

Platinenprojekt für einen Kleinstleistungsrohrenverstärker

Anders als neu!

So lässt sich die Motivation beschreiben, die mich bewegt der heutigen Wegwerfgesellschaft und deren Folgen ein wenig entgegen zu wirken. Mit der Einstellung das Früher alles viel besser war, darf man ein solches Projekt nicht erarbeiten, denn zahlreiche Entwicklungen in der Elektronik lassen Fortschritte erkennen. Leider jedoch mischen sich wirtschaftliche und technische Interessen, mit einer starken Tendenz zum wirtschaftlich profitablen Wegwerfkonsum. Elektronische Geräte mit eingeklebten (fest verbauten) Akkus, oder Netzteile mit schnell alternden Kondensatoren (bewusst provoziertes Wärmebeanspruchung).

Muss das sein?

Mein Gedanke; die Entwicklung einer Platine, die zahlreiche Varianten zur Gestaltung eines kleinen individuellen Röhrenverstärkers gestattet, und so im Verlaufe der Zeit auch das Bestreben mit der Möglichkeit nach eigener Umgestaltung seines Verstärkers erfüllt. Selbstverständlich ist eine solche Platinenentwicklung nicht allen Bedürfnissen geschuldet, und es könnten noch so manch innovative Gedanken in das Projekt einfließen die ich übersehe. Aber dazu überlasse ich dem Bastler mit dieser umfangreichen Anleitung eine Motivation das Projekt weiter zu gestalten.

Das Platinenprojekt:

Die Entwicklung dieser Platine entspringt dem Gedanken wertbeständigere Elektronik, mit hohem Anwendernutzen in Form einer flexiblen Röhrenverstärkergestaltung, zu schaffen. Zum einen sind durch die Verwendung unterschiedlicher Bauteile diverse Verstärker auf der Platine realisierbar. Zum anderen lassen sich, aber auch im fertig gelöteten Zustand der Platine, Verstärker unterschiedlichster Art mit Hilfe diverser Jumper aufbauen. Lötet man zudem bestimmte relevante Bauteile nicht direkt auf die Platine, sondern verwendet zusätzliche Steckbuchsen, so können, auch ohne den Ausbau der Platine aus einem Gehäuse, Veränderungen an den Verstärkern vorgenommen werden.

Alle vorgestellten Verstärkerkonzepte basieren auf Grundlagen der in dem Buch „NF- Verstärker mit alten Röhren“ vorgestellten Schaltungen. Als Spannungsversorgung dient ein sehr effizienter, flexibler Wandler; hier von 12 V DC auf ca. 240 V, mit einem Wirkungsgrad über 90 %. Somit ist die Möglichkeit gegeben, einen Verstärker mit kleinem Kühlkörper bspw. in einem attraktiven Holzgehäuse zu betreiben.

Die Vorstufen der Verstärker basieren auf einer der verbreitetsten und gängigsten ECC- Röhren mit der Sockelbeschaltung No15. Im Gegensatz zu dieser ausschließlichen Nutzung Sockelbeschaltung No15 der Vorstufenröhre, kann die Endstufe mit unterschiedlichen Röhrentypen betrieben werden. Röhren der Sockelbeschaltung No 5, -6, -15, -53, -142, und No 202 sind verwendbar. Diese Gruppen decken den Großteil gängiger Typen zur Verwirklichung eines Kleinstleistungsverstärkers.

Eine weitere Eigenschaft der Platine, die ihre Langlebigkeit bestärkt, ist die simple Möglichkeit der Reparatur oder Überprüfung. Der fertige Aufbau kann, mit einem über Steckbrücken angeschlossenen Ausgangsübertrager, in vollem Umfang getestet werden. Ein kleiner fingergroßer Kühlkörper am Leistungstransistor reicht zur Wärmeabfuhr.

Was kann der Wandler?

Zur Erzeugung der Hochspannung fiel die Wahl auf einen Boost- Konverter, der durch seinen simplen Aufbau, ausschließlich mit Transistoren unter Berücksichtigung der Bauteilwerte, Eingangsspannungen von 5 bis 50 V DC verkraftet. Ausgangsseitig kann an diesem eine Spannung von maximal 320 V erzeugt werden. Diese ist dem Schalttransistor Q3 (MJE 15030) geschuldet. Seine Spannungsbelastung beträgt maximal 160 V, die in einem Spannungsverdoppler aufgearbeitet wird.

Die vorgestellten Schaltungen arbeiten mit einer Eingangsspannung von 12 V DC. Ich favorisiere diese Spannung als sehr gängige in zahlreichen Netzteilen und Akkus. Zudem deckt sie die Anforderung der meisten gängigen Röhrenheizungen in Reihenschaltung mit $2 \times 6,3$ V. Als Röhrenbetriebsspannung habe ich in der Erprobung 240 V, eine gebräuchliche den Standardröhren angemessene, gewählt. Beachten Sie bei der Wahl anderer Spannungen die Betriebswerte der eingesetzten Bauteile. Insbesondere zur Leistungsanpassung den Widerstand R2 und zur Spannungsänderung die Zenerdiode D1 (halbe Betriebsspannung).

Welcher Verstärker entspricht meinen Bedürfnissen?

Ein individueller Verstärker kann, unter Verwendung unterschiedlicher Röhren, sowie der Anordnung diverser Steckbrücken auf der Platine, gestaltet werden. Eintakt-, Gegentakt- und selbstdrehende Gegentaktendstufen sind realisierbar. Bereits praktisch ausgeführte Verstärkerkonzepte sind in dieser Anleitung aufgeführt. Ich hoffe auf Rückmeldungen zahlreicher Bastler, die sich an der Platine mit weiteren neuen Schaltungen versuchen.

Sicherheitshinweise:

Als Bestandteil der Platine ist diese Anleitung wichtig für den Aufbau, die Handhabung und den Betrieb des Verstärkers.

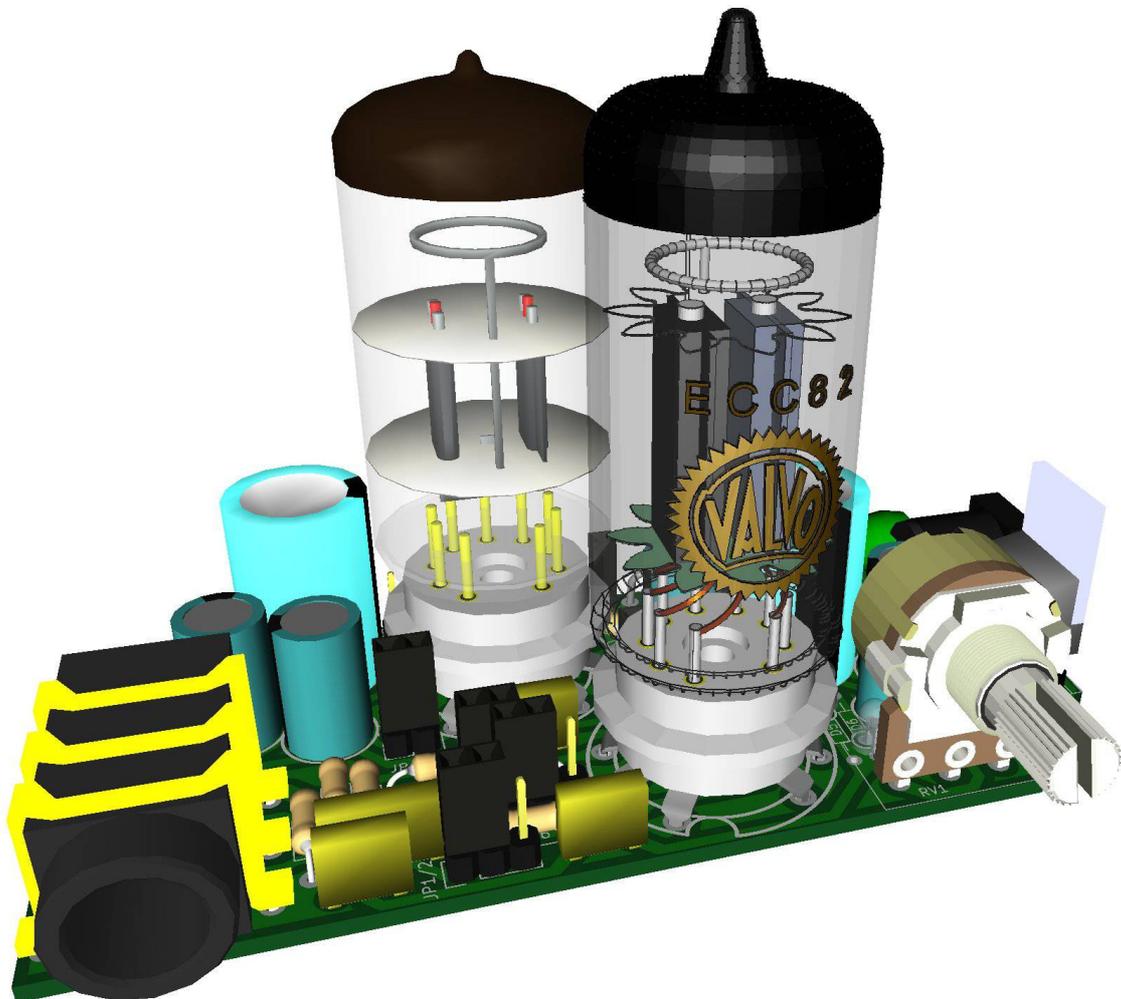
Bitte lesen Sie diese Anleitung sorgfältig, bevor Sie mit dem Zusammenbau und der Inbetriebnahme beginnen. Befolgen Sie die angegebenen Sicherheitshinweise, dies hilft Schäden am fertigen Verstärker und Beschädigungen angeschlossener Geräte zu vermeiden. Voraussetzung für den Nachbau dieser elektronischen Schaltungen sind fundierte Fachkenntnisse über den Einsatz der Bauteile, das Löten und Kenntnisse über Folgeschäden, die bei unsachgemäßer Anwendung entstehen.

Vorsicht beim Betrieb der Verstärker, es entstehen Spannungen von 240 V. Bevor Sie die Bauteile der Platine berühren, vergewissern Sie sich, dass die Spannungsversorgung entfernt ist und die Kondensatoren auf der Platine entladen sind.

