

1. Beweggründe zur Anfertigung dieser Arbeit

Auch in Zeiten, in denen Audiosignalverstärker fast ausschließlich in Transistorbauweise gefertigt werden, gibt es noch zwei Nischen, in denen sich auch heute noch Verstärker in Röhrenbauweise behaupten können: Audiophile bevorzugen sie aufgrund ihrer Linearität und manche Gitarristen aufgrund ihres „warmen“ Klangs und ihrer dynamischen Vielfältigkeit. Röhren reagieren aufgrund der hohen Anodenspannung sehr schnell und präzise auf Dynamik. Ich spiele selbst Gitarre und wollte schon lange einen solchen Verstärker besitzen. Da ich mich außerdem noch sehr gerne technisch betätige, beschloss ich, einen Röhrenverstärker zu bauen. Im Gegensatz zu hochwertigen High-End-Stereoverstärkern ist jedoch bei Gitarrenverstärkern die Linearität eben gerade nicht erwünscht, da sonst die Höhen zu sehr betont würden. Daher werden bei Gitarrenverstärkern noch diverse auch veränderbare Schwingkreise in den Signalweg integriert um bestimmte Frequenzbereiche mehr oder weniger zu betonen. Die Werte der hier verwendeten Bauteile richten sich ausschließlich nach den Geschmäckern der Gitarristen, daher werde ich auf sie nicht weiter eingehen.

2. Grundlegendes Prinzip von Verstärkerröhren

Der grundlegende Gedanke der Verstärkerröhre kommt beim Patentanspruch von Robert von Lieben 1906 gut zum Ausdruck: „Kathodenstrahlrelais für Stromwellen [...], dadurch gekennzeichnet, dass langsame Kathodenstrahlen [...] durch die zu verstärkenden Stromwellen derart beeinflusst werden, dass sie in ihrem Stromkreise Wellen gleicher Frequenz, aber höherer Amplitude hervorrufen.“¹

3. Entwicklungsgeschichte der Niederfrequenz-Verstärkerröhre

Die Entwicklung des Röhrenverstärkers begann etwa zeitgleich in Europa mit Robert von Lieben und in den Vereinigten Staaten mit Lee de Forest. 1906 meldete von Lieben ein Patent für sein „Kathodenstrahlrelais“ an, das er zur Verstärkung von analogen Signalen des 1876 eingeführten Telephons konstruiert hatte. Es bestand aus einer evakuierten Glasröhre mit Quecksilberdampfresten, in der von einer mit Alkali-Oxiden belegten hohlspiegelförmigen Glühkathode nach

1 Patentschrift Nr. 179807, Kaiserliches Patentamt des Deutschen Reiches, gültig ab 4.März 1906

Professor Wehnelt ein Elektronenstrahl ausgesandt wurde, der sich in einem Brennpunkt traf. Diese Elektronen wurden durch eine zwischen Kathode und Anode angelegte Gleichspannung zur Anode hin beschleunigt und durchliefen dabei ein zwischen den Elektroden liegendes Magnetfeld. Dieses wurde durch das analoge Eingangssignal in Form einer Wechselspannung bestimmt. So verändert sich der etwas unscharfe Brennpunkt und es treffen je nach Ablenkung Elektronen durch ein Loch in einer Abschirmdose auf die sich darin befindliche Anode.

Parallel dazu meldete Lee de Forest in den USA 1907 ein Patent für eine Schaltung zum Empfang von drahtlos übertragenen Morsezeichen an. Bei diesem Empfänger fügte er in der Detektordiode, die auch noch Quecksilberdampf enthielt, ein positiv geladenes Gitter zwischen Glühkathode und Anode ein, um durch Stoßionisierung entstehendes Anodenglimmlicht zu verhindern.

1910 wurde dann die „Lieben-Röhre“ zum Patent angemeldet; sie bestand aus Kathode, Anode und Steuergitter. Je nach Ladung des Gitters wurden die von der Kathode emittierten Elektronen entweder gebremst oder stärker zur Anode hin beschleunigt. Das führt dazu, dass zwischen Kathode und Anode ein Strom mit der gleichen Frequenz wie die am Gitter anliegende Wechselspannung, jedoch mit höherer Amplitude fließt. Das war die erste Verstärkertriode; auch sie enthielt noch Gasreste. Mit ihr wurde der 1911 präsentierte erste funktionsfähige Telephonverstärker betrieben.

