

RADIORAMA

INTERESSANTES FÜR FUNK- UND AV-LIEBHABER

Nr. 57

Rückkehr zu den Röhren...

Zeitschrift «Make»
(Maker Media GmbH)
www.make-magazin.ch



«Make» erscheint alle zwei Monate;
hier der Inhalt der Ausgabe 2/2015:

Leserforum	DIY-Roboter: Bauanleitung für günstigen Roboter
Werkstattberichte: FabLab-News und Szeneberichte	Reingeschaut: Gameboy Pocket
DIY-Lasercutter: Wie man den Laser aus dem Tetris-Projekt (Make 1/2015) baut	Mario Lukas: Multi-Bastelmaschine im Interview
Analoge Beatmaschine: Elektronisches Schlagzeug aus passiven Bauteilen	Community-Projekte: 3D-Drucker Open Exposer und eine GPS-Mystery-Box
Part Time Scientists: Mondmission aus privater Hand	GPS-Empfänger mit Arduino
Lieblingswerkzeug: DIY-Prüfstift	Bauanleitung für einfaches Helfendes-Händchen
Robotik-Kits: Sieben Plattformen im Test	Was uns bewegt
Roboter-Arm mit Objekt-Tracker steuern	Grundlagen: Elektronenröhren mit Baubeispielen
Mikrocontroller: Übersicht über aktuelle Boards für die Robotik	Lieblingswerkzeug: Transistortester Testy
Abstands-Sensoren mit Arduino programmieren	Wind messen mit einem Anemometer
Gesichtserkennung mit Python und Webcam	Basteln: Neues Leben für alte Tastaturen
Schwarmverhalten: Einfache Programmier-Anleitung	Batteriemonitor zeigt Ladezustand von Bleiakkus an
	Superzeitlupe mit GoPro
	Kurzvorstellungen: HDMI-Displays mit Touch-Controller, HelvePic32, Chibitronics

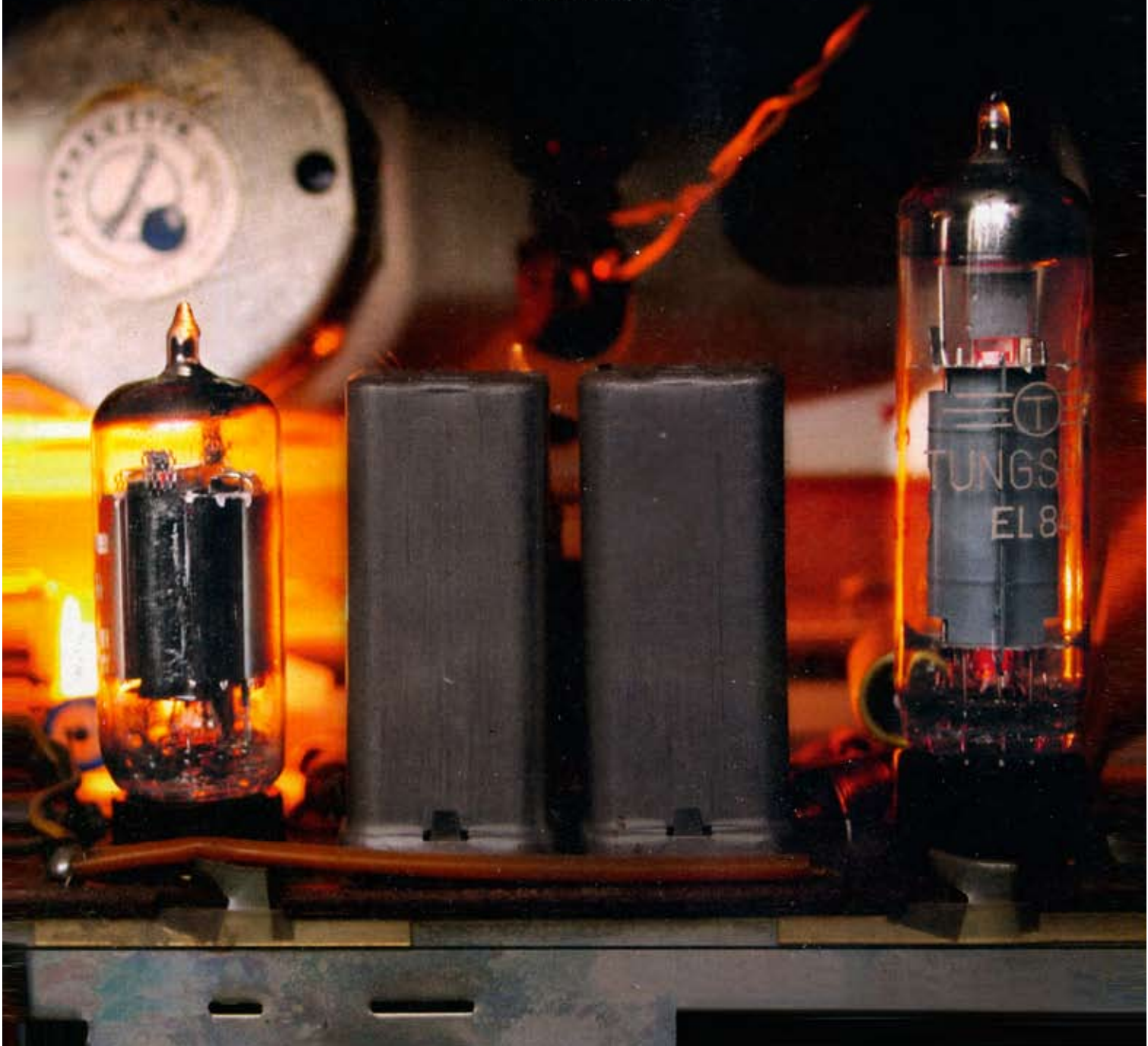
Das dem Heft entnommene Kapitel umfasst den Abschnitt «Röhrentechnik für Einsteiger» (Seiten 2 bis 7), sowie zwei Bauanleitungen «Netzgerät für Röhrenschaltungen» (Seiten 8 und 9) und «Audioverstärker mit Verbundröhre PCL86» (Seiten 10 und 11)

Mit Dank an:
Jürg Klossner, Oftringen

Röhrentechnik für Einsteiger

Für die Generation Smartphone/Spielekonsole ist die Welt der mit Röhren bestückten Unterhaltungselektronik unbekanntes Terrain. Dieser Artikel soll – nicht nur ihr – leicht verständlich aufzeigen, zu was diese Art der Elektronik zu leisten imstande war und wie man auch heute noch damit Spaß haben kann – vorausgesetzt, man fasst den Lötkolben an der kalten Seite an und weiß, wie man mit verhältnismäßig hohen Spannungen umgehen muss.

von Hans Borngräber



Die Geschichte der Elektronenröhre beginnt mit der Glühlampe, erfunden von Thomas Edison. Dieser hatte den Verdacht, dass Elektronen sich auch im Vakuum fortbewegen können. Um dies zu beweisen, erstellte er 1870 einen Versuchsaufbau mit einer Glühlampe, einer Spannungsquelle und einem empfindlichen Messgerät.