- Schließen Sie keine Netzspannung an das Gerät an, es besteht Lebensgefahr.
- Es müssen die gültigen VDE- Vorschriften eingehalten werden.
- Prüfen Sie vor Inbetriebnahme den Verstärker auf Beschädigung. Nehmen Sie ihn nicht in Betrieb bei sichtbaren Beschädigungen.
- Vermeiden Sie mechanische Beanspruchungen die zu Defekten führen.
- Schützen Sie das Gerät vor Feuchtigkeit und Hitze.
- Betreiben Sie das Gerät nicht in Umgebung mit brennbaren Gasen, Dämpfen oder Staub.

1- Watt Universalröhrenverstärker

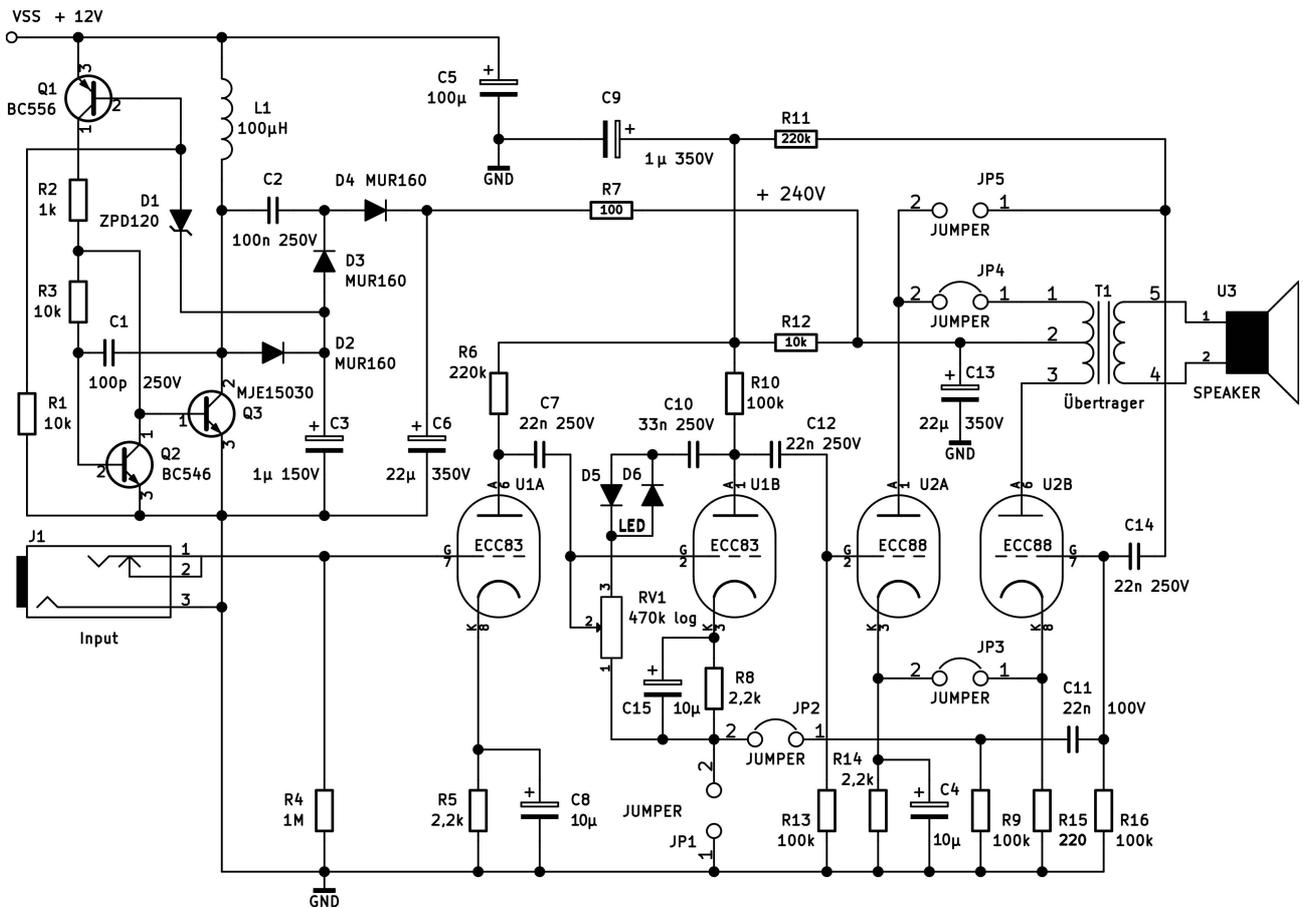
Dieser im Folgenden beschriebene Röhrenverstärker bietet die Besonderheit der möglichen Umgestaltung seiner Komponenten zu verschiedenen Endstufenvarianten. Die Bandbreite der Klang- und Leistungsvariationen erhöht sich durch die Auswahl als Eintakt-, Gegentakt- oder selbstdrehender Gegentaktendstufe mit diversen Endröhren.



Das verstärkende Element der Vorstufe ist eine ECC- Röhre, Sockelbeschtung Mi15. Hier im Bild eine ECC 82 Röhre, die durch eine pinkompatible Röhre beispielsweise ECC 81 oder - 83 ersetzt werden kann. Das an der Anode dieser Röhre abgegriffene Signal gelangt auf das Potentiometer RV1, dessen Beschtung eine Besonderheit bietet. Der Mittelschluss (Schleifer) dieses Potis ist über einen Kondensator direkt mit der Anode der ersten Vorstufenröhre, sowie mit dem Gitter der zweiten Röhrenstufe verbunden.

Führt man den Schleifer des Potis in Richtung Kathodenwiderstand der zweiten Röhrenstufe, so senkt sich die Lautstärke. In der mittleren Stellung arbeitet die Endstufe clean mit geringer Rückkopplung. Bewegt man den Schleifer hingegen weiter in Richtung Anode der zweiten Röhre, wird deren Ausgangssignal über die Dioden D5 und D6 zurück gekoppelt, was eine Verzerrung und Limitierung des Signals bewirkt.

Schaltbild 1; Gegentaktendstufe



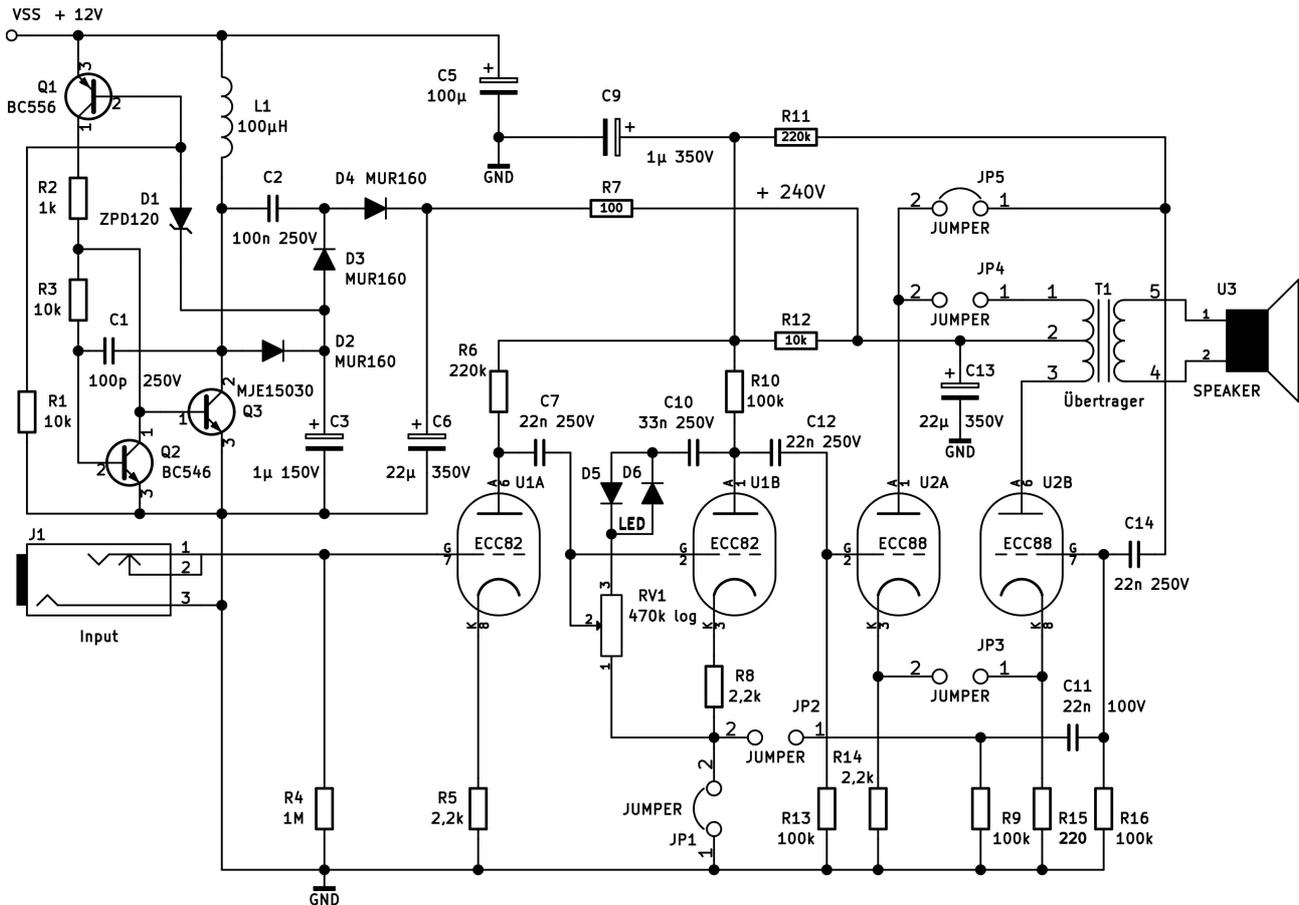
Mit Hilfe von Jumpers auf der Platine können verschiedene Betriebszustände der Endstufe eingestellt werden, die die Schalt- und Aufbaubilder im Folgenden verdeutlichen. Das Umschalten zwischen Eintakt und Gegentakt erfolgt mit den beiden Jumpers JP4/5. Diese trennen (verbinden) eine Endstufenröhre von dem Ausgangsübertrager und fügen einen hochohmigen Widerstand R11 als zusätzlichen Anodenwiderstand ein.

Jumper JP3 trennt (verbindet) zwei unterschiedliche Kathodenwiderstände R14 und R15 der Endstufenröhre. Eine der so neu beschalteten Endstufenröhren bekommt einen hochohmigen Kathodenwiderstand R14 und fungiert fortan als Zwischenstufenröhre.