1912 prüfte Lee de Forest die Verwendbarkeit seiner Elektronenröhre auch für die Verstärkung von analogen Telefonsignalen und trat dazu in Kontakt mit der Firma Western Electric, bei der Harold D. Arnold die Möglichkeit zur Konstruktion eines Telephonverstärkers erkannte. Bei Western Electric erlangte man schließlich auch die Erkenntnis, dass zur Elektronenemission von einer Glühkathode keine Gasreste notwendig sind. Ab 1913 wurde daher in den USA die Elektronenröhre mit Hochvakuum entwickelt.

1915 wurde die Triode bei Siemens & Halske zur Tetrode weiterentwickelt; das zwischen Steuergitter und Anode eingefügte Schirmgitter ermöglichte eine größere Verstärkung.

Eine weitere Leistungssteigerung konnte schließlich mit dem 1926 von Jobst und Tellegen entwickelten Bremsgitter, das zwischen Schirmgitter und Anode sitzt, erreicht werden.

4. Grundkonfiguration eines Leistungsverstärkers mit Vor- und Endstufe

Im Folgenden möchte ich eine einfache Grundkonfiguration eines Röhrenverstärkers mit Trioden sowohl in der Vor- sowie der Endstufe vorstellen.

In dieser von mir angefertigten Schaltskizze sowie in den in der Literatur zu findenden taucht die Kathodenheizung nicht mehr explizit auf, da sie mit dem Signalweg und der restlichen Schaltung elektrisch nicht in Verbindung steht. Sie besteht meistens aus einem Heizdraht, der isoliert in der Kathode verläuft.

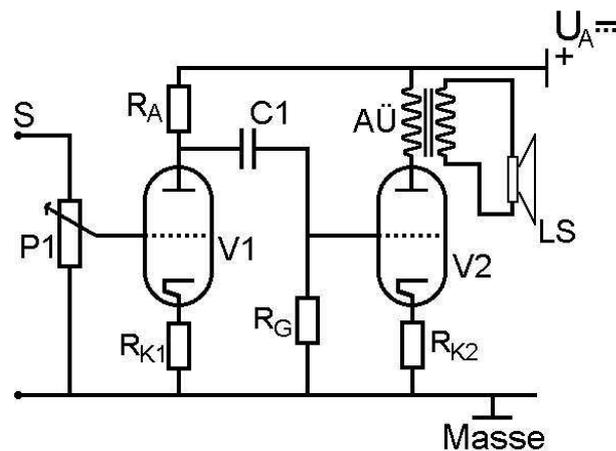


Abbildung 1: Quelle: Eigenentwurf

Das bei S ankommende Eingangssignal gelangt zunächst zum Potentiometer P1, mit dem die Lautstärke eingestellt wird. Für das Potentiometer wählt man einen Wert, der dem Innenwiderstand der Signalquelle entspricht. Das abgegriffene Signal wird nun an das Gitter der Vorstufenröhre V1 angelegt. Hier findet eine Spannungsverstärkung statt, um die Endstufenröhre stärker ansteuern zu können. Das vorverstärkte Signal wird mittels des Kondensators C1 an das Gitter der Endstufenröhre V2 gekoppelt. Der Gitterableitwiderstand R_G sorgt dafür, dass das Gitter nicht vorgespannt ist. In V2 findet nun die eigentliche Leistungsverstärkung statt. Da die meisten Lautsprecher einen deutlich niedrigeren Nennscheinwiderstand aufweisen als der Ausgangswiderstand der Endstufenröhre muss dieser mittels eines Ausgangsübertragers AÜ heruntertransformiert werden.

