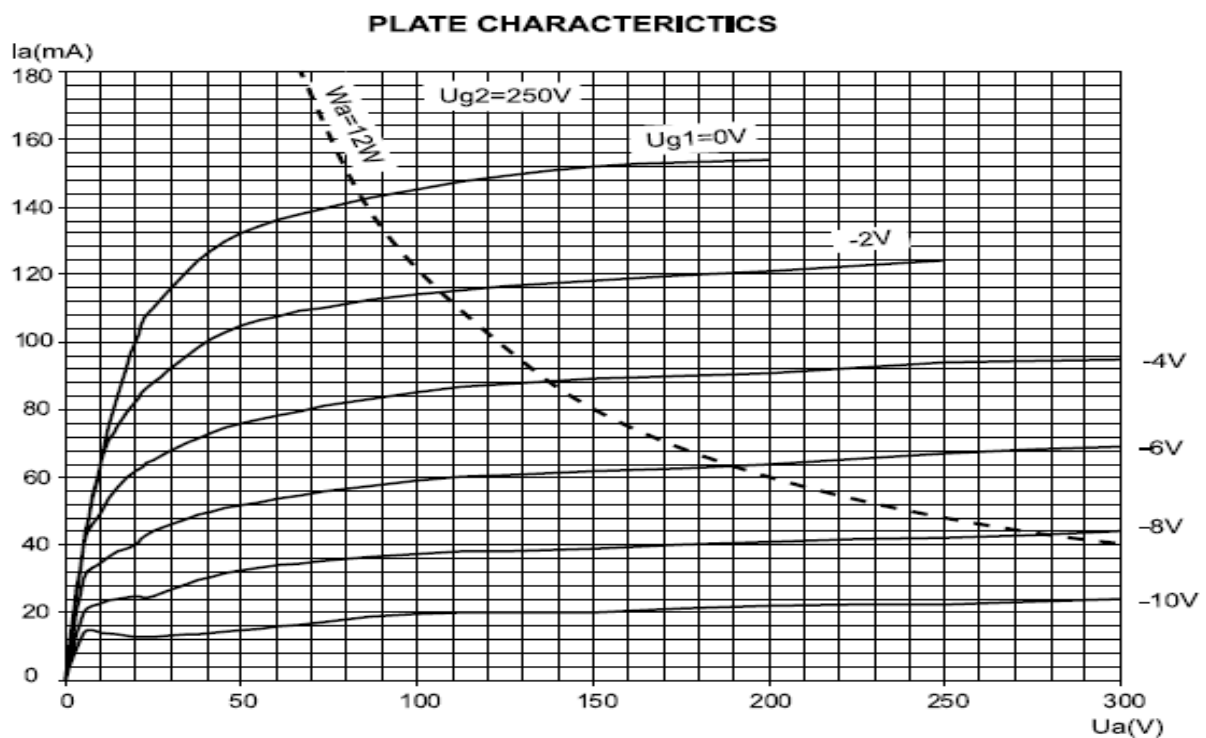


Skizze 1.7

$I_a(\text{mA})$ Skizze 1.8a<sup>8</sup>

Skizze 1.8b

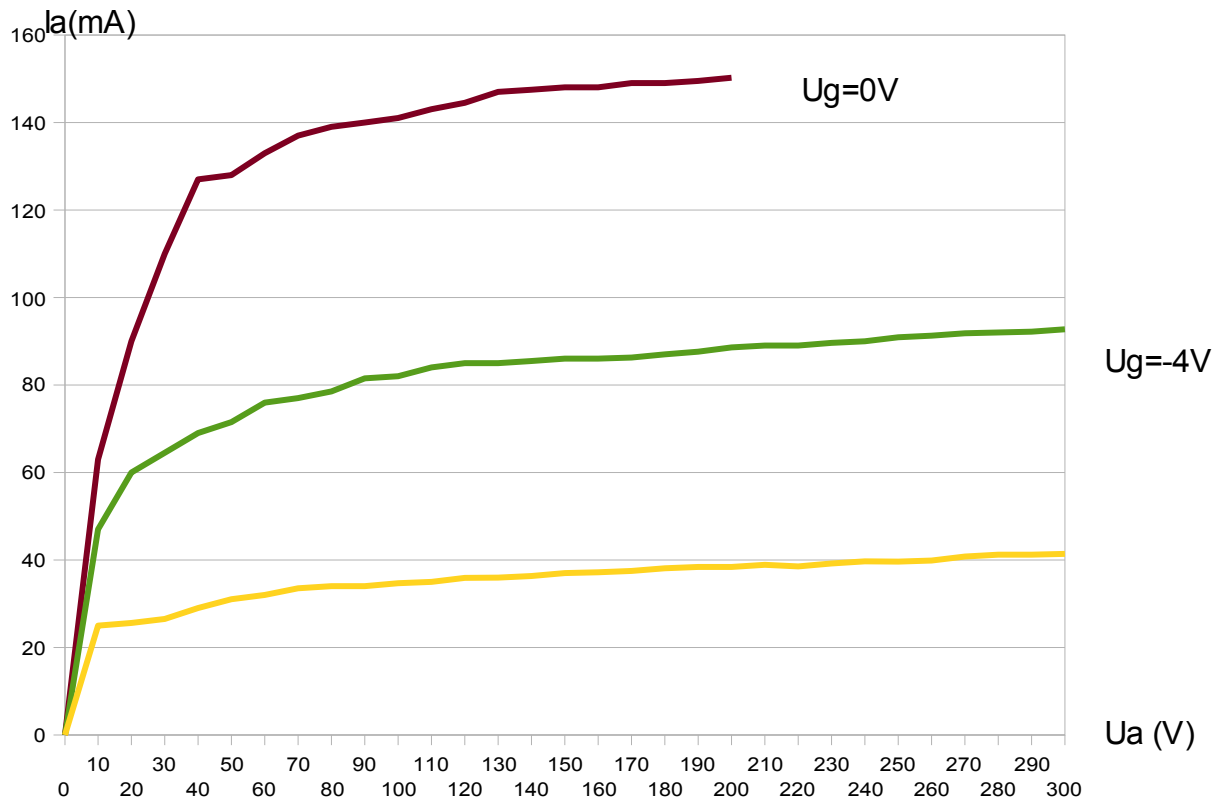
Die beiden oberen Linien zeigen hier jeweils den Verlauf des Anodenstroms und die beiden unteren den des Schirmgitterstroms.