Jumper JP1/2 ermöglichen den Phasenumkehr- bzw. Verstärkerbetrieb der zweiten Röhrenstufe.

Das gesamte System arbeitet im Eintaktbetrieb, mit einer zusätzlichen dritten Zwischenröhrenstufe. In mancher Röhrenkombination ist der Verstärkungsfaktor der drei aufeinander folgenden Vorstufen in dieser Betriebsart zu hoch. Der Verstärker neigt zum Schwingen. Abhilfe schafft in diesen Fällen das Entfernen der Kathodenkondensatoren C8, C15 und C4. Kathodenwiderstände die nicht mit einem dieser parallelen Kondensatoren gebrückt sind, erzeugen eine Gegenkopplung an dem entsprechenden Röhrensystem.

Schaltbild 2; Eintaktendstufe



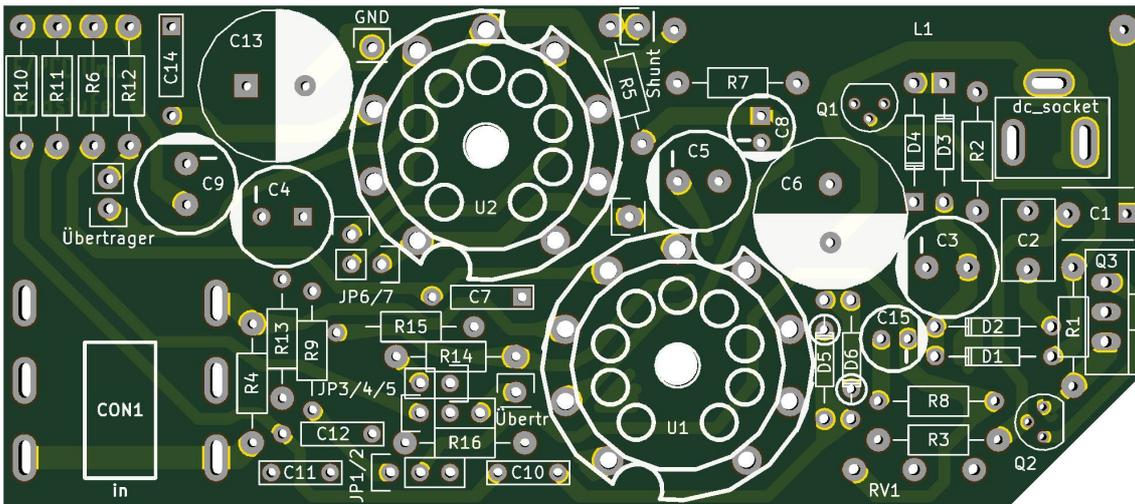
Weitere Betriebszustände sind die selbstdrehenden Gegentaktvarianten. Sie ergeben sich aus „Fehlstellungen“ der Jumper JP1/2 und JP4/5 und dem Entfernen des Kondensators C4. Solange keine Verbindungen zwischen dem Anodenkreis JP4/5 und dem Kathodenkreis JP1/2/3 gelegt werden, sind alle Kombinationen denkbar. Welche klanglichen Eigenschaften der Verstärker hierzu aufweist ist ungewiss und auch abhängig von den verwendeten Röhren. Sowohl Amplituden wie auch der Frequenzverlauf der phasenverschobenen Signale entsprechen nicht bei jeder Kombination der idealen Symmetrie zur Ansteuerung beider Endröhren. Sie erzeugen aber aus genau diesem Grund besondere Klangvariationen.

Gestaltung und Aufbau der Platine:

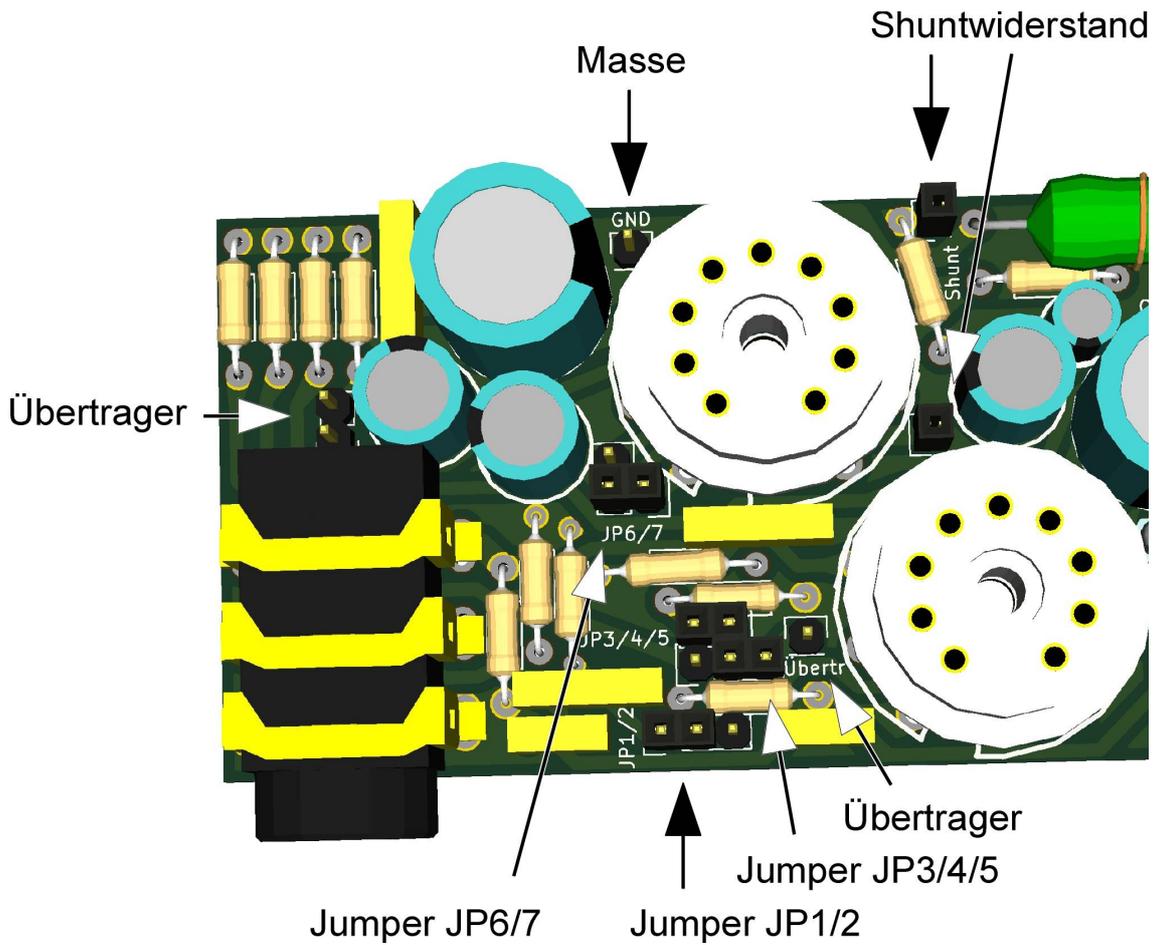
Die Platine ermöglicht es den Verstärker, in einem beliebigen Gehäuse ausreichender Größe, an zwei im 90° Winkel versetzten Seiten zu befestigen. Gebohrt und geschraubt werden lediglich die Buchsen, Potentiometer und der Leistungstransistor des Spannungswandlers, der zur Kühlung, elektrisch isoliert durch eine Glimmer- und Kunststoffunterlegscheibe, aber mit dem Gehäuse wärmeleitend verbunden sein muss. Gegebenenfalls kann die Platine unterhalb der Röhrensockel noch über Abstandsbuchsen mit dem Gehäuseboden verschraubt werden. Empfehlenswert besonders bei häufigem Röhrenwechsel.

Wichtig ist der Aufbau der Bauelemente auf der Platine. Die Einhaltung einer strukturierten Reihenfolge bei der Bestückung ist zwingend.

Platinenbestückung:

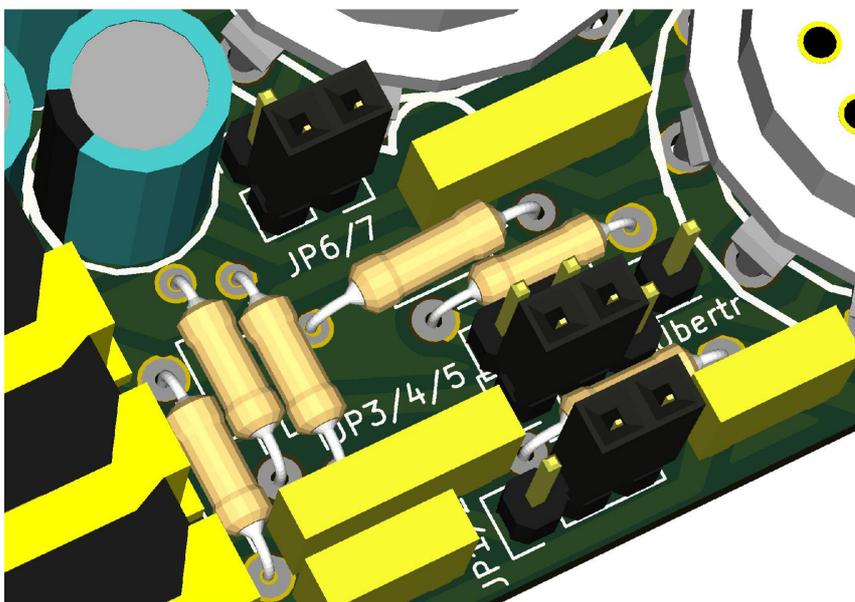


Jumper und Anschlüsse:

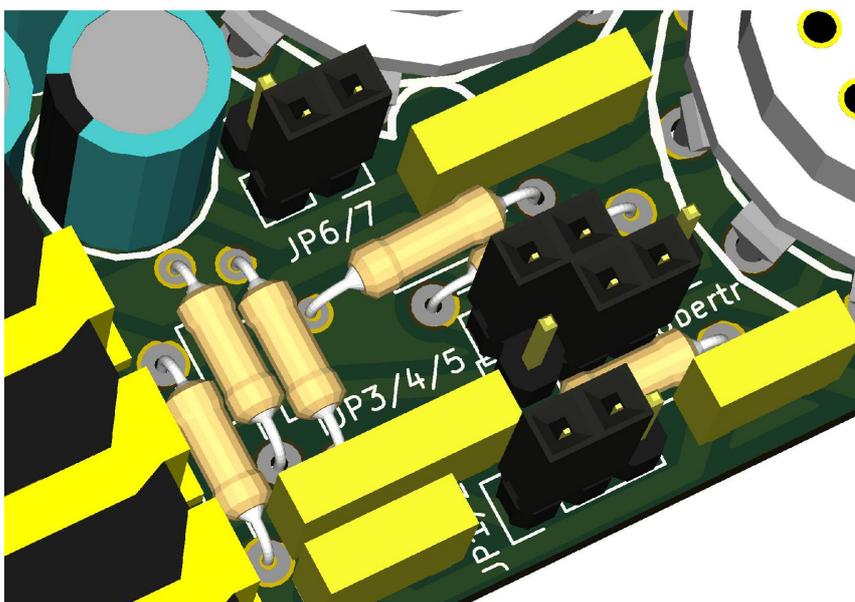


Setzen der Jumper Eintakt, Gegentakt:

Achtung !!! Jumper JP1/2 und JP3/4/5 ermöglichen die Umschaltung des Betriebszustands der Endstufe. Nur waagerechte Jumperverbindungen sind erlaubt.