5. Aufbau eines Leistungsverstärkers

Nachdem ich auf die der Verstärkung mit Elektronenröhren zugrundeliegende Theorie eingegangen bin, möchte im Folgenden vom Bau eines einfachen Leistungsverstärkers berichten. Zuerst wollte ich eine etwas veränderte Schaltplanidee aus einem Buch verwirklichen, jedoch musste ich feststellen, dass der Gesamtpreis der Einzelteile sehr hoch ausgefallen wäre. Allein der Trafo für Kathodenheizung und Anodenspannung hätte mit über 80 Euro zu Buche geschlagen, dazu wäre ein ähnlich teurer Ausgangsübertragungstrafo gekommen, sowie die Röhren und diverse günstigere Kleinteile wie Widerstände, Kondensatoren und Potentiometer. Also beschloss ich auf einen Bausatz zurückzugreifen und diesen in leicht veränderter Form zu bauen. Dieser kostete nur 107,50 Euro und enthielt alle benötigten Elektroteile, ein Aluminiumgehäuse und einen Schaltplan, den ich mit leichten Veränderungen verwendete, sowie Montagehinweise. Da es sich um einen Verstärker zur Verwendung mit einer Gitarre handelt, kommen noch diverse Bauteile zur Klangbeeinflussung zum Einsatz, dessen Werte nur vom subjektiven Empfinden abhängen. Ich werde sie im folgenden Baubericht deshalb nicht weiter erläutern und nur auf die wesentlichen Bauteile einer Röhrenverstärkerschaltung eingehen.

Aufgrund des niedrigen Ausgangspegels von Gitarrentonabnehmern wird das Signal noch bevor es den Lautstärkerregler durchläuft verstärkt und erst dann an eine zweite Vorstufentriode geleitet, wobei die Vorstufen der Spannungsverstärkung des Signals dienen. Erst in der Endstufe findet die eigentliche Leistungsverstärkung statt. Diese ist hier in Gegentaktbauweise ausgeführt, was bedeutet, dass zwei Triodensysteme parallel betrieben werden, um eine höhere Leistung zu erzielen. Um eventuell im Signalweg auftretende Störfrequenzen zu eliminieren wird bei der Gegentaktschaltung an die zweite Endstufenröhre über Kopplungskondensatoren das invertierte Signal angelegt. Das verstärkte Signal wird erst im Ausgangsübertrager wieder zusammengeführt, der dazu im Primärkreis möglichst symmetrisch aufgebaut sein muss. Im Ausgangsübertrager werden so Störfrequenzen weitgehend ausgelöscht, da sie sich hier gegeneinander aufheben. Als Röhren kommen eine 6N2P für die Vorstufe und eine 6N1P für die Endstufe zum Einsatz, beide enthalten jeweils zwei Triodensysteme. Nun aber zum Bauvorgang.

Zuerst bohrte ich in das Gehäuse alle Löcher für die Befestigung der Bauteile und

für die Bedienelemente an einer Standbohrmaschine. Löcher größerer Durchmesser bohrte ich mit einem Bleeschälbohrer auf die erforderliche Größe auf. Zusätzlich zu diesen Bohrungen dachte ich auch an weitere Löcher um das Gehäuse mit einer Bodenplatte versehen zu können und eventuell einen Holzrahmen um das Gerät befestigen zu können. Als Nächstes setzte ich die Bedienelemente wie Potentiometer und Schalter ein, zwei Lötleisten, die Eingangs- und Ausgangsbuchse und eine Sicherungshalterung.

Auch den Trafo, der Anodenspannung und die Kathodenheizspannung von zirka 6,3 Volt Wechselspannung stellen sollte, montierte ich mit Schrauben auf das



Gehäuse, sowie den Ausgangsübertrager.