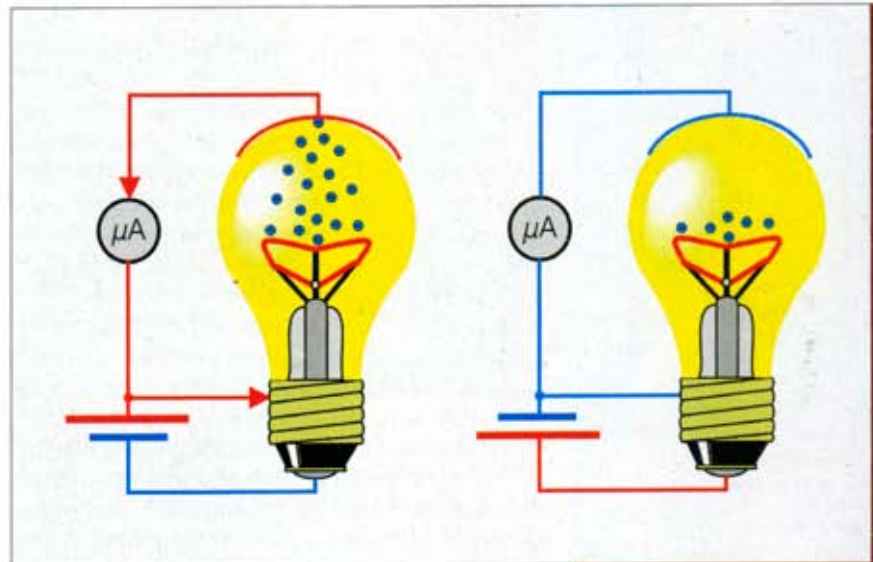
Der durch das Messinstrument angezeigte Strom bewies, dass von einem glühenden Metallkörper (der Glühwendel) Elektronen ausgesandt werden. Der Stromfluss funktionierte allerdings nur vom negativen Pol (Kathode) zum positiven Pol (Anode) hin – polt man die Spannung um, fließt kein Strom. Diese Messanordnung war im Grunde die erste Elektronenröhre, eine Diode. Edison ließ sich zwar diese Erkenntnis patentieren, aber er erkannte ihre Möglichkeiten nicht. In einigen Sprachen hat die Elektronenröhre bereits in dieser Zeit ihren Namen bekommen, so heißt sie auf französisch heute noch „la lampe“, auf Deutsch: die Lampe.

Der amerikanische Wissenschaftler Richardson erarbeitete in den folgenden Jahren die mathematischen Grundlagen zur Elektronen-Emission von glühenden Metallkörpern. Er erhielt dafür 1928 den Physik-Nobelpreis. Aber auf die Idee, diesen Strom steuerbar zu machen, kam auch er nicht.

Die erste richtige Elektronenröhre erfand dann 1906 der österreichische Telefonanlagenhersteller Thomas von Lieben. Er war auf der Suche nach einem Verstärker für seine Anlagen auf das ausgelegene Patent von Edison gestoßen. Und er überlegte sich, wie er eine verhältnismäßig geringe Spannung wieder verstärken konnte, um die Signalübertragung über längere Telefonstrecken zu verbessern.

Die Elektronenröhre ist ein Kind der Telefontechnik. Das erklärt auch den Begriff „Kathodenstrahlrelais“, den von Lieben in seiner Patentschrift von 1906 verwendete. 1910 folgte das zweite Patent, das er zusammen mit Eugen Reiß und Sigmund Strauß beim kaiserlichen Patentamt in Berlin einreichte. Ende 1910 reichte von Lieben das dritte Patent ein, das man als Geburtsstunde der modernen Elektronenröhre bezeichnen kann. Zwar hatte der Amerikaner Lee de Forest 1906 eine ähnliche Konstruktion zum Patent angemeldet, aber seine „Audion-Röhre“ funktionierte nicht. Erst von Lieben gelang es, mit einer verhältnismäßig schwachen Steuerspannung eine große Spannungsänderung an der Anode der Röhre zu erzielen. Dazu baute er eine Drahtgitterkonstruktion in die Röhre ein, die er mit einer Spannung ansteuerte. Diese angelegte Steuerspannung wiederum bestimmte die über einem Lastwiderstand abfallende Ausgangsspannung. Von Lieben hatte damit die erste Röhren-Triode (Drei-Pol-Röhre) erfunden.

Die beiden Weltkriege führten dazu, dass die Elektronenröhre eine rasante Entwicklung nahm. Funk, Radar und Weitverkehrs-Telefonie waren die Nutznießer dieser Entwicklungen. Zunächst gefördert vom deutschen Kaiserhaus, durch Gründung der Firmen Telefunken und AEG, wurde die Röhrentechnik zu einem Selbstläufer und zur Keimzelle heute selbstverständlicher Technik – die aber inzwischen meist ohne sie auskommt.



Edisons Messaufbau: Beschaltet man die Glühwendel einer Lampe als Kathode (negativ), wandern Elektronen durchs Vakuum zur Anode hin (links). Bei Umpolung fließt allerdings kein Strom (rechts).

Elektronenröhren findet man heute zum Beispiel noch in Gitarrenverstärkern: Ein Gitarrist, der etwas auf sich hält, würde nie mit „Sand“ (Siliziumtransistoren) spielen. Rundfunksendeanlagen mit großer Leistung für Lang-, Kurz- und Mittelwelle werden mit Elektronenröhren betrieben. Auch in Hi-Fi-Verstärkern werden gerne Röhren eingebaut – allerdings nicht in Geräten für die breite Masse: Ihr Preis ist zu hoch.

Es gibt also immer noch einen Markt für Elektronenröhren, und deshalb gibt es auch noch Hersteller von Röhren. Neue Röhren kommen heute aus Shunguang in China oder dem Reflektor-Werk in Saratov (Russland). Handelsnamen dieser Röhren sind etwa Sovtek, Electro Harmonix, Tung-Sol, Mullard, Golden Lion und viele andere – teilweise auch alte Markennamen, die aber mit den ursprünglichen Firmen nichts mehr zu tun haben. Die heutigen Hersteller arbeiten noch auf Fertigungsanlagen, die in den 60er und 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts in den damaligen Ostblock verlagert wurden, um Produktionskosten zu sparen. Es gibt von den genannten Herstellern aber auch wieder neu entwickelte Röhren, etwa die ECC99.

Funktion einer modernen Röhre

Die Von-Lieben-Röhre war eine Konstruktion von der Größe einer Ein-Liter-Bierflasche. Für viele Anwendungen war das zu groß. Die Röhre zu verkleinern und für die Massenproduktion tauglich zu machen war vor allem Verdienst von AEG und Telefunken.

Eine moderne Röhre (Triode) besteht aus folgenden Komponenten:

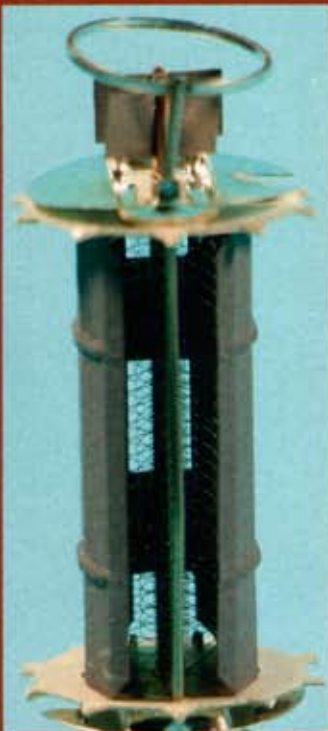
- Glaskolben, luftleer gepumpt
- Glas-Sockel mit Anschlussstiften
- Heizwendel
- Kathodenblech (bei indirekt geheizten Röhren)
- Steuergitter

VON MINUS NACH PLUS?

Es gibt in der Elektrotechnik zwei Stromrichtungen: die **physikalische** von Minus nach Plus, um (wie hier) physikalische Vorgänge zu beschreiben, und die **technische Stromrichtung** von Plus nach Minus. Diese wurde eingeführt, um damit einfacher rechnen zu können.