Stellung 1 für
Eintaktbetrieb



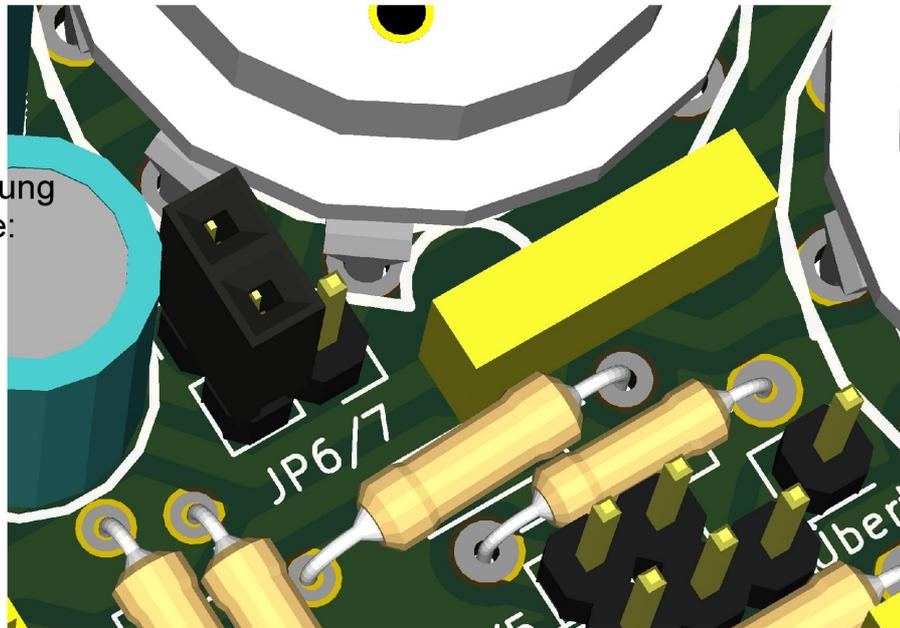
Stellung 2 für
Gegentaktbetrieb

Setzen der Jumper zum Betrieb unterschiedlicher Endstufenröhren:

Achtung !!! Jumper JP6/7
ermöglicht die Verwendung diverser Endstufenröhren.
Falsche Einstellungen können die Röhren beschädigen.
Diese Einstellmöglichkeit gilt nur für den Sockel der Endröhre U2.

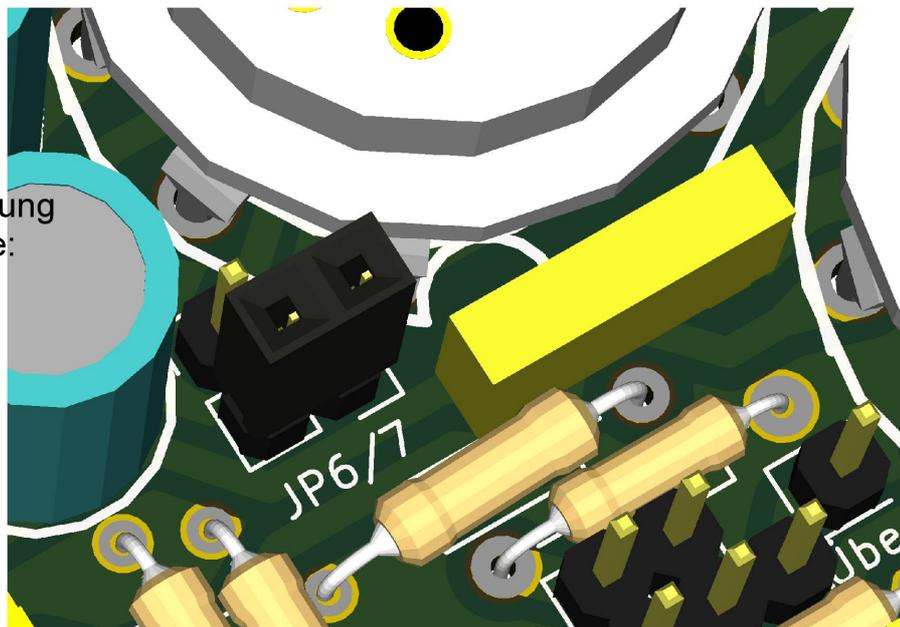
Stellung 1 für
Röhren der
Sockelbeschaltung
No15, Beispiele:

ECC 81
ECC 82
ECC 801
ECC 802
E180 CC
6085
6201
6189
7062



Stellung 2 für
Röhren der
Sockelbeschaltung
No53, Beispiele:

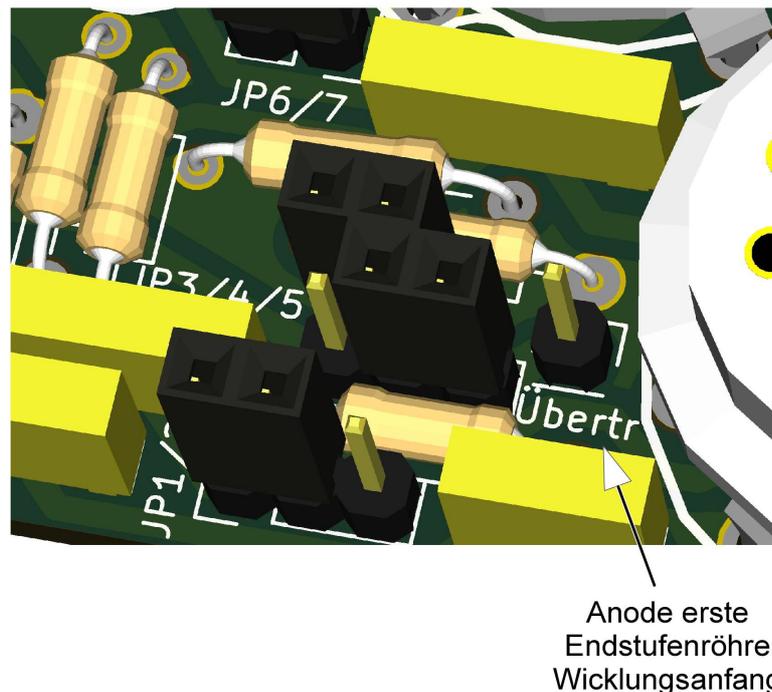
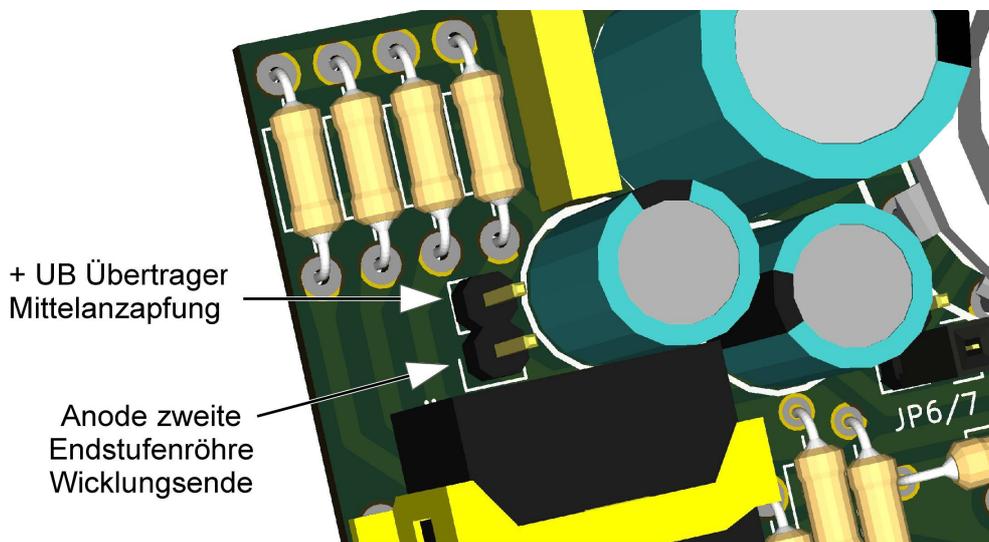
ECC 88
PCC 88
ECC 85
ECC 189
E188 CC
6 ES8
7308
8223



Geeignete Ausgangsübertrager:

Für den Gegentaktverstärker kommen speziell gewickelte Gegentaktübertrager mit einer Leistung von 2 bis 5 Watt in Frage. Es gibt jedoch nur sehr wenige Hersteller solcher Bauteile. Gut geeignet sind aber auch 100 V ELA- Übertrager. Viele von diesen Übertragern bieten mehrere Anzapfungen, meist 0,5 bis 10 Watt, zur Leistungsanpassung. Für unsere Zwecke nutzen wir die gesamte Wicklung und bestimmen mit einem Induktionsmessgerät die ideale Mittelanzapfung. Exakt gleich werden die beiden Werte (induktive Widerstände symmetrisch zur Mittelanzapfung) beispielsweise zwischen 0,5 bis 2 Watt und 2 bis 10 Watt wohl nicht sein, aber darin liegt auch der Reiz der Klangvarianten dieser Übertrager. Absolute Linearität ist sowieso nicht das Steckpferd eines Röhrenverstärkers, unser persönlicher Eindruck entscheidet.