Skizze 1.9a<sup>9</sup>

8 <http://www.drtube.com/datasheets/el84-jj2003.pdf> Stand: 22.1.10

9 <http://www.drtube.com/datasheets/el84-jj2003.pdf> Stand: 22.1.10

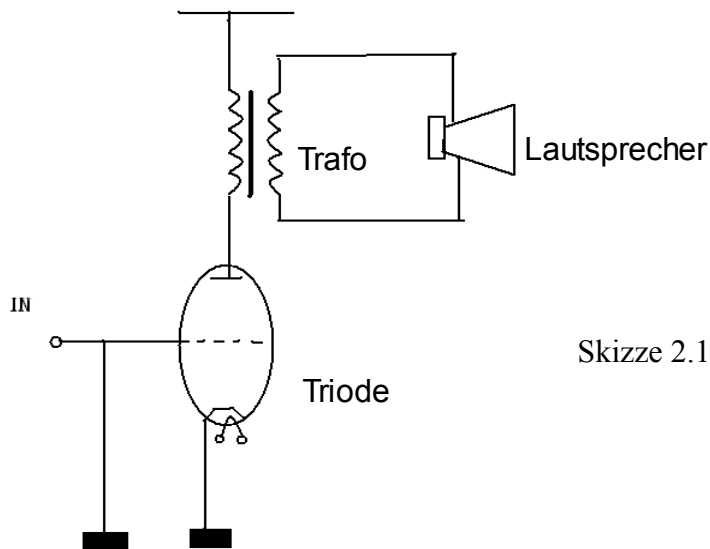
Skizze 1.9b



## 2.2.Theoretischer Aufbau eines Verstärkers

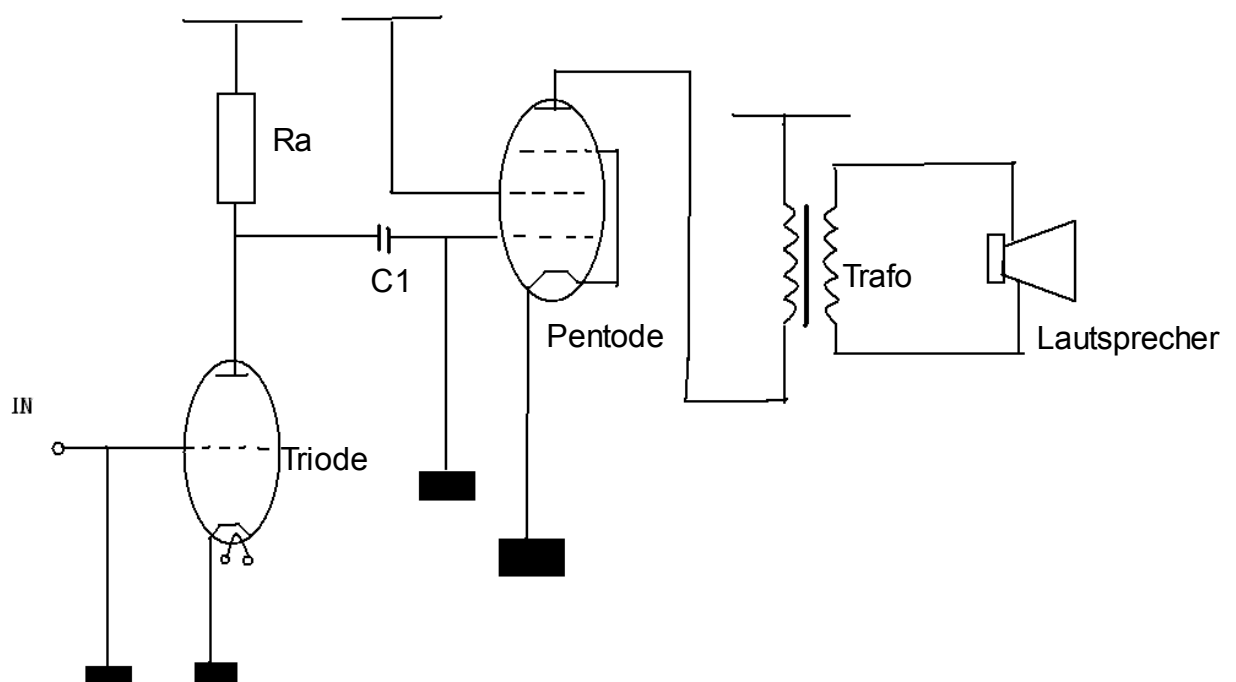
### 2.2.1 Die Grundsaltung

Der Grundaufbau eines Verstärkers ist recht einfach. Man verwendet im Prinzip die gleiche Schaltung wie bei der Kennlinienbestimmung. Nur wird zusätzlich zu der konstanten negativen Gitterspannung noch die Signalspannung am Gitter angelegt. Die Gitterspannung muss angelegt werden um zu verhindern, dass das Gitter positiv wird, was nicht den gewünschten Effekt auf die Anodenspannung und den Anodenstrom hätte. Anschließend wird ein Transformator zwischen Anode und Spannungsquelle geschaltet, der die Wechsel in der Anodenspannung auf einen Parallelkreislauf, in dem sich ein Lautsprecher befindet, überträgt. Dies kann man auf der Skizze 2.1 erkennen.