Röhrensockel einer EL83 mit Glasboden und Heizungsanschlüssen



Die drei Gitter (Drahtspiralen), die Anodenkühlbleche, der ringförmige Getter-Träger

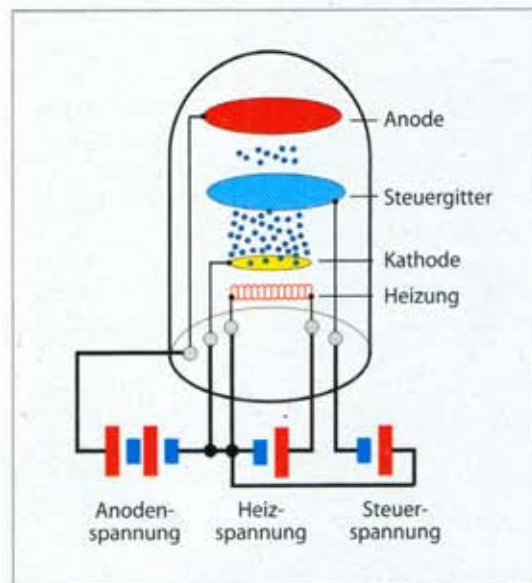
- Anodenblech
- Getter (metallischer Niederschlag, um Sauerstoffatome zu binden).

Diese sieben Bestandteile bilden heute eine moderne Elektronenröhre. Der evakuierte Glaskolben liefert das Gehäuse für das Innenleben der Röhre und den Träger für den Stecksockel. Die Heizung ist die Basis und das zuunterst eingebaute Element. Sie besteht aus einer als Doppelhelix ausgeführten Glühwendel. Aber warum doppelt?

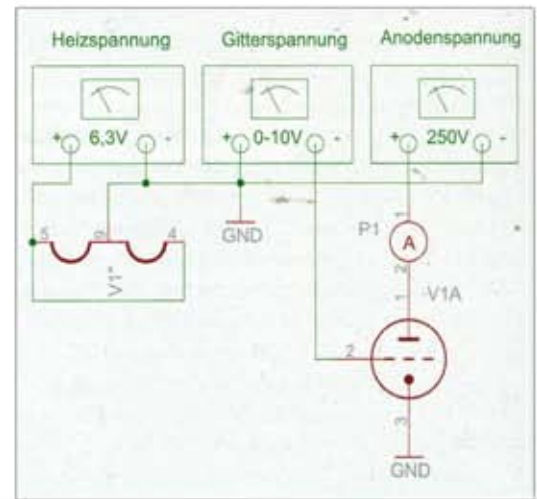
Am Anfang ihrer Entwicklung wurden Elektronenröhren mit Gleichspannung geheizt, was teure Akkus erforderte. Bald kam man auf die Idee, stattdessen die Netz-Wechselspannung zu nutzen. Doch damit brockte man sich ein neues Problem ein: den Heizungsbrumm. Diese 50 Hertz sind in so manchem alten Radio gut zu hören. AEG-Telefunken entwickelte daraufhin eine Heizwendel mit Doppelhelix – diese neutralisiert die für den Brumm verantwortlichen Magnetfelder.

Eine Anmerkung: Ich beschreibe hier absichtlich nur indirekt geheizte Röhren. Direkt geheizte Röhren sind heutzutage kaum noch zu finden, es gibt höchstens noch Exemplare im Kilowattbereich bei Rundfunksendern. Oh weh, jetzt hätte ich fast die Hi-Fi-Fans vergessen, die auf direkt geheizte Trioden wie die Western Electric 300B schwören. Diese Röhre wurde für Weitverkehr-Telefonverstärker entwickelt und soll für manche Audiophile magische Eigenschaften haben. Originalröhren dieses Typs erzielen heute vier- bis fünfstelligen Preise bei Auktionen. Nachbauten dieser Röhre bekommt man preiswerter, aber ein dreistelliger Betrag ist da immer noch fällig.

Nächstes Element ist das Kathodenblech – dies ist die eigentliche Elektronenquelle. Wird das Blech beheizt, fängt es an, Elektronen auszusenden, die sich in Richtung des nächstgelegenen positiven Poles bewegen. Elektronen sind faul, sie nehmen



Die schematische Darstellung einer Triode zeigt, warum man für ihren Betrieb drei verschiedene Spannungen braucht.



Messanordnung zur Kontrolle des Anodenstroms einer ECC83

Bauarten von Röhren

Diode	kein Gitter	z. B. Gleichrichter EZ81
Triode	1 Gitter	z. B. Vorverstärkerröhre EC83
Pentode	3 Gitter	z. B. Endverstärkerröhre EL84
Heptode	5 Gitter	z. B. Mischverstärkerröhre EK90
Oktode	6 Gitter	z. B. Batterieröhre für mobile Empfänger DK21

den Weg des geringsten Widerstandes, und zwar unabhängig von der Lage. Werden sie dabei gestört, verringert sich der Stromfluss durch die Röhre. Und schon hat man einen Weg gefunden, den Stromfluss zu steuern: Man muss nur eine Störquelle einbauen, die den Elektronenfluss behindert. Dies geschieht in Form eines geflochtenen Gitters oder über Drahtspiralen. An diese wird eine negative Spannung gegenüber der des Kathodenblechs angelegt. Da sich gleiche Ladungen abstoßen, gelangen nicht mehr so viele Elektronen zur Anode und der Stromfluss verringert sich. Kleine Spannungsänderungen am Steuergitter führen so zu einer großen Spannungsänderung an der Anode. Somit hat man den gewünschten steuerbaren Verstärkungseffekt erreicht.

Diese Art, mit einem Gitter den Elektronenfluss zu beeinflussen, wird bei einer Triode angewandt. Aber es gibt noch andere Bauarten von Röhren, die mit mehr Gittern ausgestattet sind oder ganz ohne auskommen. Die Namensgebung orientiert sich an der Anzahl der Systeme. Es gibt immer Anode und Kathode plus eine Anzahl von Gittern (siehe Tabelle).

Ein großes Problem bei der Herstellung der Röhren stellte der in den Bauteilen vorhandene Sauerstoff dar. Dieser verschlechtert während des Betriebes das Vakuum im Innern der Röhre. Seit der Erfindung der Quecksilber-Vakuumpumpen war es zwar möglich, die Glaskolben effektiv zu evakuieren (luftleer zu pumpen), es blieb aber immer noch ein Rest Sauerstoffatome im Glaskolben zurück.

Denen rückte man im Produktionsprozess mit einer sogenannten Getter-Pille zu Leibe. Auf einem Metallring in der Spitze der Röhre wurde eine Tablette aus einer Barium-, Magnesium- oder Aluminium-Verbindung platziert und nach Verschluss des Glaskolbens induktiv erhitzt. Dabei verdampfte die Metalllegierung und band die restlichen Sauerstoffatome im Glaskolben. Das überschüssige Getter-Material schlug sich als metallisch glänzender Belag in der Spitze des Glaskolbens nieder. Dieser Belag diente dazu, die während des Betriebes der Röhre anfallenden Sauerstoffatome zu binden. Findet man eine Röhre, bei der sich der metallische Belag weiß verfärbt hat, so ist das Getter komplett aufgebraucht oder die Röhre hat Luft gezogen – in beiden Fällen ist sie unbrauchbar.