Übertrageranschluss und Jumperstellung zur Verwendung als Gegentaktendstufe:

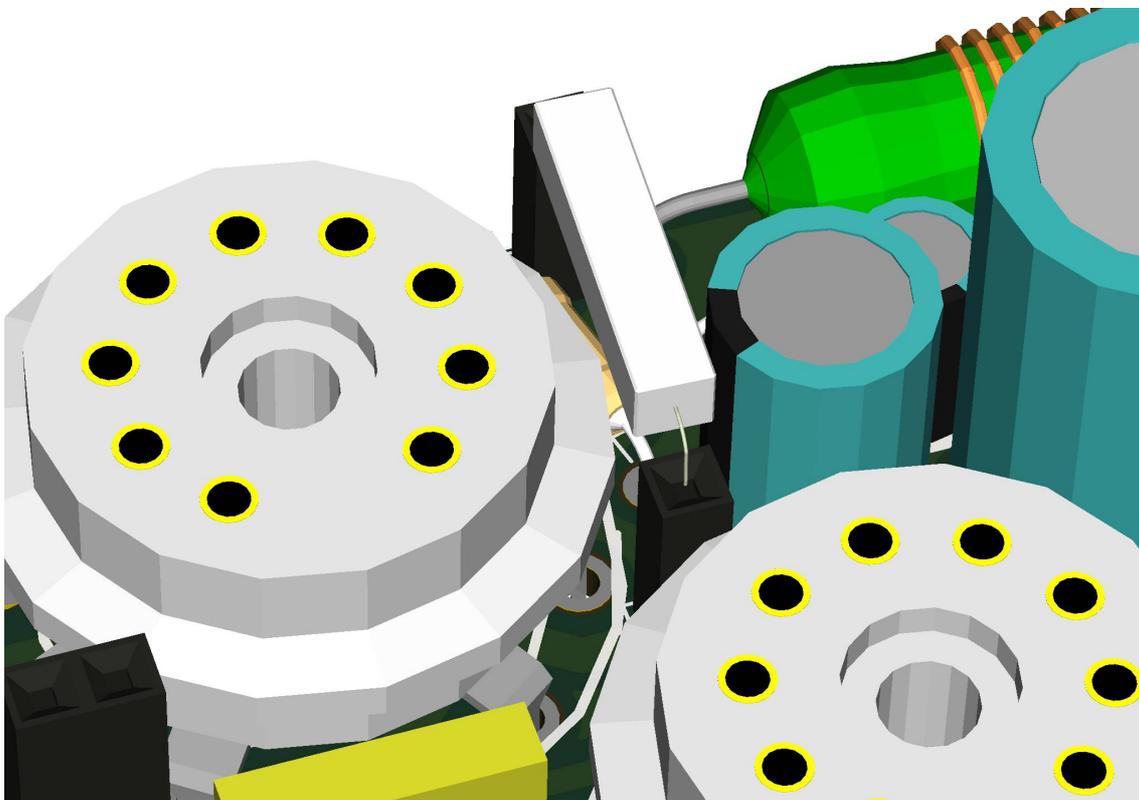


Die Sekundärseite eines Übertragers hat ebenso oft verschiedene Anschlussmöglichkeiten. Da die sekundäre Beschaltung mit Lautsprechern Einfluss auf die primäre Impedanz hat, gilt hier das Gebot: ausprobieren was gefällt. Kurzschlüsse bereiten den Übertragern meist keine Probleme. Leerlauf hingegen kann zu Überspannungen innerhalb der Wicklung und zur Zerstörung führen.

Bestückung der Endstufe:

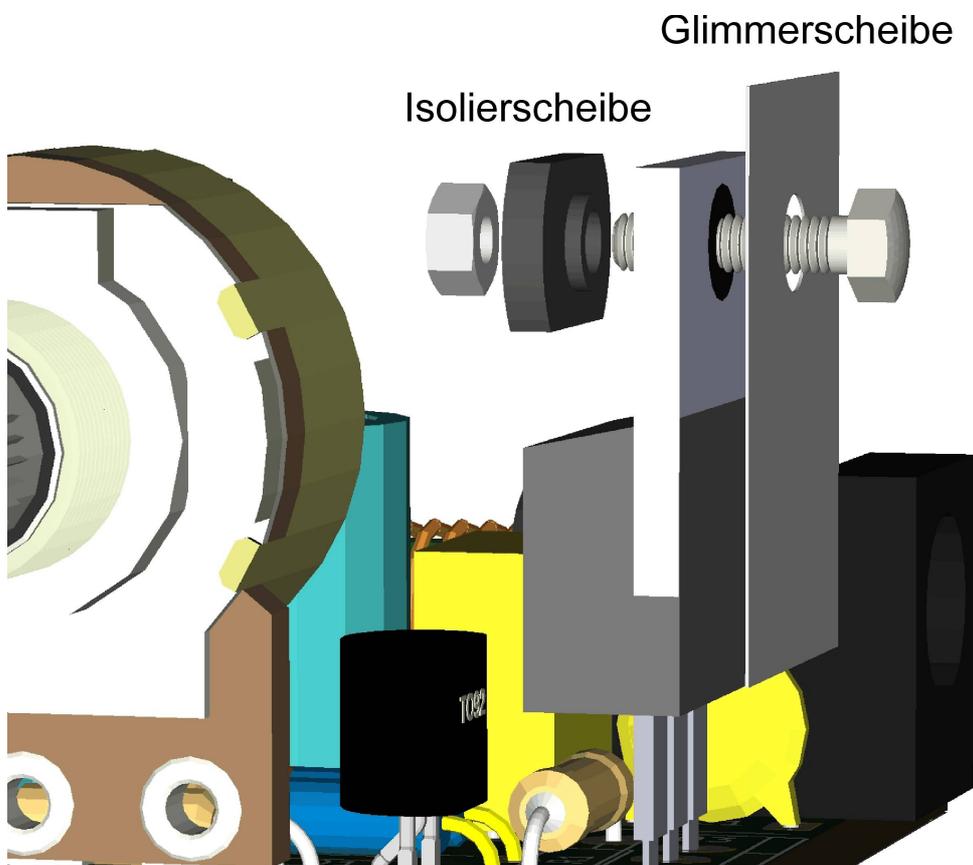
Die Gegentaktendstufe wird hier mit einem E(P)CC 88 Röhrensystem betrieben. Prinzipiell unterscheiden sich diese E- und P- Röhren lediglich durch ihre Heizwicklung. ECC 88 Systeme werden mit 6,3 V geheizt, die Stromstärke beträgt 350 mA. P- Systeme haben grundsätzlich einen Strom von 300 mA, ihre Spannung beträgt im Falle der PCC 88 7,5 V. Zum Betrieb beider Röhrenheizsysteme, der Vorstufen ECC 83 und der Endröhre, werden diese beiden Systeme in Reihe an 12 V geschaltet. Praktisch ergibt sich hieraus, dass die Endröhren leicht unterheizt werden. Die Verwendung einer PCC 88 erlaubt eine höhere Betriebsspannung von 14 V. Beide Varianten stellen für die Röhren kein Problem dar, wirken sich im Klang jedoch unterschiedlich aus. Eine höhere Heizleistung bedingt eine Verringerung des Innenwiderstandes der Röhre, und damit einhergehend einen höheren Anodenstrom. Auch hier gilt, erlaubt ist was gefällt. Leuchtet eine der beiden Röhren während des Einschaltens hingegen stark auf, ist Vorsicht geboten. Andere Paarungen der Röhren sind dann vorzunehmen, oder ein Shuntwiderstand parallel zur Vorstufenröhre ist in seiner Dimensionierung (auch seine Leistung beachten) entsprechend der Heizströme zu bemessen und einzusetzen. Ein solcher Widerstand kann als Brücke zwischen den beiden Shuntbuchsen gesteckt werden. Diese Maßnahme gilt insbesondere für Endröhren mit deutlich höheren Heizströmen.

Anordnung des Shuntwiderstands:



Tipps zum Aufbau und Betrieb:

Arbeiten Sie bei der Bestückung der Platine von der Mitte nach Außen. Schrauben zur Stabilisierung unterhalb der Röhrensockel sind, abhängig vom Sockelmodell, nach dem Verlöten nicht mehr erreichbar und sollten vorab mit einer Kunststofficherungsmutter befestigt werden. Ist die Platine fertig bestückt und funktionsgeprüft, folgt der Einbau in ein Gehäuse. Auch hier steckt der Teufel im Detail. Die Verschraubungen der Potentiometer bzw. der Eingangsbuchse sind Hersteller und Typen bedingt nicht immer identisch. Somit variiert der Abstand des gesamten Aufbaus von der Frontseite. Davon betroffen sind auch die seitlichen Bohrungen der Spannungsversorgung und des Leistungstransistors Q3. Zur idealen Kühlung dieses Transistors Q3 (MJE 15030) ist an seinem Befestigungspunkt eine möglichst große, wärmeleitende Metallfläche vorzusehen. Diese Metallfläche ist elektrisch, von dem Transistor durch eine beidseitig mit Wärmeleitpaste bestrichene Glimmerscheibe und einer Kunststoffisolierscheibe, zu trennen.



Verwenden Sie zum Betrieb des Verstärkers ausschließlich dreipolige Netzteile mit durchgeschleifter Masse oder 12 V Akkus. Einfache zweipolige Netzteile verursachen Brummgeräusche. Die in den Beispielen zur Verwendung angegebenen Röhren, und sämtliche hierzu möglichen Jumperstellungen zum Betrieb der Endstufe, wurden nicht vollumfänglich getestet. Die Anzahl der Möglichkeiten ist zu groß, lässt aber dem Bastler viele Freiheiten zur Gestaltung seines individuellen Verstärkers.

Einen besonders cleanen Sound erzeugt der Gegentaktverstärker wenn die Dioden (LEDs D5 und D6) nicht eingebaut werden, bzw. zusätzlich über einen Schalter deaktiviert (getrennt) werden.