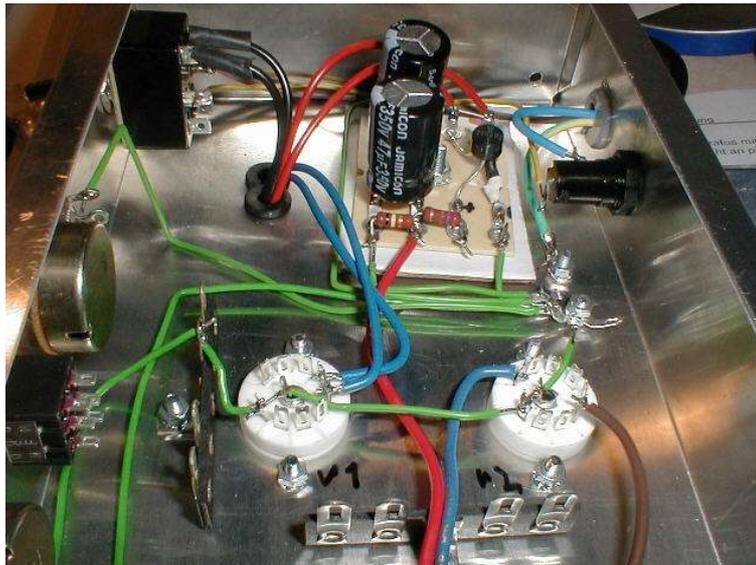
Nun galt es die Netzteilplatine zu bestücken und zu montieren, sie trägt unter anderem den Brückengleichrichter, der die Wechselspannung der Sekundärseite der Trafos zur Anodenspannung gleichrichtet, sowie weitere Bauteile, die der Glättung der Spannung dienen. Die grünen Kabel führen zur gemeinsamen Masse.



Ich installierte nun die Röhrenfassungen sowie den Netzanschluss und verdrahtete

ihn mit der Sicherung, dem Netzschalter und der Netzteilplatine. Erste Messungen unter Spannung ergaben für die Sekundärseite des Trafos für die spätere Anodenspannung 200 Volt Wechselspannung (die beiden roten Kabel) und 6,8 Volt Wechselspannung für die Kathodenheizungen (die beiden blauen Kabel, die zum Sockel von Vorstufenröhre V1 laufen, links im Bild). Nach dem Gleichrichter maß ich 266 Volt Gleichspannung. Dabei ist mit höchster Vorsicht auf die in diesem Gerät lebensgefährlichen Spannungen zu achten! Selbst nach dem Ziehen des Netzsteckers muss man unbedingt mit den weiteren Arbeiten ein paar Minuten warten bis sich alle Kondensatoren entladen haben!

Ich legte noch weitere Masseverbindungen (grüne Kabel). Die drei vom unteren Bildrand kommenden Kabel gehören zum Ausgangsübertrager. Das rote Kabel führt vom Gleichspannungsausgang des Netzteils zum mittleren Abgriff der Primärseite, Blau und Braun von den Anoden der Endstufentrioden der Röhre V2 zu den äußeren Abgriffen.

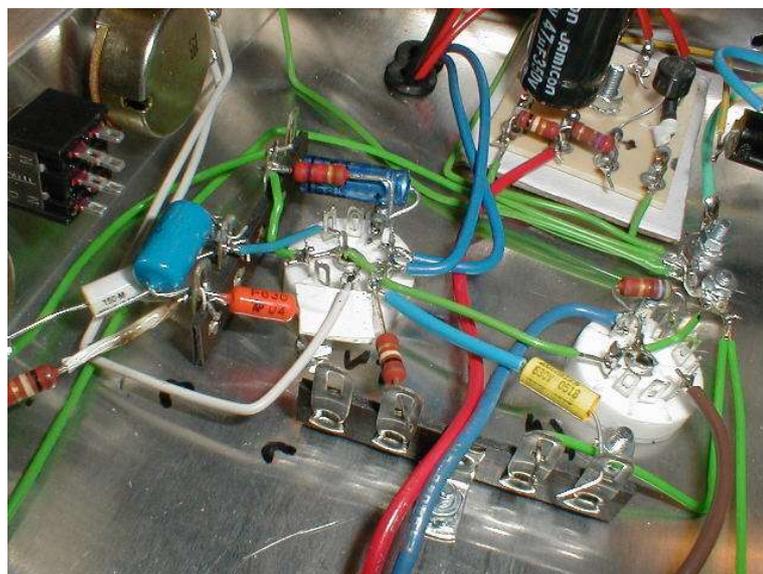


Den Kathodenwiderstand R10 für beide Endtrioden (rechts im Bild) lötete ich zwischen das mit Masse verbundene Gitter von Endstufenröhre V2 Triodensystem a und die Kathode. Später verband ich die Kathoden noch miteinander. Es folgten R5 und C3 (weiß) der Tonreglerschaltung und der Kondensator C5 (orange). Ich verband das Gitter der 2. Vorstufentriode mit dem Abgriff des Volumenreglers (weißes Kabel). Bei Audioschaltungen werden meistens Potentiometer mit logarithmischer Regelkurve verwendet, da für eine gehörte Verdopplung der Lautstärke eine zehnfache Leistungssteigerung erforderlich ist.