Probe aufs Exempel

Wo wir gerade bei defekten Exemplaren sind: Röhren sind einem Verschleiß unterworfen und müssen irgendwann ausgetauscht werden. Bei korrekter Beschaltung sind jedoch mehrere Tausend Betriebsstunden normal. Um nicht zu warten, bis ein elektronisches Gerät wegen einer defekten Röhre seinen Dienst versagte, gab es eigene Röhrentestgeräte. Die bekanntesten Tester stammten von der Firma Funke aus Adenau in der Eifel, etwa der Funke W19, der Standard-Röhrentester der Bundeswehr.

90 Prozent der Tester waren sogenannte Emissionstestgeräte, das heißt, es wurde die Röhre beheizt und der Strom gemessen, der zwischen Kathode und Anode floss. Das war genau der Versuch, den Edison schon 1870 durchführte, aber nur eine sehr rudimentäre Testmethode, die wenig über die Steuerbarkeit und die Kenndaten einer Röhre aussagte. Doch solche Testgeräte waren kostengünstig herzustellen und daher weit verbreitet. Böse Zungen nennen diese Geräte noch heute „Schätzseisen“.

Will man eine Röhre wirklich auf Funktionstüchtigkeit testen, muss man etwas mehr Aufwand treiben. Tester, die das leisteten, waren teuer und man fand sie nur in Laboren von Elektronikentwicklern und in der Ausrüstung des Militärs. Prominente Vertreter dieser Gattung waren die Geräte von Neuberger (zum Beispiel RPM70), das russische L3-3 oder das amerikanische TV-7.

Sowohl das russische wie auch das amerikanische Gerät wurden zusammen mit dem entsprechenden Waffensystem ausgeliefert, auf Panzern und Schiffen mitgeführt und waren dementsprechend robust aufgebaut. Sollte man heute noch so ein Gerät irgendwo finden, braucht man sich über dessen Funktionsfähigkeit keine Gedanken zu machen: Das Gerät funktioniert. Es sei denn, es ist jemand mit dem Panzer drübergefahren oder es ist zusammen mit dem Schiff untergegangen.

Will man selbst eine Röhre messen, um herauszubekommen, was sie noch leistet, kann man nach dem Schema in der Grafik auf der vorigen Seite unten vorgehen. Dabei sind drei unabhängige Spannungsquellen nötig:

- feste Heizspannung (6,3 V)
- feste Anodenspannung (250 V)
- regelbare negative Gitterspannung (0–10 V)

Mit diesen drei Spannungen kann das Steuerverhalten der Röhre nun genau wie in einer Anwendungsschaltung getestet werden. Man verändert die negative Gitterspannung und misst den dann durch die Röhre fließenden Strom; hierzu dient Messgerät P1. Ob die gemessenen Werte einer guten oder schlechten Röhre entsprechen, kann



Ein Selbstbau-Vorröhren-Tester für Gitarrenverstärker

BAUTEIL-QUELLEN

Wer glaubt, Bauteile für Röhrenschaltungen wären nur noch auf Flohmärkten zu finden, der irrt sich. Das Internet bietet eine große Anzahl von Bezugsquellen für Röhrenprojekte. Hier eine nicht vollständige Liste von mir bekannten Lieferanten, die auch an Privatpersonen liefern:

www.tube-town.de: alles, was man zum Bauen von neuen Röhrengeräten benötigt

www.askjanfirst.de: historische Röhrenbauteile

www.btb-elektronik.de: Röhrenspezialist

www.oppermann-electronic.de: Restpostenhändler

www.welter-electronic.de: Netztrafos und Ausgangsübertrager

www.rainer-foertig.de: gebrauchte Messtechnik

www.pollin.de: Röhren und Fassungen

www.wilmsmetall.de: Bleche für den Chassis-Bau

www.induteshop.com: Spannungsfeste Schaltlitzen

DIE WERKZEUGKISTE

Wer ohnehin elektronische Schaltungen aufbaut, hat bereits 90 Prozent der Werkzeuge bereitliegen, die für den Aufbau von Röhrenschaltungen notwendig sind. Im Einzelnen braucht man:

- LötKolben und bleihaltiges Lötzinn
- Seitenschneider
- Biegezeuge
- Akkuschauber
- Bohrer 1 mm – 10 mm, 0,5 mm steigend
- Stufenbohrer 6 mm – 32 mm
- Schraubenschlüssel 5 mm – 17 mm

Ein weiteres unverzichtbares Hilfsmittel ist ein Vielfachmessinstrument. Aber machen Sie einen Bogen um die billigen Digitalgeräte, denn die überleben den Messbetrieb in einer Röhrenschaltung keine fünf Minuten lang. Entweder be-

schafft man sich ein funktionsfähiges Gebrauchtgerät der Firmen HP, Metrawatt, Hartmann & Braun oder Philips, um nur einige zu nennen. Oder man greift tiefer in den Geldbeutel und beschafft sich ein aktuelles neues Profigerät.

Digitale Geräte zeigen bei den hohen Spannungen schon mal Mist an. Das hängt mit ihren hochohmigen Eingängen und der fast lastfreien Messung zusammen. Da werden schon mal Störspannungen von der Nachbarleitung ungewollt mitgemessen und verfälschen das Messergebnis. Deshalb schwöre ich auf alte Analogmessgeräte vom Typ Unigor oder Philips. Sie haben einen geringen Innenwiderstand und messen nur Spannungen, die auch wirklich vorhanden sind.

SOCKEL ODER FASSUNG?

Der **Socket** ist der Glasboden der Röhre mit seinen Kontaktstiften. Die **Fassung** ist das Bauteil, in das die Röhre hineinsteckt wird. Beide Begriffe werden gerne verwechselt, was in Internetforen regelmäßig zu wilden Diskussionen führt. Ursache für diese Begriffsvertausung ist das englische Wort **Socket**, das sowohl für Fassung wie auch für Socket verwendet wird.



Links eine Chassis-Oktalfassung, in der Mitte eine Oktalfassung für die Platinenmontage, rechts eine EL34 mit dem passenden Oktalsocket



Zwei Novalfassungen unterschiedlicher Bauart ECC803 mit Novalsocket, daneben die passende Röhre. Oktal- und Novalfassungen sind heute gebräuchlich.

man mit dem Datenblatt überprüfen, der zur Röhre gehört.

Mit System

Schon früh stellte sich für die Industrie als Problem heraus, dass genormte Röhrenbezeichnungen und Fassungen fehlten. Deshalb einigte man sich auf ein einheitliches Bezeichnungssystem für Röhren und normierte die Fassungen. Die Tabelle unten listet die am häufigsten vorkommenden europäischen Bezeichnungen auf.

Damit kann man nun leicht eine europäische Röhre identifizieren, etwa eine ECC83:

E = Heizung 6,3 V parallel
C = Triode 1
C = Triode 2
83 = laufende Nummer



Eine Außenkontaktfassung, wie sie bis zum Ende des zweiten Weltkriegs üblich war, daneben eine EL8 mit dem passenden Außenkontaktsocket

Es handelt sich also um eine Röhre mit 6,3 V Heizspannung, die zwei Triodensysteme enthält. Die laufende Nummer wurde einmalig vergeben und von allen Herstellern dieser Röhre einheitlich verwendet. Steht die 83 zwischen dem E und vor dem CC, lautet die Bezeichnung also E83CC, so handelt es sich um eine besonders selektierte Röhre mit erhöhter Lebensdauer, meist in militärischen Geräten zu finden.