Tipps zur Bauteilwahl:

Ein wichtiges Bauteil der Schaltung in Bezug zur Leistung des Spannungswandlers bildet der Widerstand R2. Um die Leistung zu erhöhen ist sein Wert zu verringern. Wird diese Leistung des Wandlers jedoch nicht von der Endstufe entsprechend abgefordert, können Regelfrequenzen des Transistors Q1 störenden Einfluss auf das Klangbild haben (Netzteilbrummen). Der Widerstand R2 ist so zu dimensionieren, dass die abgeforderte Leistung des Wandlers gerade noch keine (sehr geringe) Regelung erfordert. In diesem Betriebszustand ist auch der Wirkungsgrad des Wandlers maximal. Daher die geringe Kühlleistung. Vorsicht auch bei zu kleinen Werten des Widerstands R2 (unter ca. 300 Ω). Der Schalttransistor ist unterhalb eines bestimmten Wertes von R2 permanent geschaltet und bildet einen Kurzschluss (auch abhängig von der Eingangsspannung).

Eine weitere Möglichkeit besteht im Betrieb der Schaltung mit höherer Eingangsspannung. Die Leistung kann z. B. unter Verwendung leistungsstarker Endröhren (ECC 99) deutlich gesteigert werden. Die beiden Heizwicklungen der ECC 99 werden hierzu mit Jumper 6/7 in Reihe ($2 \times 6,3 \text{ V} = 12,6 \text{ V}$, 400 mA) und zusätzlich in Reihe zur Vorstufenröhre betrieben. **Achtung:** Jumper 6/7 in Stellung 2 (No53) trotz Sockelmodell No15 der Röhre ECC 99 und Einsatz eines Shuntwiderstands von 56 Ω (1 Watt) parallel zur Vorstufenheizung. Pin 9 der ECC 99 ist dann zu entfernen. Besser jedoch, um die Röhre nicht zu zerstören, fertigt man einen Adaptersockel, in dem Pin 9 nicht durchverbunden ist. Aus der Reihenschaltung der Heizelemente aller Röhren ergibt sich eine erforderliche Betriebsspannung von $3 \times 6,3 \text{ V} \approx 19 \text{ V DC}$, die viele Computernetzteile bereitstellen. Zur Anpassung der Leistung wieder R2 beachten, der bei höheren Eingangsspannungen ggf. zu vergrößern ist.

In diversen Versuchen habe ich jedoch festgestellt, dass die thermische Belastung des Verstärkers unter Verwendung der ECC 99 Röhre stark zunimmt. Andererseits ist der Lautstärkegewinn gering. Doppelte Leistung bedeutet nicht doppelte Lautstärke.

Um den geringst möglichen Platzbedarf innerhalb eines Gehäuses zu gewähren, finden kleinste Bauteile auf der Platine Verwendung. Aus der Bauteilliste gehen die maximalen Abmaße, minimalen Spannungswerte und das Rastermaß hervor.

Buchsen, Sockel, Potentiometer und Stifte unterliegen keiner so strengen Norm. Zum Teil sind diese Maße herstellerabhängig und bedürfen einer Steckprüfung bei der Beschaffung.

Herstellerbedingt hingegen können auch elektrische Daten der Bauteile geringfügig abweichen. Dies betrifft besonders den Transistor MJE 15030. Ich habe in diesem Zusammenhang, an verschiedenen Transistoren unterschiedlicher Hersteller, abweichende Basisströme zur Ansteuerung gemessen. Für die Gesamtleistung und den Wirkungsgrad des Spannungswandlers hat dies jedoch keine gravierende Nachteile. Es ist lediglich der Widerstand R2 entsprechend der Erforderlichkeit der Verstärkerschaltung anzupassen.

Zahlreiche Versuche mit diesem Transistor bestätigen den hohen Wirkungsgrad der Spannungswandlerschaltung. Einen adäquaten Ersatztyp für diesen Transistor habe ich leider noch nicht gefunden. Mit Abstrichen im Wirkungsgrad aber für höhere Ausgangsspannungen geeignet ist der Transistor 2 SC 2335.

Wichtig für den Wirkungsgrad und die Leistung des Wandlers sind zudem schnelle Schaltdioden. Einfache 1N 4004 Dioden kommen hier nicht in Frage. Ihre schnellen Varianten UF 4004 (ultra fast) hingegen können als Ersatz für MUR Dioden fungieren.

Die Gestaltung einer fertig bestückten Platine, mit flexibelster Anpassung an den individuellen Verstärker, bietet der Austausch folgender Bauteile:

C4, C8, C15, R15, LED D5 und D6.

Mit Hilfe der Kondensatoren C4, C8 und C15, kann die Rückkopplung der einzelnen Stufen aufgehoben werden (höhere Verstärkung). R15 dient zur Anpassung des Anodenstroms der Endröhren. LED D5 und D6 erzeugen je nach Farbmodell unterschiedliche, zusätzliche Verzerrung. Werden diese Bauteilpositionen der Platine mit Steckbuchsen bestückt, ist ein Austausch der Bauteile jederzeit ohne Lötarbeit realisierbar. U_B bezeichnet den Wert der sekundärseitigen Wandlerspannung vorgegeben durch $2 \times (U)D1$, hier 240 V.

Bauteile:

Kondensatoren:

C1	100pF	$> \frac{1}{2} U_B$	RM 5	
C2	100nF	$> U_B$	RM 5	7 x 5 mm
C3	1 μ F	$> \frac{1}{2} U_B$	RM 3,5	\varnothing 8 mm
C4	10 μ F	25 V	RM 3,5	\varnothing 8 mm
C5	100 μ F	25 V	RM 3,5	\varnothing 8 mm
C6	22 μ F	$> U_B$	RM 5	\varnothing 13 mm
C7	22nF	$> U_B$	RM 7,5	
C8	10 μ F	25 V	RM 2,5	\varnothing 5 mm
C9	2,2 μ F	$> U_B$	RM 3,5	\varnothing 8 mm
C10	1 – 47nF	$> U_B$	RM 5	
C11	22nF	$> \frac{1}{2} U_B$	RM 5	
C12	22nF	$> U_B$	RM 7,5	
C13	22 μ F	$> U_B$	RM 5	\varnothing 13 mm
C14	22nF	$> U_B$	RM 7,5	
C15	10 μ F	25 V	RM 2,5	\varnothing 5 mm

Widerstände (alle 0,6W):

R1	10k
R2	470 Ω – 1k
R3	10k
R4	1M
R5	2,2k
R6	220k
R7	100 Ω
R8	2,2k
R9	100k
R10	100k
R11	220k
R12	10k
R13	100k
R14	2,2k
R15	220 Ω
R16	100k

Transistoren:

Q1	BC 556 (BC 558)
Q2	BC 546
Q3	MJE 15030

RV1 470k log

Spulen:

L1	100 μ H > 2 A
Tr	Gegentaktübertrager 3 – 5 W (100 V ELA Übertrager)

Dioden:

D1	ZPD 120
D2	MUR 160 (UF 4004, EGP 10)
D3	MUR 160 (UF 4004, EGP 10)
D4	MUR 160 (UF 4004, EGP 10)
D5	LED
D6	LED

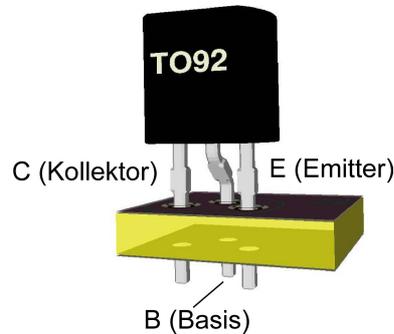
Sonstiges:

Diverse mechanische Bauelemente wie bspw. Röhrensockel, Steckerleisten und Anschlussbuchsen.

Hinweise zu den Bauteilen:

Wichtig beim Einbau einiger Bauteile ist deren Polarität. Transistoren haben drei Anschlüsse, Emitter (E), Basis (B) und Kollektor (C). Überprüfen Sie die Zuordnung anhand der Bauteilbeschreibung. Dioden sind mit einem seitlichen Ring gekennzeichnet, dieser zeichnet die Kathode.

Der Transistor (hier BC 546 und BC 556) besitzt die Anschlüsse wie dargestellt:



Neuzeitlich verwendete Widerstände sind Metallfilmwiderstände der Reihe E 24 oder E 48. Sie besitzen meist 5 Farbringe. Der letzte Farbring definiert die Toleranz in %.

Gold = 5 %, Rot = 2 %, Braun = 1 %

Die ersten drei Farbringe definieren den Wert, der vierte zeichnet den Multiplikator:

Farbring 1 – 3: Farbring 4 (Multiplikator):

Schwarz	= 0	, × 1	
Braun	= 1	, × 10	
Rot	= 2	, × 100	
Orange	= 3	, × 1000	= × 1k
Gelb	= 4	, × 10.000	= × 10k
Grün	= 5	, × 100.000	= × 100k
Blau	= 6	, × 1.000.000	= × 1M
Violett	= 7	, × 10.000.000	= × 10M
Grau	= 8	, × 100.000.000	= × 100M
Weiß	= 9	, × 1.000.000.000	= × 1G

Die Gefahr besteht, den Wert gemäß der Farbringe rückwärts zu interpretieren. Darum die Werte zusätzlich noch einmal mit einem Messgerät kontrollieren!

Kondensatoren werden oft nur mit dem Zahlenwert als Wert in pF bedruckt. Auch hier können Missverständnisse auftreten. Reine Zahlenangaben ohne Buchstabenzusätze können bedeuten:

Beispiel: 1000 entspricht 1000pF bzw. 1nF

Doch Vorsicht! Es gibt auch reine Zahlenangaben bei denen die letzte Zahl die Anzahl der noch folgenden Nullen angibt.

Beispiel: 223 entspricht 22000pF bzw. 22nF

Sind die Werte vollständig aufgedruckt, muss gegebenenfalls noch umgerechnet werden.
 Beispiel: 0,1µF entspricht 100nF. Das F stellvertretend für Farad wird häufig weggelassen.