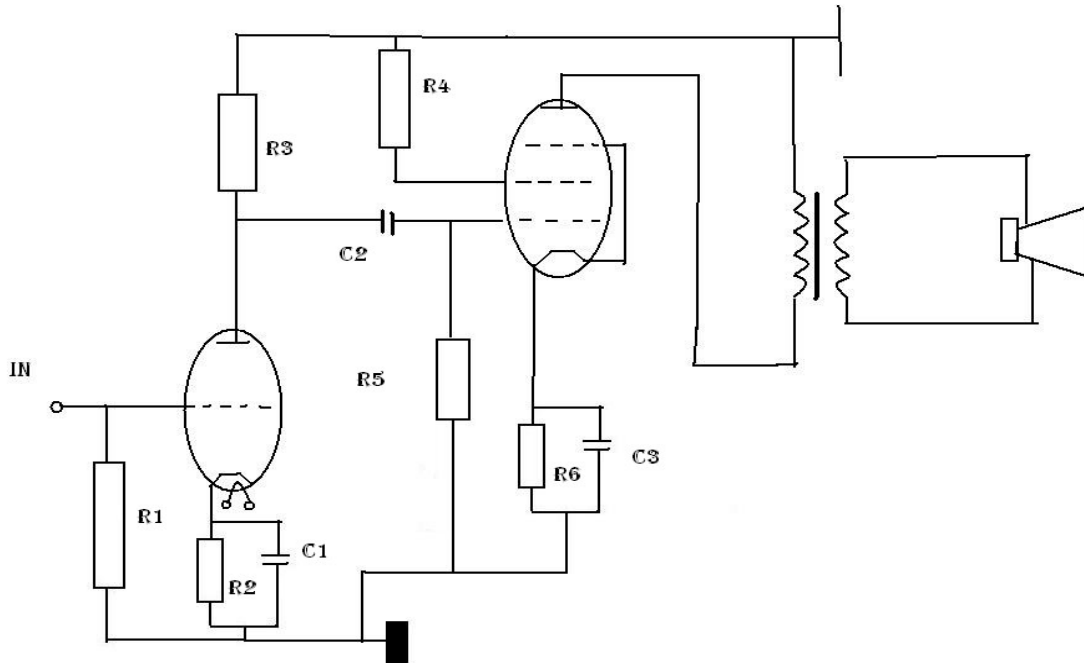


Normale Verstärker haben aber nicht nur eine Verstärkerröhre sondern mindestens zwei. In der Regel benutzt man eine Vorstufentriode und eine Endpentode. Die Vorstufentriode hat hierbei die Aufgabe, die hohe Signalstärke zu liefern, die eine Endpentode benötigt. Die obige Schaltung wird also durch einen zusätzlichen Verstärkerkreislauf erweitert. Hierbei wird der Ausgang der Triode und der Eingang der Pentode mit einem Kondensator gekoppelt. Dies hat den Effekt, dass nur die wechselnde Spannung, also das verstärkte Signal, und nicht die gleich bleibende Grundspannung, die für den Pentodeneingang viel zu hoch wäre, übertragen wird. Außerdem wird ein Widerstand hinter der Triodenanode notwendig, da sich ohne ihn nicht die Spannung an der Röhre verändern würde, sondern ihr Innenwiderstand, und es somit auch zu keiner Signalausgabe kommen würde. Zur leichteren Verständlichkeit kann man das auf Skizze 2.2 nachvollziehen.

Skizze 2.2



In der Praxis werden alle Teile aus einer Spannungsquelle betrieben. um die Unterschiedlichen Spannungen zu erreichen werden die Teile mit Widerständen und Kondensatoren wie folgt gekoppelt.



Skizze 2.3

### 2.2.2 Die Berechnungen

Die Widerstände kann man mit Hilfe der Kennlinien der Röhren berechnen. Man muss sich zuerst einen Arbeitspunkt für die Röhre auswählen. Dabei sollte man beachten, dass die Gitter-spannung nicht zu hoch liegt, da sonst der Abschnürpunkt der Röhre, bei dem keine Elektronen mehr von Kathode zu Anode gelangen, zu leicht erreicht würde, und dass die Anodenspannung hoch ist, um einen möglichst hohen Strom zu bewirken. Zum Beispiel nimmt man bei der Triode ECC82 eine Anodenspannung von 250V und eine Gitterspannung von -8V. Mit diesen Werten kann man durch Ablesen an den Kennlinien den Anodenstrom von z.B. 10mA folgern. Daraus kann man den

Innenwiderstand der Röhre errechnen:  $R_i = \frac{250V}{10mA} = 25k\Omega$ . Da normalerweise kein Gitterstrom

fließt, liegt an dem Widerstand  $R_1$  keine Spannung an. Das bedeutet, dass die Spannung am Gitter anliegt. Das Gitter hat somit das Potential 0. Da die Kathode im Vergleich zum Gitter positiver sein muss, in unserem Beispiel um 8V, muss ihr ein Widerstand vorgeschaltet werden, an

dem diese Spannung anliegt. Dieser Widerstand muss also den Wert  $R = \frac{8V}{10mA} = 0,8k\Omega$

besitzen. Wegen des Anoden- und des Kathodenwiderstandes werden an die gesamte Schaltung nun

aber nicht nur 250V angelegt, sondern man muss die Berechnung so variieren, dass durch die

Gesamtschaltung der Strom 10mA fließt. Das heißt:  $R_{gesamt} = R_{kathode}(R_2) + R_i + R_{anode}(R_3) = \frac{U}{10mA}$

Hierauf wird noch eine Anodenwiderstand festgelegt, wobei zu beachten ist, dass gilt

$A(Verstärkung) = \frac{\mu * Ra}{(Ri + Ra)}$ <sup>10</sup>, wobei  $\mu$  der schon erwähnte Leerlaufverstärkungsfaktor ist. Das

bedeutet, dass die Verstärkung mit wachsendem Anodenwiderstandes zunimmt. Da man aber nicht unbegrenzt hohe Spannungen zur Verfügung hat und nur eine bestimmte Verstärkung für die Versorgung der Pentode benötigt wird, geht man in der Regel von einer Gesamtspannung von ca. 400V aus. Daraus folgt:  $R_3 = 40k\Omega - 25k\Omega - 0,8k\Omega = 14,2k\Omega$ .

Um einen hohen Gitterstrom zu verhindern, sollte der Widerstand  $R_1$  sehr hoch sein.

Der Kondensator  $C_1$  bewirkt, dass selbst bei einer sich schnell ändernden Gitterspannung die Kathodenspannung konstant bleibt. Eine hohe Kapazität ist bei keinem Kondensator in der Schaltung nötig, entscheidend ist eine gute Isolation.

Die Widerstände  $R_5$  und  $R_6$  lassen sich in gleicher Weise berechnen, wie  $R_1$  und  $R_2$ . Hierbei muss man berücksichtigen, dass die Gitterspannung einer Pentode meist wesentlich höher liegt als die einer Triode. Der Arbeitspunkt der Pentode wird von der Gesamtspannung und einem eventuell vorhandenem Anodenwiderstand bestimmt.

Für die Berechnung des letzten Widerstandes  $R_4$ , der zur Kontrolle der Schirmgitterspannung benötigt wird, braucht man die Größe des Schirmgitterstroms. Dieser ist ebenfalls aus den Kennlinien ablesbar und beträgt in unserem Beispiel 5,5mA. Bei einer benötigten

Schirmgitterspannung von 250V beträgt er also  $R_4 = \frac{(400V - 250V)}{(5,5mA)} = 27k\Omega$ .