Ein weiterer wichtiger Punkt, der bei Entwicklung und Verbreitung der Röhrentechnik normiert werden musste, waren die Röhrensocket und deren Fassungen. Am Anfang setzte man gerne die noch heute gebräuchlichen 4-mm-Laborstecker ein. Doch die waren einfach zu groß und man entwickelte Außenkontaktfassungen. Diese wurden bis Ende des Zweiten Weltkrieges für Endverbraucheröhren verwendet. Die heute gebräuchlichsten Fassungen sind die Oktal- und Novalfassungen.

Es gibt noch mehr Bauformen für Röhrenfassungen. Sie sind jedoch so zahlreich, dass ich da auf die im Internet verfügbaren Informationen verweisen muss.

Datenblätter

Historisch bedingt gibt es die Daten der Röhren original nur in Papierform. Im Internetzeitalter hat sie Frank Philipse online verfügbar gemacht. Er hat Tausende von europäischen, amerikanischen und russischen Röhrendatenblättern gescannt und in einer Online-Datenbank bereitgestellt. Wer Daten einer Röhre benötigt, wird unter www.tubedata.org fünf

Europäische Röhrenbezeichnungen

1. Buchstabe			2. Buchstabe		
Heizung	Spannung/ Strom	Heizungsart	Röhren- system	System	Verwendung
A	4 V	Parallel	A	Diode	HF-Anwendung
B	180 mA	Seriell	B	Doppel- Diode	HF-Anwendung
C	200 mA	Seriell	C	Triode	Vorverstärker
D	1,2–1,4 V	Parallel	D	Triode	Leistungsverstärker
E	6,3 V	Parallel	E	Tetrode	Leistungsverstärker
F	12,6 V	Parallel	F	Pentode	Vorverstärker
G	5 V	Parallel	H	Hexode, Heptode	Mischanwendung
H	150 mA	Seriell	K	Oktode, Heptode	Mischanwendung
K	2 V	Parallel	L	Pentode, Tetrode	Leistungsverstärker
M	2,4 V–2,8 V	Parallel	M	Anzeige- röhre	Magische Augen
P	300 mA	Seriell	Q	Ennode	Modulationsverstärker
U	100 mA	Seriell	X	Gasdiode	Leistungsgleichrichter
V	50 mA	Seriell	Y	Diode	Einweggleichrichter
X	600 mA	Seriell	Z	Doppel- Diode	Zweiweggleichrichter
Y	450 mA	Seriell			
Z	0 V	ohne Heizung			

VORSICHT BEI DER ARBEIT MIT RÖHREN!

Bei der Arbeit mit Röhren lauern im Wesentlichen zwei Gefahren. Da ist zunächst einmal die hohe Temperatur, die so ein Glaskolben im Betrieb erreichen kann – bis zu 230 Grad Celsius sind bei einigen Röhren möglich und normal. Anfassen ist damit während des Betriebs strikt untersagt. Auch wärmeliebende Stubentiger sind von Röhren unbedingt fernzuhalten. Ansonsten gibt es ein verbranntes Fell.

Richtig lebensgefährlich sind jedoch die hohen Anodenspannungen. Hier ist äußerste Vorsicht und Sorgfalt beim Aufbau und der Inbetriebnahme von Schaltungen geboten: Niemals wilde Drahtverhaue hochziehen, sondern immer alles übersichtlich und sicher befestigt auf einem geerdeten Metall-Chassis aufbauen. Hilfreich sind dabei entweder Lötleistenaufbauten, wie sie gerne in Gitarrenverstärkern verwendet werden, oder fertige Platinen. Alle Spannungen müssen über Schmelzsicherungen abgesichert sein.

Bei Messungen an unter Spannung stehenden Aufbauten gilt die Regel: „Eine Hand in der Hosentasche, die andere

Hand für das Messgerät.“ Sprich: Niemals mit beiden Händen einen unter Spannung stehenden Aufbau anfassen, das kann tödlich enden. Beachtet man diese Grundregeln, dann kann man gefahrlos an Röhrenaufbauten arbeiten.

Noch ein Hinweis für die Leute, die sich mit alten Röhrengeräten beschäftigen möchten, und sie vielleicht restaurieren wollen: Bis zum Ende der sechziger Jahre wurden sogenannte Allstromgeräte gebaut. Solche Apparate sind der elektrotechnische Super-GAU: nicht geerdete Metall-Chassis, die je nach Drehrichtung des Netzstromsteckers unter voller Spannung stehen, dazu keine galvanische Trennung der Schaltung vom Lichtnetz. Von dieser Machart waren seinerzeit vor allem Fernseher, Radios und Bühnenverstärker; viele elektrische Unfälle auf Bühnen sind auf diese Schaltungstechnik zurückzuführen. Ich lasse grundsätzlich die Finger von solchen Geräten. Ihre Instandsetzung ist sinnlos, da sie ohnehin nicht mehr sicher betrieben werden können.



dig. Die Datenbank ist in Zwischenzeit so wichtig geworden, dass sie insgesamt achtmal weltweit gespiegelt wurde. Es ist die größte Röhren-Datenbank der Welt und meiner Meinung nach ein technisches Weltkulturerbe.

Einem solchen Datenblatt kann man als Erstes die Belegung der Sockelanschlüsse und ihre Zählichung entnehmen. Des Weiteren kennzeichnen folgende Begriffe die Betriebsparameter einer Röhre:

- R_a = zulässiger Lastwiderstand bei Eintakt-Schaltung
- R_{aa} = zulässiger Lastwiderstand bei Gegentakt-Schaltung
- U_a = Anodenspannung, bei der die angegebenen Werte erreicht werden
- I_a = Anodenstrom
- $-U_{g1}$ = Gittervorspannung

U_{g2-x} = Gitterspannungen bei Röhren mit mehreren Gittern

P_{max} = maximale zulässige Anodenverlustleistung
 U_f = Heizspannung

Viele Datenblätter enthalten darüber hinaus Kennlinien, die die Betriebsparameter einer Röhre bei unterschiedlichen Spannungen zeigen. Hier sind vor allem die deutschen Philips-Röhrendatenblätter hervorzuheben. Beispiel-Beschaltungen mit den passenden Bauteilwerten helfen, eine Röhre optimal einzusetzen.

An dieser Stelle verzichte ich auf weitere Erklärungen – ab der nächsten Seite geht es in die Praxis. Wer an mehr Informationen interessiert ist, findet im Kasten unten Literaturempfehlungen und über den Link eine Zusammenstellung von Internetquellen.

BEZEICHNUNGEN

Die Bezeichnung der Röhren ist im gesamten europäischen Raum einheitlich. In Russland und den USA gibt es andere Arten der Bezeichnung. Vor allem das russische System mit seinen kyrillischen Zeichen führt da sehr häufig zu Verwirrung.

VERTIEFENDE LITERATUR

Die folgenden Bücher sind meiner Ansicht nach die wichtigsten deutschen Quellen zu Elektronenröhren, auf die auch die meisten Neuerscheinungen zum Thema basieren. Die Originale sind allerdings zu 99 Prozent nur noch antiquarisch zu bekommen. Bei ihrer Beschaffung der Bücher ist das ZVAB (Zentrales Verzeichnis Antiquarischer Bücher) eine gute Anlaufstelle. Unter www.zvab.com wurde ich bisher fast immer fündig. Geduld und in gewissen Zeitabständen wiederholtes Suchen lohnen sich.