Beispiele zu verwendender Röhren:

Socket No15:

B 152	6 AU7	6067
B 309	12 AD7	6072
B 329	12 AT7	6085
B 339	12 AU7	6189
E80 CC	12 AV7	6201
E81 CC	12 AX7	6211
E82 CC	12 AY7	6679
E83 CC	12 AZ7	6680
E180 CC	12 BH7	6681
E181 CC	12 BZ7	6829
ECC 81	12 DT7	6913
ECC 82	12 DF7	7025
ECC 83	5721	7062
ECC 87	5751	7316
ECC 186	5814	7489
ECC 801	5965	7492
ECC 802	6057	
ECC 803	6060	

Socket No 53:

B 109	4 BQ7	7 AU7
B 719	4 BS8	7 DJ8
Cca	4 BZ7	7 ES8
E88 CC	4 ES8	8 OG7
E188 CC	5 BQ7	9 AQ8
E288 CC	5 BS8	9 AU7
ECC 85	5 BZ7	10 L14
ECC 88	6 AQ8	10 LD14
ECC 180	6 BC8	12 DT8
ECC 189	6 BK7	26 AQ8
ECC 804	6 BN7	6972
ECC 865	6 BQ7	7308
PCC 85	6 BS8	8223
PCC 88	6 BZ7	
PCC 189	6 CG7	
UCC 85	6 DT8	
XCC 189	6 ES8	
	6 L13	

Achtung! Diese Röhrenauswahl gibt lediglich einen Hinweis auf die Kompatibilität der Röhrensockel. Zur Verwendung sind die übrigen Werte der entsprechenden Röhre zu überprüfen und die Schaltung der Platine ggf. anzupassen.

Erstaunt bin ich von der Röhre ECC 180 bzw. E180 CC, deren Sockelzuordnungen und Betriebswerte sind laut Vergleichsliste unterschiedlich, anders als bspw. ECC 83 und E83 CC. Daher alle Angaben bitte sorgfältig prüfen. Niemand ist frei von Fehlern.

Einsetzen der Bauteile:

Setzen Sie die Bauteile einzeln, flache Bauteile zu erst, und löten. Bei Bedarf biegen Sie die Anschlüsse der Bauteile auf das entsprechende Maß der Platine und führen diese in die zugehörigen Bohrungen. Mit zunehmender Bauteilbestückung der Platine nimmt die Zugänglichkeit zu diesen Bauteilen stetig ab. Bestücken Sie daher sinnvoll von der Platinenmitte zum Rand. Der Durchmesser der Anschlussdrähte einzelner Bauteile kann variieren, ggf. muss die zugehörige Bohrung vergrößert werden (Durchkontaktierung beachten). Häufig ist dies bei Dioden der Fall, doch sind diese Bohrungen vorab schon mit einem größeren 0,9 mm Durchmesser versehen.

Es ist sinnvoll mechanisch beanspruchte Bauteile, wie Buchsen und Potentiometer zur besseren Stabilisierung, zusätzlich noch auf der Oberseite der Platine zu verlöten. Dies gilt insbesondere für die Eingangsbuchse zur Spannungsversorgung. Die ovalen Langlöcher der Platine sind nicht zwingend durchkontaktiert (abweichende Herstellungsprozesse der Platine). Hier an dieser Stelle ist eine Verbindung der oberen (Bauteil) und unteren (Lötseite) Massefläche zwingend erforderlich.

Da der Verstärker mit ca. 240 V betrieben wird, ist ein ausreichender Abstand spannungsführender Leiter der Platine von dem Gehäuse erforderlich, bzw. mit elektrisch isolierender Folie zu verkleiden.

Hinweise zum Löten:

Verwenden Sie zum Löten nur einen ElektroniklötKolben mit einer Maximalleistung von 30 Watt und geeignetes ElektroniklötZinn. Solches LötZinn besitzt eine Kolophoniumseele, welche als Flussmittel dient. Verwenden Sie keinesfalls andere Flussmittel wie Lötfett, Lötpaste oder Lötwasser. Diese sind säurehaltig und können Leiterplatte und Bauteile zerstören. Berühren Sie mit der aufgeheizten Kolbenspitze gleichzeitig den durch die Platine geführten Bauteilanschluss sowie das LötPad der Platine. Dann führen Sie LötZinn hinzu, sodass sich ein geschmolzener Zinnkegel von der Platine um den Anschluss herum bildet. Vermeiden Sie ein Überhitzen der Bauteile. So kurz wie möglich, so lang wie nötig löten. Achtung!!! **Eingeatmete Lötdämpfe gefährden Ihre Gesundheit!**

Kolophonium härtet nach dem Erkalten der Lötstelle aus und überzieht die Leiterbahn mit einem glasartigen Film. Diese Schicht zeigt auch ein aggressives Verhalten und kann langfristig ebenso zu einer Zerstörung der Leiterbahn führen. Mit einem kleinen, stumpfen, metallischen Gegenstand kann diese Schicht gelöst werden. Ich empfehle diese anschließend mit einem Pinsel zu entfernen.

Ein Verstärker mit Pentoden:

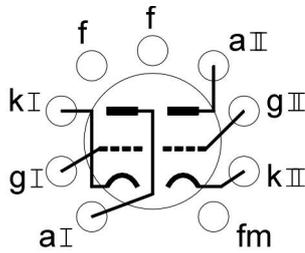
Die Platine ermöglicht zwar schon die Gestaltung zahlreicher Verstärker, doch beschränken sich diese bisher auf Triodenendstufen, denen ein warmer aber begrenzter Klangcharakter nachgesagt wird. Eine innere Unruhe lenkte meine Gedanken hin zur möglichen Endstufengestaltung mit Pentoden. Besteht die Möglichkeit zur Umgestaltung eines fertig im Gehäuse verbauten Verstärkers zu einem Pentodenverstärker?

Wenn ja, welche Pentoden sind geeignet?

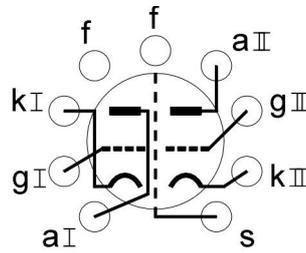
Merkwürdigerweise sucht man zur Verwirklichung nicht nach einer geeigneten Röhre, sondern nach einem passenden Sockel. Also Vergleichsbuch aufschlagen und sämtliche Novalsockel betrachten. Gesucht wird nach übereinstimmenden Pinzuordnungen zwischen Doppeltrioden- und Pentodenröhren. Für die beiden Anschlüsse der Heizwicklung ist das nicht schwer, sie sind den meisten Novalsockeln an Pin 4 und 5 zugeordnet. Weitere Übereinstimmungen müssen sich an den übrigen Pins ergeben. Doch Obacht, die Anode einer Triode kann auch pingleich mit dem Gitter 2 einer Pentode sein. Ebenso die Kathode einer Triode, sie kann mit dem Gitter 3, dem Bremsgitter einer Pentode, korrelieren. Die beiden Anodenanschlüsse der Trioden, in unserem Fall Pin 1 und 6, sind nahezu frei belegbar, da sie direkt zum gesteckten Ausgangsübertrager führen.

Mit diesen Überlegungen und der Durchsicht der Sockelbeschaltungen aller Novalröhren kristallisieren sich die Sockel No 5, No 6 und No 202 als geeignet heraus.

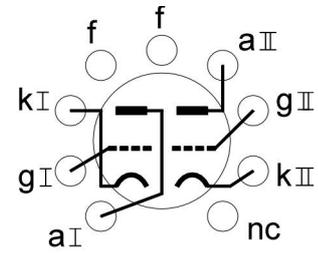
Verwendung von Röhren mit folgenden Sockeln:



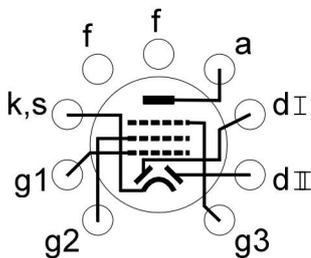
No15



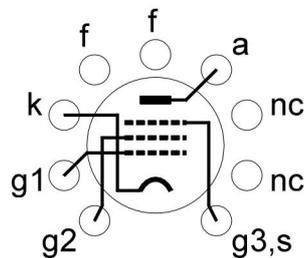
No53



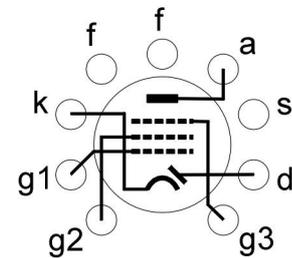
No142



No5



No6



No202

Ansicht der Sockeldarstellungen von unten gegen die Stifte und Zählrichtung im Uhrzeigersinn.

Nun noch die Liste aller in Frage kommenden Röhren mit einer dieser Beschaltungen herausfinden und Bingo.

Für den Sockel No 5 sind das folgende Röhren: EBF 80, EBF 83, EBF 89, 6 AD8
6 DC8, 6 DR8, 6 FD12, 6 N8, 7125,

für den Sockel No 6 die Röhren: E83 F, 6689,

und für den Sockel No 202 die Röhre: EAF 801

Heizwerte und Betriebswerte scheinen passend. Die aufgeführten Röhren sind nur die mit adäquaten Heiz- und Betriebswerten. Weitere mit höheren Heizspannungen sind ebenfalls noch zu beschaffen und machen so bspw. andere Betriebsspannungen des Verstärkers möglich. Sie wurden jedoch nicht aufgeführt, um die Übersicht des Selbstbauprojekts nicht zu überladen. Trotz adäquater Betriebswerte sind nicht alle Röhren mit einem im Vorfeld gewählten Ausgangsübertrager kombinierbar (hier hilft nur ausprobieren).