## **2.3. Der Bau eines Röhrenverstärkers**

Im nachfolgenden Kapitel wird der Bau eines Stereo Röhrenverstärkers mit zwei Vorstufentrioden und zwei Endpentoden beschrieben.

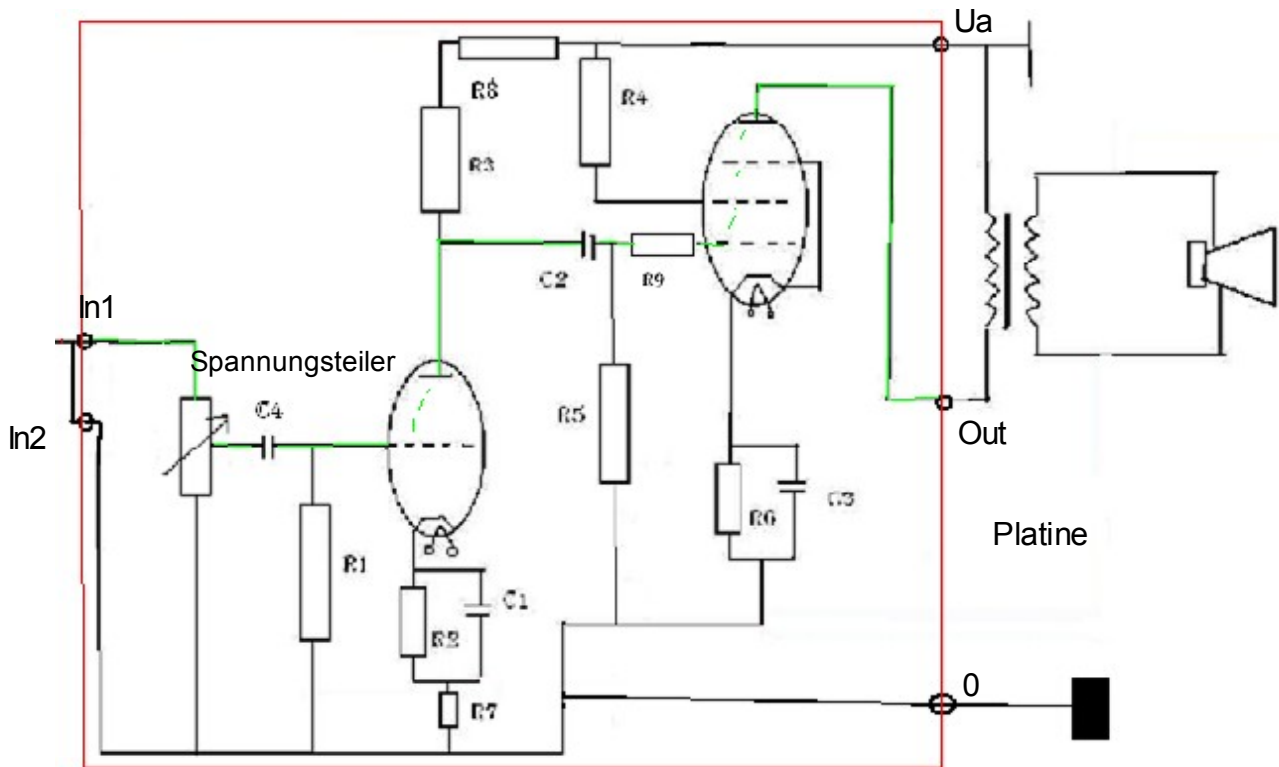
### **2.3.1 Die Bauteile**

Die für den Bau des Verstärkers notwendigen Teile wurden bei dem Internethändler WoJoBe gekauft. In ihm enthalten waren die Röhren ECC82, eine Doppeltriode, und EL84, eine Endpentode. Die Kennlinien dieser Röhren kann man in dem vorherigem Kapitel „Die Röhre“ nachschlagen. Eine Übersicht über die Teile sieht man auf dem nachfolgenden Bild. Hierzu ist zu bemerken, dass der Zusammenbau des Netzteils hier nicht näher beschrieben wird, da dies nicht spezifisch für den Röhrenverstärker ist und den Umfang der Facharbeit sprengen würde. Die Röhren werden nicht direkt auf die Platine gesetzt, sondern in Röhrensockel gesteckt, die mit der Platine verlötet werden. Die Trafos sind auf Grund ihrer Größe nicht auf der Platine, sondern außen am Gehäuse angebracht. Die Bauteile für die Verstärkungsschaltung sind alle doppelt, da es sich um einen Stereoverstärker mit zwei separaten Schaltungen handelt.