- H. Schröder: Nachrichtentechnik Band 1–3
- O. Diciol: Röhren-NF-Verstärker Praktikum

- H. Barkhausen: Lehrbuch der Elektronen-Röhren Band 1–4
- Telefunken: Telefunken Laborbuch Band 1–6
- K.H. Schubert: Das große Radiobastelbuch
- L. Ratheiser: Rundfunkröhren. Eigenschaften und Anwendung
- J. Schwandt: Röhren-Taschen-Tabelle

↓ Links und Foren
make-magazin.de/xrmp

Netzgerät für Röhrenschaltungen

Kurzinfo

Zeitaufwand:
1,5 Stunden

Kosten:
40 Euro (ohne Gehäuse)

Elektronik:
solide Grundkenntnisse,
sicherer Umgang mit
Netzspannung

Messen:
robustes und leistungs-
fähiges Multimeter

Löten:
etwas Routine erforderlich

Schwierigkeitsgrad



Nach so viel Theorie folgt nun das erste praktische Projekt: ein kleines Netzteil, mit der die nachfolgend vorgestellten Röhrenschaltungen versorgt werden können.

Zentrales Bauteil ist ein Ringkerntrafo. Er generiert aus der Netzspannung drei Wechselspannungen:

- ~ 250 V / 100 mA
- ~ 6,3 V / 1,5 A
- ~ 12,6 V / 1 A

Der Ringkerntrafo ist der ideale Trafo für solche Anwendungen, da er ein sehr geringes Streufeld hat und von daher wenige Brummprobleme verursacht. Sollte ein anderer Trafo zum Einsatz kommen, so ist darauf zu achten, dass die Spannungen stimmen. Ansonsten gibt es Probleme mit den Ausgangsspannungen und der Spannungsfestigkeit der Bauteile.

Die drei Wechselspannungen werden generell über separate Sicherungen geführt. Diese sind geringfügig größer dimensioniert als die maximale Belastbarkeit der einzelnen Wicklungen. Der Grund hierfür sind die Anlaufströme der Röhren. Deren Heizungen sind Kaltleiter und ziehen im kalten Zustand bedeutend größere Ströme als später im Betrieb, wenn sie warm sind. Zu knapp ausgelegte Sicherungen müssten ständig getauscht werden.

Der Schalter S2 ermöglicht es, sowohl P-Röhren als auch E-Röhren mit der passenden Heizspannung zu versorgen. Das erleichtert die Beschaffung der Röhren, denn viele E-Röhren gibt es auch als P-Röhren. Sie unterscheiden sich nur in der Heizspannung. Mit R2 lassen sich Asymmetrien der Heizwendel kompensieren, die Heizungsbrumm verursachen würden. Das war schon der Heizspannungsteil des Netzteiles. Sempel, oder?

Etwas komplizierter wird es bei der Erzeugung der Anodenspannung. Nach der obligatorischen Sicherung erfolgt eine Gleichrichtung mit einem Brückengleichrichter und dem nachfolgenden Siebglied. Hierbei handelt es sich um eine sogenannte C-R-C-Siebung: C2-R1-C3 bilden einen Filter für die mit 100 Hz pulsierende Gleichspannung und machen

daraus eine saubere Gleichspannung mit nur wenigen mV Wechselspannungsanteil.

Der nachfolgende Spannungsteiler aus R3 und R4/C4 bildet das Massepotenzial für die Heizung. Normalerweise würde man einen Anschluss der Heizung direkt an Masse legen. Doch dieser Spannungsteiler hat den Vorteil, dass das Massepotenzial höher als der Wechselspannungsanteil der Röhrenheizung liegt. Somit kann kein Wechselstrom zur Kathode gelangen. Damit wird effektiv Heizungsbrummen verhindert.

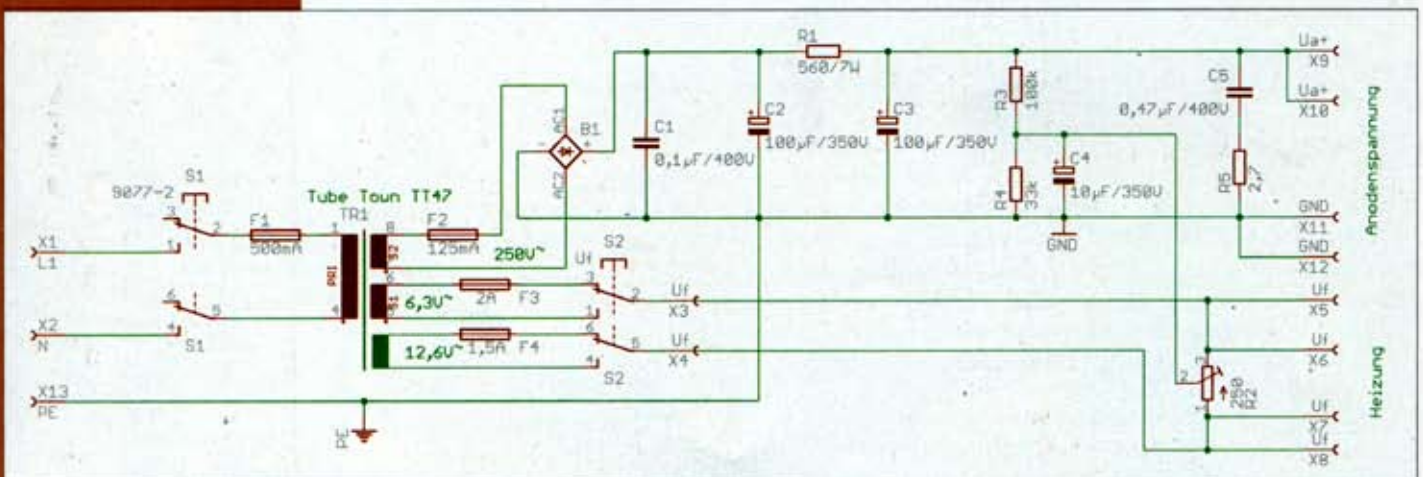
C1 und R5/C5 dienen dazu, Impulsspitzen zu filtern, die von den Halbleiterdioden des Gleichrichters verursacht werden. Diese Spitzen würde man ebenfalls als Brumm in der nachfolgenden Schaltung hören.

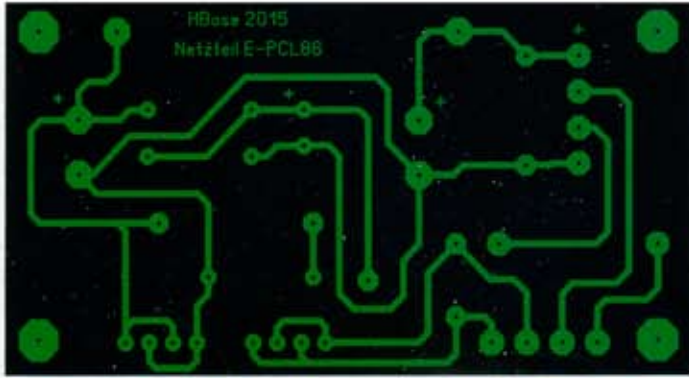
Was die Spannungsfestigkeit der Bauteile anbelangt, muss weit über die eigentliche Betriebsspannung hinausgegangen werden. Wird die Anodenspannung mit etwa 80 mA belastet, so stellt sich eine Ausgangsspannung von rund 250 V ein (auf ein paar Volt mehr oder weniger kommt es bei Röhrenschaltungen nicht an). Ist das Netzteil unbelastet, steigt die Spannung auf über 300 V an, weil an R1 keine Spannung mehr abfällt. Das bedeutet, die Bauteile müssen die wesentlich höhere Leerlaufspannung aushalten können. Kritisch sind die Kondensatoren – je höher deren Spannungsfestigkeit, desto besser.