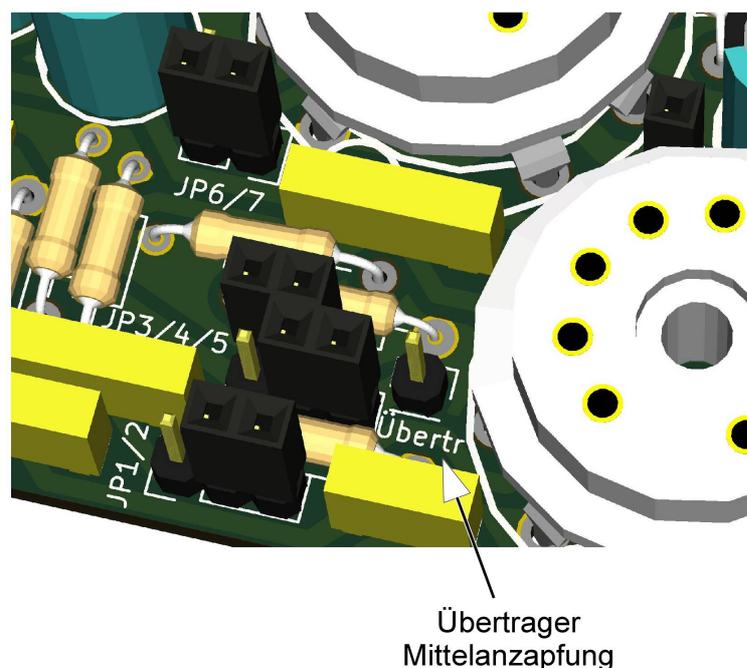
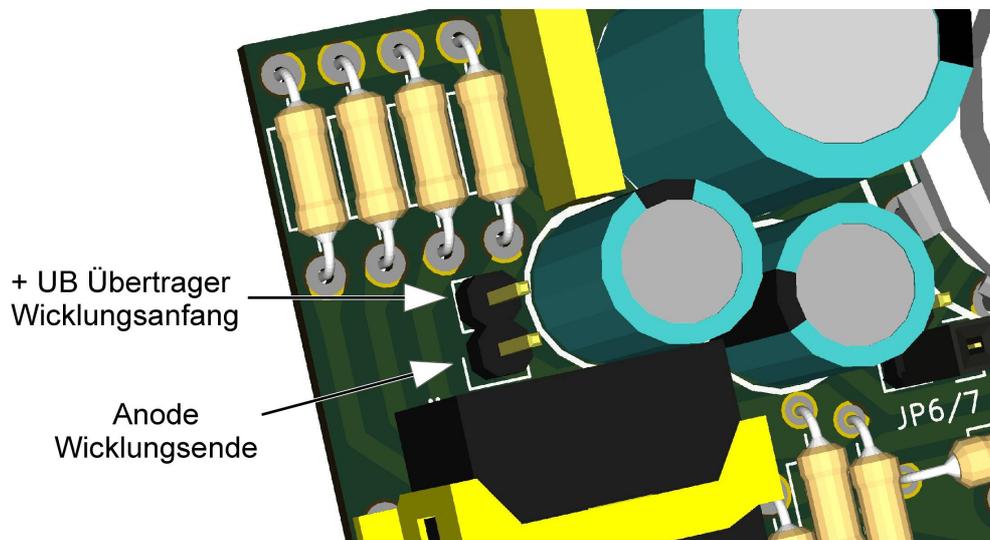
Das Bremsgitter der Pentoden g3 liegt an Pin 9. Eigentlich eine Verbindung zur Röhrenheizung (Potential von 0 bis 12 V). Da aber dieses Potential zwischen den beiden Heizsystemen nicht weit vom Kathodenpotential entfernt und sehr niederohmig ist, kann es mit dem Bremsgitter verbunden sein.

Die Röhren mit den Sockeln No5 und No202 tragen zusätzlich noch Diodensysteme. Da die Anschlüsse der Dioden auf gleichem Kathodenpotential liegen, bzw. mit Gitterkondensatoren der ursprünglichen Triodensysteme geblockt sind, sind sie innerhalb der Schaltung bedeutungslos. Ein kurzes umjumpern der Steckbrücken (Jumper 3/4/5 in Gegentaktstellung Jumper 1/2 in Eintaktstellung) und,

das ist wichtig (!),

den Ausgangsübertrager wie im folgenden Bild gezeichnet anders stecken. Denn dieser wird nun an der Pentode ultralinear betrieben.

Übertrageranschluss und Jumperstellung zur Verwendung einer Pentode:



Noch einige Hinweise zum Schluss:

Die angegebenen Bauteilwerte sind nicht für alle Verstärkervarianten ideal und sollten ggf. angepasst werden. Dies betrifft besonders die Anoden- und Kathodenwiderstände unter Verwendung anderer Röhren.

Das Potentiometer RV1 erfüllt zwei Aufgaben, die Lautstärkeregelung und eine Rückkopplung der Diodenspannung zur Verzerrung des Signals. Aus diesem Grund ist der Wert hochohmig (470k Ω). In mancher Kombination führt dieser hohe Wert zu Eigenschwingungen des Verstärkers und ist bei Bedarf zu verringern (47k Ω – 100k Ω).

Die Verkleinerung des Widerstandswerts mindert jedoch die Vielseitigkeit der Platine zum Umbau verschiedener Verstärker. Das Auslöten des Potis zur Veränderung ist unzweckmäßig. Eine Alternative ist die Verwendung einer Vorstufenröhre mit geringerer Verstärkung bspw. die ECC 82. Mit dieser Röhre ist die Funktion des Potis als Lautstärkeregelung (links) sowie der Rückkopplung des Signals in der zweiten Verstärkerstufe (rechts) gewährleistet.

Die LEDs zur Verzerrung limitieren gleichzeitig den Pegel des Ausgangssignals. Es ist zweckmäßig LEDs mit einer hohen Kniespannung einzusetzen.

Wird die Endstufe im Gegentakt betrieben, ist der Kondensator C4 zu verwenden. Besonders bei Verwendung eines 100 V ELA- Übertragers ist die Symmetrie der Signale in der Endstufe nicht gewährleistet. Am gemeinsamen Kathodenwiderstand der Endröhren R15 entsteht eine Wechselwirkung dieser unsymmetrischen Signale und führt ohne C4 zu Verzerrungen.

Auch beide Röhrensysteme in der verwendeten Endröhre sind selten zu 100% symmetrisch. Eine zusätzliche Möglichkeit diese ungewollte Wechselwirkung zu unterdrücken ist der Tausch beider Anodenanschlüsse des Übertragers.

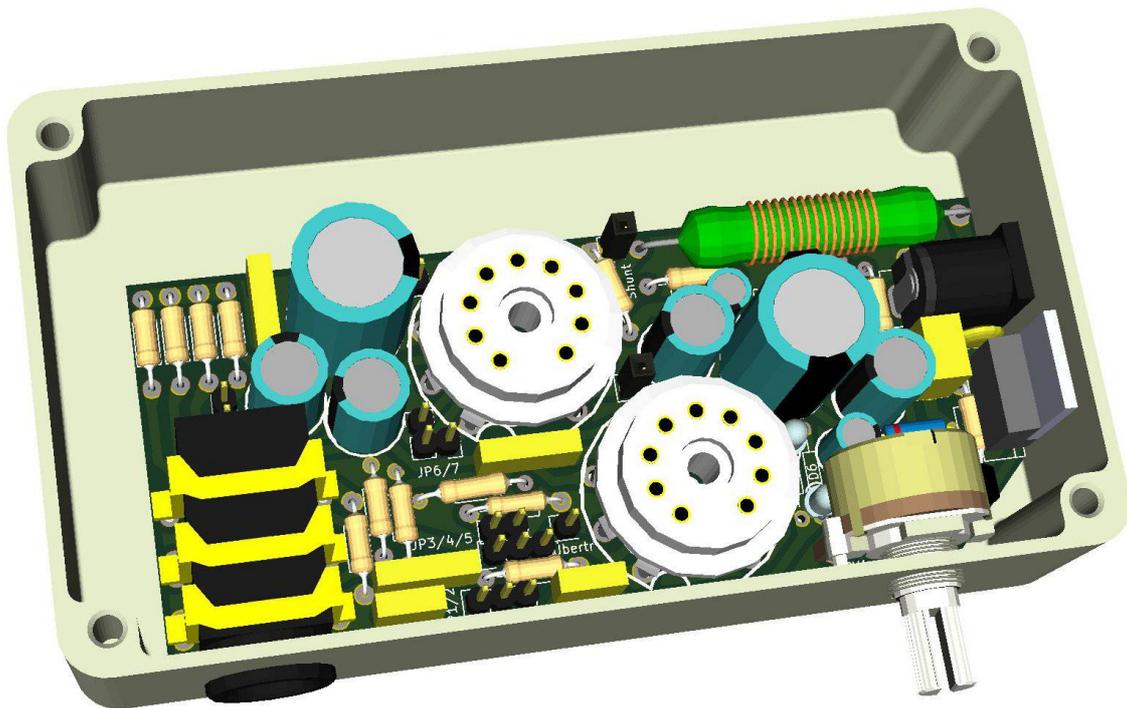
Meine persönlichen Favoriten sind Schaltbild 1 mit geschalteten bzw. getrennten LEDs (besonders clean, auch „Hi-Fi“ geeignet) und Schaltbild 3.

Die Leiterbahnabstände und deren Anordnung auf der Platine lassen Betriebsspannungen bis ca. 300 V zu. Wer einen Verstärker mit noch höheren Spannungen betreiben möchte, beachte die zulässigen Betriebsspannungen der Bauteile.

Kondensatoren werden mit zunehmender Spannung größer und passen von ihrer Bauart nicht mehr auf die Platine. Die minimalen Abmaße der Platine sind ausgereizt. SMD Bestückung kommt wegen zu geringen Leiterbahnabständen und dazu möglichen Spannungsüberschlägen ebenfalls nicht in Frage.

Die fertig bestückte Platine ist zum Einbau in ein Aludruckgussgehäuse mit den Mindestmaßen von 112 × 60 × 27 mm geeignet. Das Einschleiben der frontseitigen Buchse und des Potentiometers erfolgt angewinkelt. Zudem muss die Platine, zum Einfügen der seitlichen Eingangsspannungsbuchse in die entsprechende Aussparung, noch 1 bis 2 mm seitlich versetzt werden. Aus diesem Grund sind die frontseitigen Bohrungen etwas größer zu dimensionieren. Rückseitig zur Eingangsbuchse ist, aufgrund der flach eingesetzten Widerstände, noch ausreichend Platz für eine Lautsprecherausgangsbuchse. Das Gehäuse ist zur elektromagnetischen Abschirmung mit dem Masse Anschluss (GND) auf der Platine zu verbinden.

Aufbau in einem Aludruckgussgehäuse:



Anmerkungen zum Betrieb als Gitarrenverstärker:

Ein solcher Verstärker ist praktisch in der Handhabung, klein, leicht und energieeffizient. Doch muss ich immer wieder feststellen, dass ein zugehöriger kleiner Lautsprecher Forderungen nach „gutem“ Klangverhalten meist nicht erfüllen kann. Aus eigener Erfahrung garantieren erst Lautsprecher mit einem Mindestdurchmesser von etwa 10 Zoll, in entsprechend großem Gehäuse, einen gefälligen Sound. Empfehlenswert sind Lautsprecher mit hart aufgehängenen Membranen und einem Schalldruck > 95 dB.

Diese Anleitung wurde erstellt von Wilfried Frohn.
Vervielfältigung und gewerbliche Nutzung dieser Anleitung sind nur mit Genehmigung des Autors erlaubt. Der Autor übernimmt keine Haftung für Schäden.