Bild 3.1

### 2.3.2 Die Schaltskizze



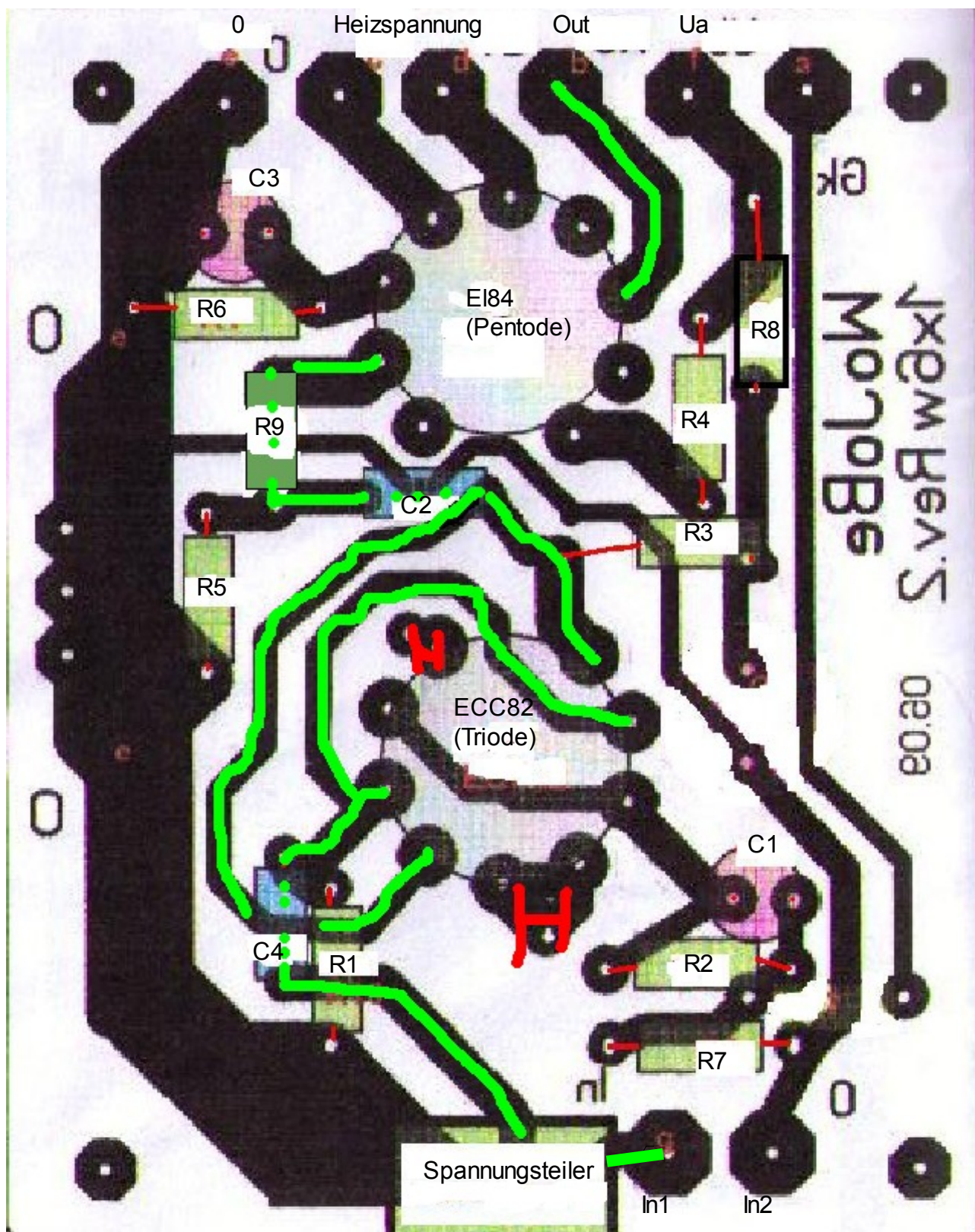
Skizze 3.2

Der Aufbau hier ist im wesentlichen der gleiche wie der im Kapitel „Theoretischer Aufbau“. Es kommt der Kondensator  $C_4$  hinzu, der die gleiche Aufgabe hat wie der  $C_2$ , nämlich die Absorption der wechselnden Spannung von der Grundspannung. Vor diesen Kondensator ist ein regelbarer Spannungsteiler eingebaut, über den sich die Lautstärke bestimmen lässt.  $R_7$  und  $R_8$  sind nur deshalb vorhanden, weil im Bausatz Rückkopplungen vorhergesehen waren, die ich jedoch entfernt habe, da sie für die Funktionsweise nicht wichtig sind.  $R_7$  und  $R_2$  ergeben zusammen den Kathodenwiderstand und  $R_3$  und  $R_8$  den Anodenwiderstand der Triode.  $R_9$  ist nur vorhanden, da auf der Platine eine Leitung überbrückt werden muss. Sein Wert ist nicht wichtig, da durch ihn kein Strom fließt.

Die kreisförmigen Markierungen der Skizze sind die Anschlüsse auf der Platine. Der „Weg“ des Signals ist sowohl auf Skizze 3.2 als auch auf Bild 3.3 grün eingezeichnet.

Da die Bauteile auf der Platine nicht so gut geordnet sind wie auf der Skizze folgt hier ein Bild der Platine mit beschrifteten Teilen. Die Lücken und unnötigen Teile im Aufbau sind auf die ausgelassenen Rückkopplungen zurückzuführen. Bei der Triode sind alle Anschlüsse zweimal vorhanden, da es sich um eine Doppeltriode handelt. Die mit einem roten H gekennzeichneten Anschlüsse sind für die Heizspannung.



Bild 3.3<sup>11</sup>

### 2.3.3 Berechnungen der benötigten Widerstände

Zur Berechnung der Widerstände ist erst eine Wahl des Arbeitspunktes nötig. Der wurde für die Triode mit 36V Anodenspannung und 1,7V Gitterspannung festgesetzt. Daraus ergibt sich ein Anodenstrom von 0,66mA. Es ergibt sich ein Kathodenwiderstand ( $R_2+R_7$ ) von  $2,53 \text{ k}\Omega$ . Da die Gesamtspannung 260V beträgt muss der Anodenwiderstand ( $R_3+R_8$ )  $320 \text{ k}\Omega$  betragen.

Die Pentode arbeitet bei 236V Anodenspannung, 255V Schirmgitterspannung und einer Gitterspannung von 7,3V. Das heißt, dass sie von einem Strom von ca. 50 mA durchflossen wird.

Aus den Kennlinien kann man hierfür einen Wert für den Schirmgitterstrom von 4,3mA ablesen. Also benötigt man einen Widerstand  $R_4$  von  $470 \text{ }\Omega$ . Der Innenwiderstand des Trafos muss, auf Grund der Gesamtspannung von 260V, bei  $16 \text{ }\Omega$  liegen.

Für die 7,3V Gitterspannung benötigt man einen Kathodenwiderstand ( $R_6$ ) von  $150 \text{ }\Omega$ .

Die Widerstände  $R_1$  und  $R_5$  sind nur zum verhindern eines zu großen Schirmgitterstroms und sollten daher sehr groß sein. In diesem Fall liegen sie beide bei  $470 \text{ k}\Omega$ .

Die Werte der Kondensatoren sind unwichtig, solange sie eine gute Isolation besitzen.

Die Heizspannung der beiden Röhren beträgt jeweils 6,3 V, weshalb man sie an eine Spannungsquelle anschließen kann.

### 2.3.4 Bedienung

Außer der schon beschriebenen Verstärkungsschaltung wurde noch eine Netzteilschaltung gebaut. Für diese ist die Netzplatine und der Netztrafo bestimmt. Außerdem beinhaltet sie die Sicherungen des Systems.

Nachdem man ein Eingangssignal an den Verstärker angeschlossen und ihn angeschaltet hat, muss man ca. 20 Sekunden warten, da die Röhren erst warm werden müssen. Der Verstärker darf nie ohne Last (d.h. Lautsprecher oder Ersatzwiderstand) betrieben werden, da es sonst zu einem Kurzschluss kommen kann.