Eine Vergrößerung der Kapazität der Sieb-Kondensatoren ist meist ungünstig, denn je größer die Elkos sind, umso größer werden die Impulsspitzen der Halbleiter-Dioden und desto schlechter bekommt man sie herausgefiltert. Durch größere Kondensatoren wird auch der Trafo unnötig stark belastet, denn die Elkos wollen geladen werden. Je größer sie sind, desto mehr Leistung muss der Trafo dafür liefern.

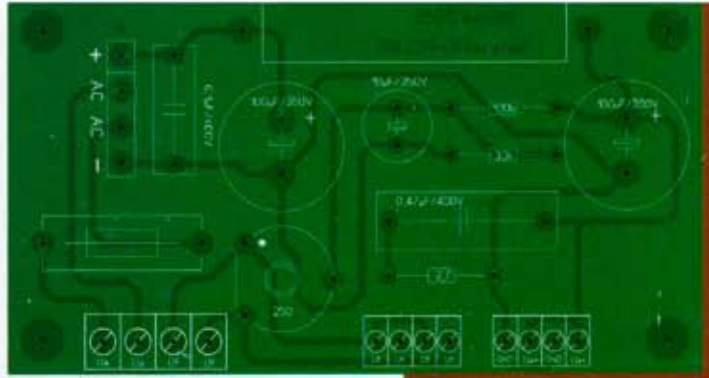
Die Anodenspannung ist – wie zuvor beschrieben – vom entnommenen Strom abhängig. Sollte diese zu groß sein, kann man die Spannung reduzieren, indem man R1 vergrößert. Hier hilft etwas Mathematik:

Schaltbild des Netzgerätes für Röhrenschaltungen





Die Netzteilplatine der Größe 100 mm × 53 mm von der Lötseite aus gesehen



Bestückungsplan des Netzteiles auf der anderen Seite der Platine

Anodenspannung = Leerlaufspannung – Spannungsabfall_{R1}
 Spannungsabfall_{R1} = Laststrom × R1

Mit diesen beiden einfachen Formeln lässt sich der Wert von R1 ausrechnen, um die Anodenspannung anzupassen.

Um einen anfängertauglichen und sicheren Aufbau zu gewährleisten, habe ich eine Platine entworfen (Download siehe Link im Kasten auf Seite 116). Auf ihr lassen sich fast alle Bauteile montieren. Die Ausnahmen sind die Sicherungen F1, F3, F4, der Trafo und die beiden Schalter – diese Bauteile gehören direkt in das Gehäuse. Die Platine und die restlichen Bauteile passen prima in ein Hammond-Alu-Gehäuse (siehe Stückliste, ebenfalls online). Beim Aufbau und beim Messen bitte unbedingt die Sicherheitshinweise beachten.

Wichtig ist vor allem die korrekte Erdung: Der Schutzleiter (PE) gehört unbedingt mit der Signalmasse (GND) verbunden. Schummeleien mit Widerständen oder Kondensatoren zwischen PE und GND sind lebensgefährlich! Dies wird meist gemacht, um Brummschleifen zu unterbrechen. Es ist aber bedeutend sicherer, die Ursache für die Brummschleife zu



Dieser Ringkerntrafo kommt im Netzgerät für Röhrensaltungen zum Einsatz.

suchen und zu beseitigen. Brummschleifen entstehen, wenn über die Masseverbindung ein Strom fließt. Ursache hierfür ist ein unsauberer Aufbau und eine schlechte Masseverdrahtung.

Das Netzteil ist in der Lage, zwei Röhrensaltungen mit allen Spannungen zu versorgen – zum Beispiel in einem Stereoverstärker. Damit sind wir beim nächsten Projekt.



Die fertig bestückte Platine des Netzteiles für Röhrensaltungen

Audioverstärker mit Verbundröhre PCL86

Kurzinfo

Zeitaufwand:
1,5 Stunden pro Kanal

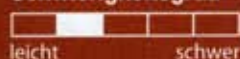
Kosten:
40 Euro pro Kanal
(ohne Gehäuse)

Elektronik:
solide Grundkenntnisse,
sicherer Umgang mit
Netzspannung

Messen:
robustes und leistungs-
fähiges Multimeter

Löten:
etwas Routine erforderlich

Schwierigkeitsgrad



Der Ärger über die miesen PC-Lautsprecher an meinem Büroarbeitsplatz war der Auslöser, diesen Verstärker zu entwickeln. Das muss doch besser gehen, sagte ich mir, kramte ein altes Projekt aus und designte es für den Aktivboxenbetrieb um. Herausgekommen sind zwei kleine Aktivboxen mit Röhrendstufe und Breitbandlautsprecher. Die Endstufe beschreibe ich hier, wer Informationen zu den Boxen braucht, kann sich gerne über die Make-Redaktion an mich wenden.

Als Röhre für den Verstärker kommt eine PCL86 zum Einsatz, eine Verbundröhre, die zwei Röhrensysteme beinhaltet und für Fernsehgeräte und Musiktruhen entwickelt wurde. Im Glaskolben befinden sich sowohl eine Triode als Vorverstärker und eine Pentode als Endverstärkerröhre. Das Ganze gibt es in zwei Varianten als ECL86 und als PCL86. Beide Röhren sind gleich bis auf ihre Heizspannung – und den Preis: Eine ECL86 kostet das Zehnfache einer PCL86; das verstehe wer will. Da das zuvor beschriebene Netzgerät beide Typen mit Heizspannung versorgen kann, kann uns der Preis egal sein.

Es handelt sich um einen zweistufigen Verstärker in Eintakt-A-Schaltung. Das Trioden-System der PCL86 verstärkt das von einem PC oder einem CD-Spieler kommende Musiksinal und bringt es auf einen Pegel, mit dem die Pentode der PCL86 dann gesteuert wird. Da die Röhrenausgangsspannung eine sehr hochohmige Spannungsquelle darstellt, würde nun ein direkt angeschlossener Lautsprecher zu einem Kurzschluss führen. Deshalb haben die Röhrentechniker den Ausgangsübertrager erfunden. Dieser Übertrager hat in unserem Fall auf der der Röhre zugewandten Seite einen Wechselfspannungswiderstand von 5,2k Ω ; damit ist alles wieder gut. Die dem Lautsprecher zugewandte Seite hat hingegen nur 8 Ω , optimal für einen Lautsprecher.