Der Kondensator C4 (blau) wird parallel zum variablen Teil der Klangreglerschaltung eingesetzt. Parallel zum Kathodenwiderstand der ersten Triode war der Kondensator C1 vorgesehen, dem mittels eines Schalters noch C2 parallel geschaltet werden könnte. Durch die Veränderung der Gesamtkapazität werden bestimmte Frequenzen mehr oder weniger betont. Da ich die Schaltung aber so einfach wie möglich bauen wollte, verwendete ich nur C2 (metallischblau) parallel zum Kathodenwiderstand.

Das in der Vorstufe verstärkte Signal wird mittels Kondensator C6 (gelb) über den später folgenden Widerstand R8 an das Gitter der Endstufentriode V2b gekoppelt.



R3 ist der Arbeitswiderstand der ersten Vorstufentriode V1a (im Bild rechts neben

V2 mit denen von V1 (rotes & weißes Kabel) und installierte den Gitterableitwiderstand R1 der ersten Vorstufentriode.

Da ich manche Bauteile nur einseitig angelötet hatte, um mir die Installation später folgender Bauteile zu erleichtern, verlötete ich nun alle noch lockeren Verbindungen und überprüfte sämtliche Lötstellen und verband die Sekundärseite des Ausgangsübertragers mit der Ausgangsbuchse.



Jetzt galt es noch sämtliche Verschraubungen zu überprüfen, die Potentiometerdrehknöpfe zu montieren und die Röhren einzusetzen.

Nach dem Einstecken und Einschalten begannen die Kathoden orange zu glühen, was ein gutes Zeichen war.



Nun schloss ich meine Gitarre an, um die Funktion zu prüfen. Das Gerät

funktionierte einwandfrei. Bei niedrigen Lautstärken traten keine Verzerrungen auf, ab einer Reglerstellung von etwa zwölf Uhr kam der typisch verzerrte Klang zum Vorschein. Der Ton ist röhrentypisch warm und druckvoll; auf die Wahl verschiedener Tonabnehmerpositionen an der Gitarre reagiert der Verstärker deutlich präziser als der mir zum Vergleich zur Verfügung stehende Transistor-Verstärker der Marke „Fender“.



6. Literaturverzeichnis und Quellennachweis

1. Artikel „Robert von Lieben und die Entwicklung der Röhrenverstärker“ von Franz Pichler, erschienen in „PLUS LUCIS“ Ausgabe 1/2001
2. Buch „Verstärker in Röhrentechnik“ von Rainer zur Linde, Elektor Verlag Aachen
3. Buch „Röhren-NF Verstärker Praktikum“ von Otto Diciol, Franzis Verlag
4. Buch „Audio-Röhrenverstärker von 0,3 bis 10 Watt erfolgreich selbst bauen“ von Wilfried Frohn, Franzis Verlag
5. Buch „Audio- und Gitarrensaltungen mit Röhren“ von Rainer zur Linde, Elektor Verlag Aachen
6. Patentschrift Nr. 179807, Kaiserliches Patentamt des Deutschen Reiches, gültig ab 4. März 1906
7. Bausatz „Madamp G2“ mit Schaltplan und Verdrahtungsanleitung
8. Datenblätter der Doppeltrioden 6N1P und 6N2P der Firma Svetlana
9. Eigene Photos (alle), eigene Schaltskizze

Erklärung:

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

_____, den _____
Ort Datum

Unterschrift des Schülers

- -

ljyskdhskfshgljkxfuj gnhvxlkjfjgbv.lifvxjkgmvbhh.lixfvjky gmx.blkjitjkey. vl-
kigjbvglöo- jb,kgbli-jk gvl.-kbjxfvcglijk,v li.bgvj hbl.kg vjm kölif
jcmkgbci.gvjdbhui, gktjvxf