Bei der Öffnung sollte der Verstärker abgesteckt sein, da auf manchen Leitungen auch bei ausgeschaltetem Netzstecker noch eine hohe Spannung anliegt. Während des Betriebes liegt auch am Transformator eine Spannung von bis zu 150V an, vor der man sich in Acht nehmen sollte. Um in das Innere des Verstärkers sehen zu können muss man zuerst die Röhren abnehmen. Anschließend dreht man den Verstärker um (die Trafos sind sehr stabil), löst die vier Schrauben der Bodenplatte und nimmt diese ab. Zur Erläuterung der einzelnen Teile folgen zwei beschriftete Bilder.



Bild 3.4

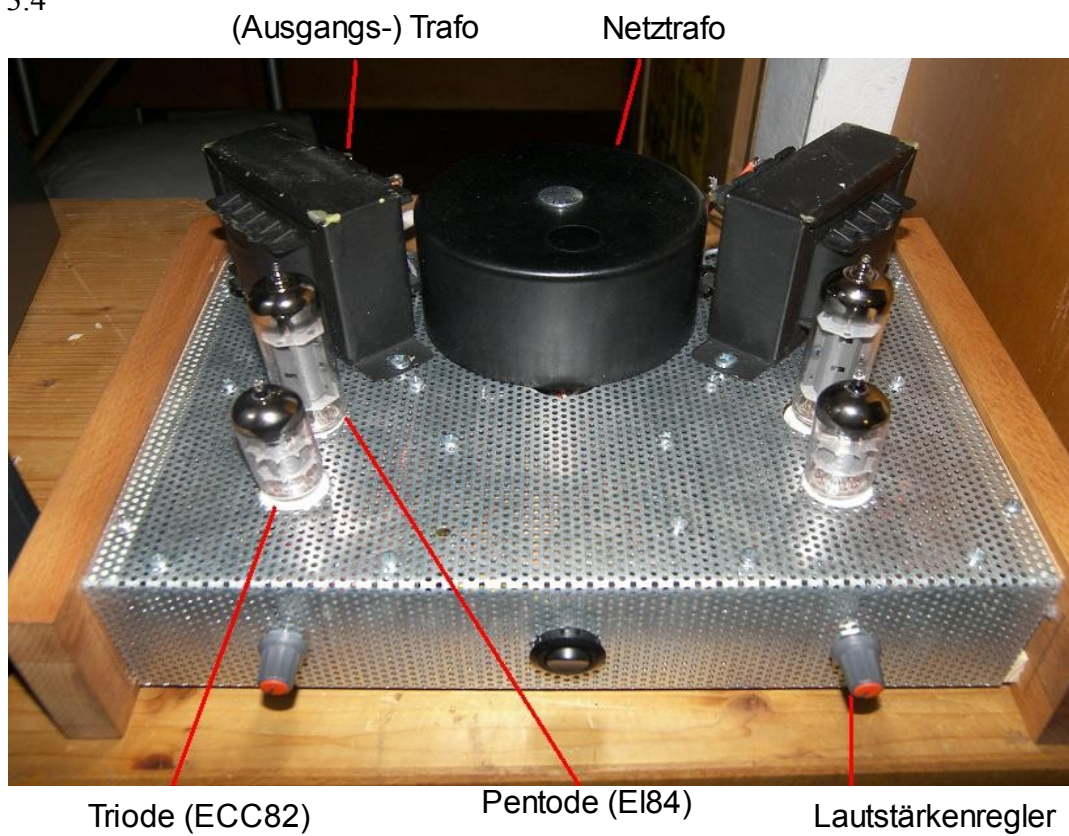
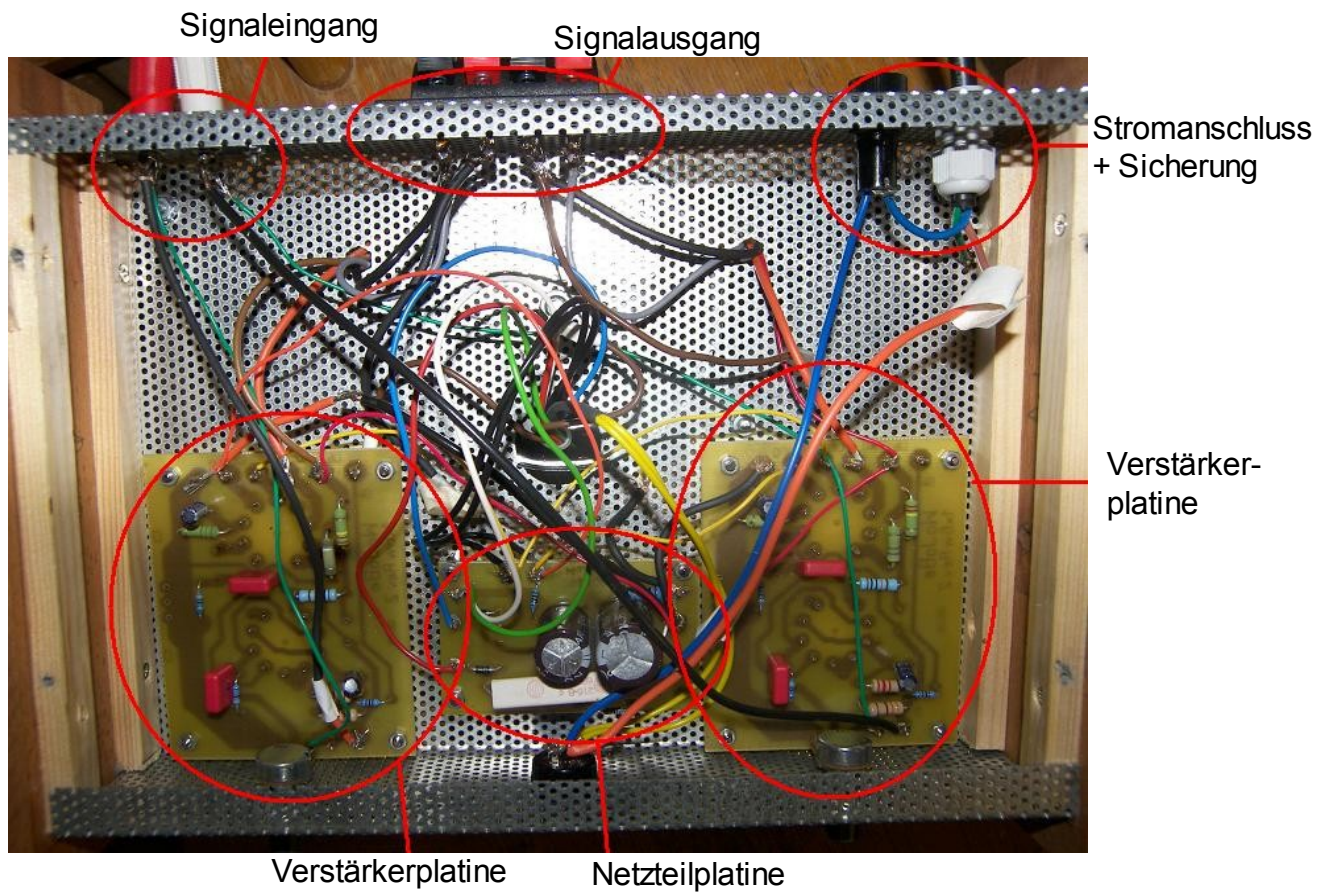