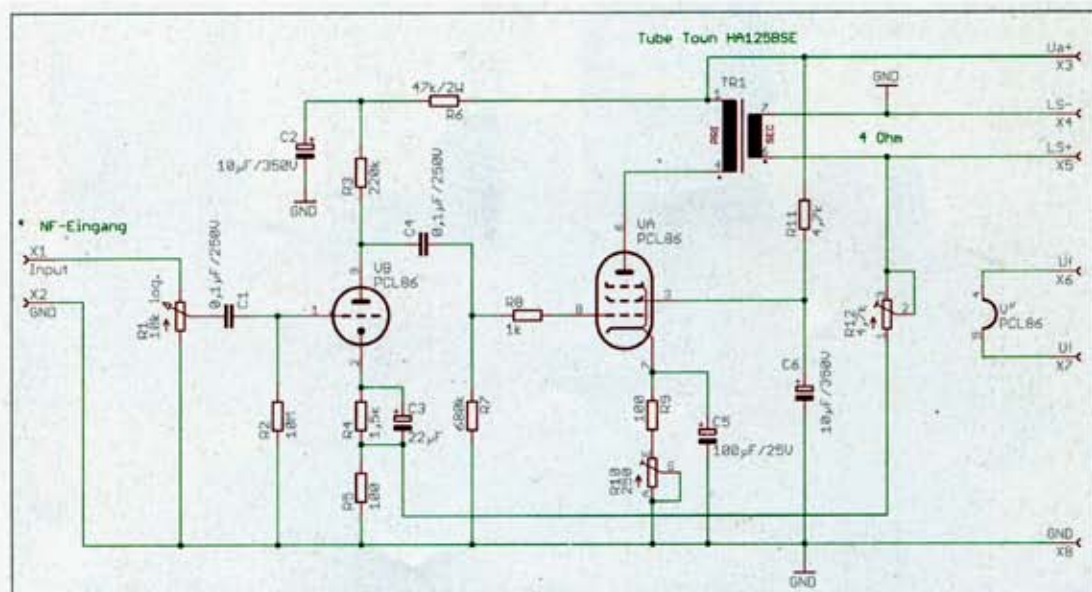
Der Übertrager ist ein Impedanzwandler, der eine hochohmige Spannungsquelle in eine niederohmige übersetzt. Anders als bei einem Netztrafo werden die Wicklungen der Primär- und Sekundärseite ineinander verschachtelt. So etwas ist nur mit viel Aufwand zu fertigen, was den sehr hohen Preis dieses Bauteiles begründet. Ein weiteres Qualitätskriterium ist der Eisenkern (Blechkpaket) des Übertragers. Hier gilt: je mehr Eisen, desto besser.

Bei diesem Projekt kommt ein Ausgangsübertrager der Firma Hammond zum Einsatz, der für unterschiedliche Primärwiderstände konfiguriert werden kann. Hier verweise ich auf das Datenblatt bei der Firma Tube-Town, die den Übertrager in Deutschland liefert.

Unser Verstärker soll sich gut anhören, deshalb wird er nicht in die magnetische Sättigung gesteuert. Hierbei hilft uns das Poti R10: Es begrenzt den Strom, der durch den Übertrager fließen kann. Optimaler Wert bei unserer Röhren-Übertrager-Kombination sind 40 mA bei $U_a = 250$ V. Dieser Wert kann über R9 gemessen werden.

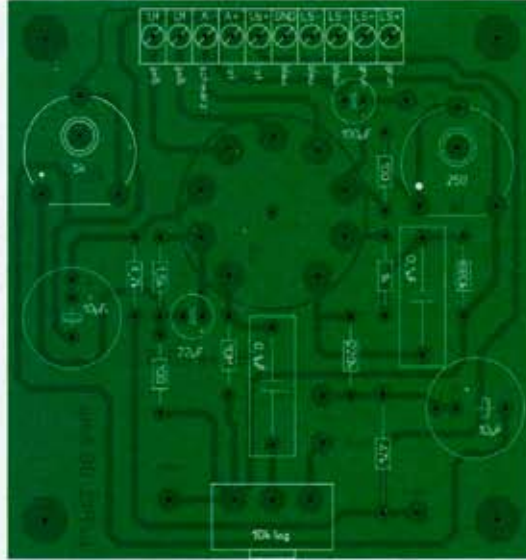
Um Verzerrungen weiter zu unterdrücken, die dem Musiksinal auf seinem Weg durch den Verstärker beigemischt werden, verfügt die Schaltung über eine Gegenkopplung: Teile des Ausgangssignales werden phasenverschoben dem Eingangssignal beigemischt. Dies führt dann zu einer Auslöschung der unerwünschten Verzerrungen. Mit dem Poti R12 lässt sich der Grad der Beeinflussung einstellen. Dies sollte mit Fingerspitzengefühl geschehen: Zu viel Gegenkopplung lässt den Verstärker dumpf klingen. Zu wenig kann zu einer Mitkopplung führen und damit zum Schwingen des Verstärkers. Diese Schwingungen können bis hoch in den UKW-Bereich reichen. Ich habe meine Verstärker bei Ableicharbeiten schon des Öfteren un-

Schaltbild des Röhrenverstärkers für einen Kanal





Lötseite der Verstärkerplatine im Format 70 mm x 72 mm

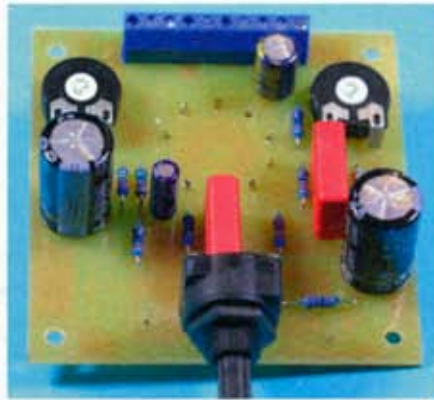


Die Platine des Verstärkers von der Bestückungsseite aus gesehen

gewollt im Radio gehört. Um diese Schwingneigung so gut es geht zu unterdrücken, ist in der Schaltung der Widerstand R8 vorgesehen. Er wird als Gitterstopper bezeichnet und hilft dabei, das Schwingen der Endstufe zu verhindern.

Die Verdrahtung von Verstärkerplatine und Netzteilplatine sollte mit geeigneter Litze erfolgen. Die 0,14-mm²-Litze von der Modelleisenbahn ist ungeeignet. 0,25 mm² sind das absolute Minimum, optimal sind 0,5 mm² mit einer maximalen Isolationsspannung von 500 V. Solche Litzen findet man bei den Schaltschrankbauern.

Für den sicheren Nachbau habe ich wie beim Netzteil eine Platine entworfen. Alle Anschlüsse auf der Platine sind auf Schraubklemmen geführt, das erleichtert die Verdrahtung. Die Stückliste führt nur die Teile für einen Kanal auf, wer wie ich eine Stereoanlage bauen will, muss alles doppelt kaufen.



Die beidseitig bestückte Platine des Verstärkers mit Sockel und noch ohne Röhre



RÖHREN-SOUND

Ein Problem von Übertragern ist, dass das Musiksignal den Kern magnetisch in die Sättigung treiben kann, was zu Verzerrungen führt. Die HiFi-Freunde fürchten diesen Effekt, die Gitarristen lieben ihn. Der typische Klang von Gitarrenverstärkern wird stark von den verbauten Übertragern beeinflusst. Ich habe bei Instandsetzungen schon mehrfach lange Gesichter gesehen, wenn der Übertrager getauscht werden musste. Denn der neue hört sich meist völlig anders an als der zuvor verbaute. Für den Musiker bedeutet das viel Detailarbeit, um seinen Sound mit dem neuen „Eisen“ wiederzufinden.



Der Verstärker als Aktivbox für den PC

KREATIV MIT TECHNIK
ct **Make:** **RICHTIG LOSLEGEN**
SONDERHEFT

Überblick

- Werkzeug-Grundausrüstung
- Bastelplatinen und Module
- Gratissoftware für Schaltpläne

Anleitungen

- Schritt für Schritt zur Platine
- Einparkhilfe mit Arduino
- Schaltbilder zeichnen



Selbermachen

Löten für Einsteiger • Die passende **Stromversorgung** •
Open Soft- und Hardware nutzen • Bauteile und
Gehäuse aus dem **3D-Drucker**

2017
08/2017 12,90
48, 50, 52, 54, 56
€ 9,90



www.make-magazin.de



Johannes M. Gutekunst, 5102 Rapperswil (Kontakt: johannes.gutekunst@sunrise.ch)
verbunden mit der Gesellschaft der Freunde der Geschichte des Funkwesens,
dem Radiomuseum.org und I-N-T-R-A