Bild 3.5



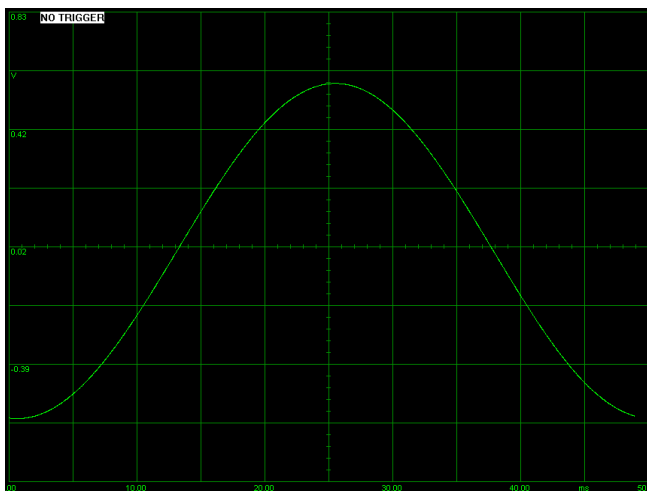
## 2.4 Vergleich mit einem modernem Transistorverstärker

Dass der Röhrenverstärker heute nur noch von Liebhabern und in Gitarrenverstärkern verwendet wird hat mehrere Gründe. Zum Einen ist die Produktion von Transistoren billiger als die von Röhren. Zum anderen sind Röhren zerbrechlich und wesentlich größer als Transistoren. Einer der Hauptgründe dafür, dass es immer noch Röhrenverstärker gibt, ist der besondere Klang.

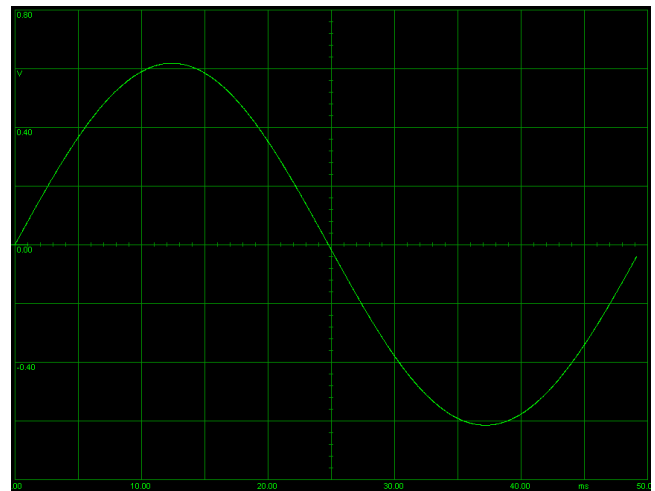
### 2.4.1 Unterschiede im Klang

Zur Ermittlung der klanglichen Unterschiede wurden die Ausgangssignale des gebauten Röhrenverstärkers und eines Transistorverstärkers (JVC RX-5060) mit dem Eingangssignal verglichen.

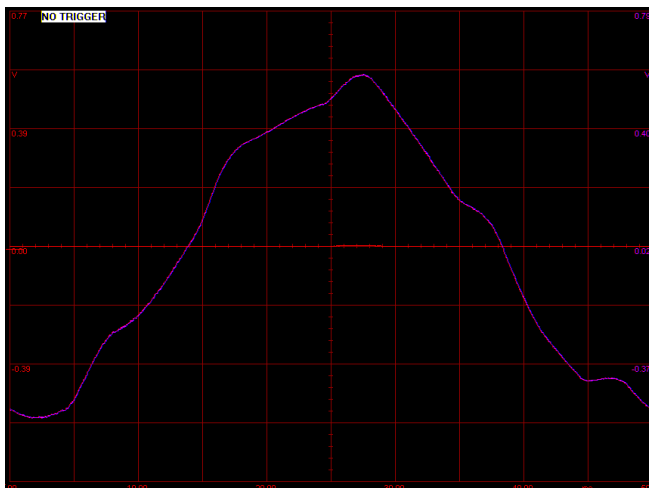
Bei einem angelegten Sinussignal mit der Frequenz 20Hz sieht man zwischen dem Ausgangssignal des Transistorverstärkers (4.1) und dem Eingangssignal (4.2) keine Unterschiede, wohingegen das Signals des Röhrenverstärkers (4.3) erheblich verzerrt ist.



4.1



4.2



4.3

Diese Verzerrung bei Bild 4.3 besteht wegen eines Grundrauschens, dass beim Röhrenverstärker auftritt. Die Ursache dafür ist, dass bei einem Anstieg des Anodenstroms einer Röhre die Spannung am Trafo beziehungsweise am Anodenwiderstand steigt. Daraus folgt aber wieder ein absinken der Anodenspannung, was einen schwächeren Anodenstrom zur Folge hat. Bei einem schwächerem Anodenstrom sinkt jedoch wieder die Spannung am Widerstand/Trafo. Das heißt, dass die Spannung am Trafo nicht konstant bleibt sondern immer um einen bestimmten Wert pendelt. Es ergibt sich also eine wechselnde Spannung die etwa bei 100Hz liegt und von den Lautsprechern als Rauschen wiedergegeben wird.

Ein anderer Unterschied ist, dass ein Transistorverstärker Spannungsspitzen „abschneidet“, was heißt, dass er, wenn ein zu starkes Eingangssignal kommt alle die Werte die zu hoch sind auf den Grenzwert herunter regelt. Dies sieht man auf Bild 4.5. Der Röhrenverstärker hingegen toleriert zu hohe Eingangssignale und flacht sie nur ab (Bild 4.6). Dies kommt, da bei einem zu hohen Eingangssignal der Inseleffekt (siehe Kapitel 2.1.2.3) auftritt, der die Röhre ja nicht sperrt, sondern nur ihre Steilheit verändert. Das Bild 4.4 zeigt das Eingangssignal der Verstärker.

Bild 4.4

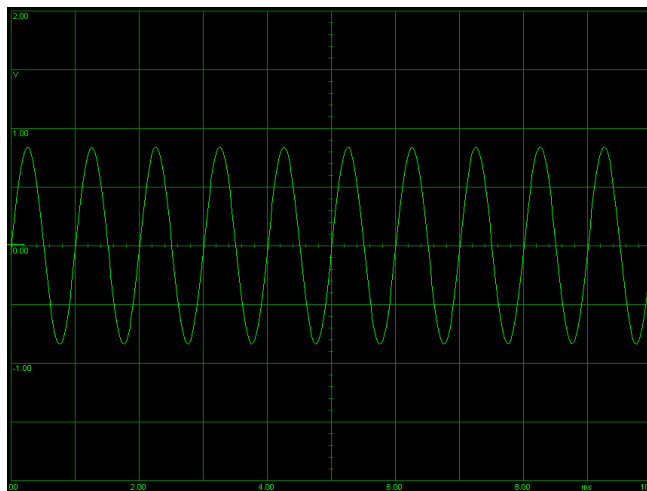


Bild 4.5

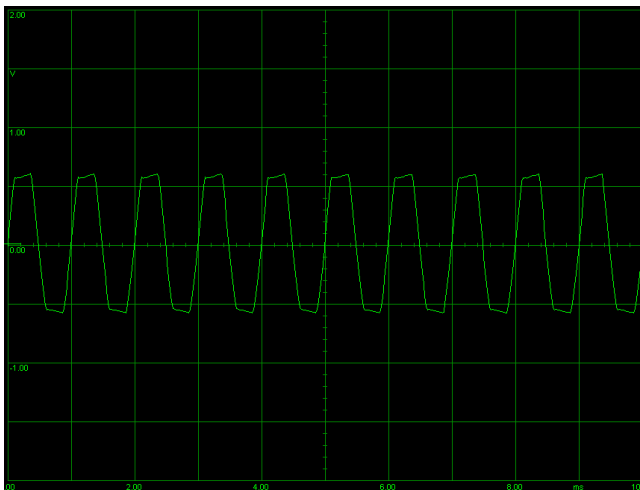
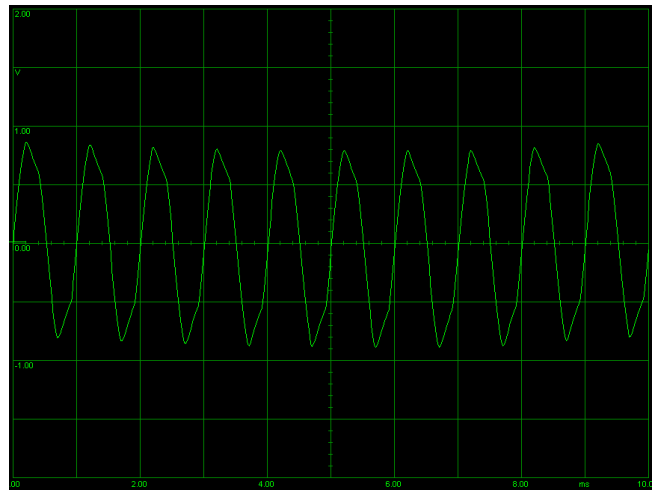


Bild 4.6



### **3. Die Zukunft der Röhre**

Die Röhre ist zwar aus den Hausgeräten weitgehend verschwunden, aber in der Funktechnik wächst ihre Bedeutung sogar noch. Alle großen Sender, von Mobilfunk zu Radio und Fernsehen sind mit ihr betrieben. Das hat den Grund, dass Röhren leistungstärker als Transistoren sind. Sie sind also aus unserem täglichen Leben gar nicht wegzudenken. Auch der Röhrenverstärker ist zwar eine alte Technologie, aber so gut aufgebaut, dass seine Schaltungen auch heute noch für den Transistorverstärker verwendet werden. Außerdem hat er ein eigenes Klangbild, das immer Menschen dazu bewegen wird, seinen Klang dem des Transistorverstärkers vorzuziehen. Diese Entwicklung zeichnet sich bereits heute ab. In den letzten Jahren hat die Röhre ein großes Comeback gefeiert und in immer mehr Wohnzimmern steht ein Röhrenverstärker. Vor allem bei vielen Musikliebhabern wird sein Klang als sehr harmonisch empfunden und daher hoch geschätzt. Daher wird der Röhrenverstärker auch in Zukunft seinen Platz in vielen Wohnzimmern behaupten.



### Quellenverzeichnis

- P. Dieleman, Theorie und Praxis des Röhrenverstärkers, Aachen, 2007<sup>2</sup>, Kap 1, 2 , 3, 5
- W. J. Berendt, Bauanleitung 2\*6W Rev. Röhrenverstärker, o.O., o.J.
- <http://www.drtube.com/datasheets/ecc82-jj2003.pdf> Stand: 22.1.10
- <http://www.drtube.com/datasheets/el84-jj2003.pdf> Stand: 22.1.10
- <http://www.univie.ac.at/pluslucis/PlusLucis/011/s2933.pdf> Stand: 25.01.10
- dtv-Lexikon, München, 2006 (Sonderausgabe), Band
- Programme: -Zelscop 1.05, [www.zelscop.com](http://www.zelscop.com)
  - Test Ton Generator 4.32 von Timo Esser 2009
  - ([http://www.heise.de/software/download/test\\_tone\\_generator/8005](http://www.heise.de/software/download/test_tone_generator/8005))

Ich erkläre hiermit, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

....., den.....  
Ort Datum

.....  
Unterschrift des Verfassers