Bild 1

Selbstbauprojekt 7Watt-Gitarrenröhrenverstärker “Good mornin’ Blues, how are you?”

„Warum überhaupt noch einen Gitarrenröhrenverstärker selber bauen?“ wird sich möglicherweise der eine oder andere Leser jetzt fragen. „Es gibt doch so viele Produkte, die bereits käuflich zu erwerben sind.“ Stimmt! Der Markt ist, verglichen mit den Jahren Ende der 60er / Anfang 70er des letzten Jahrhunderts, unübersehbar geworden. Andererseits kann derjenige, der sich mit der Materie ein bißchen auskennt, sich seinen Verstärker durchaus nach seinen eigenen Vorstellungen so bauen, wie er ihn haben möchte. Und das in besserer Qualität, und unter Umständen erheblich preiswerter. Eine Internet-Recherche des Autors während der Pfingsttage dieses Jahres, förderte das erstaunliche Ergebnis von mehr als 150 (Marken)-Namen weltweit zu Tage - und das sind garantiert noch nicht alle. Angefangen beim Einzelkämpfer, über Kleinst-, und kleineren Firmen, hin zu mittelgroßen Unternehmen bis hin zu den „ganz Großen“. Die allermeisten davon naturgemäß in Nordamerika. Die Anzahl der verschiedenen Verstärkertypen bzw. Schaltungen, die erhältlich sind, (ungeachtet der Tatsache ob noch in Produktion oder nicht) dürfte sicherlich bei einigen hundert bis tausend liegen.

Ein riesiges Geschrei! Jeder baut den garantiert besten „handwired Amp“, und/oder hat den heiligen Gral des weltweit besten Sounds in der Tasche; und läßt sich das dann auch - wenn möglich - überwiegend fürstlich entlohnen.
Sicherlich weiß man bei einem Kaufprodukt - sofern man es zuvor entsprechend getestet hat - von vorne herein, was einen erwartet, bzw. was man für sein Geld bekommt oder nicht. Möglicherweise stellt sich aber auch erst sehr viel später heraus, was man sich da angelacht hat.
Hat man sich erst mal entschieden, muß man mit der Entscheidung leben oder sich dann ggf. bei einem der sogenannten „Amp-Tuner“ für teures Geld seinen Verstärker herrichten lassen, wenn man mit dem Sound dann nachher doch nicht richtig zufrieden ist. Oder besser noch, gleich ein anders Produkt erwerben.

Das nachstehend beschriebene Prototypen-Gerät wurde im Januar 2005 fertiggestellt und der lokalen Gitarristengemeinde (local heroes) zum „Soundcheck“ vorgestellt und einhellig für gut befunden. In gleicher

und sehr positiver, konstruktiver Art und Weise zu Konzept und Sound äußerte sich dann auch im Dezember 2005 mir gegenüber telefonisch ein Urgestein der deutschen Bluesszene, der in Hamburg lebende Bluesgitarrist Abi Wallenstein, nach einem eigens für ihn arrangierten „Soundcheck“. Da Abi Wallenstein jedoch immer Verstärker im Format kleiner 25x25cm mit Lautsprechern <8 Zoll und einem Gewicht <3kg haben möchte, konnte ich ihm mit dieser Entwicklung leider nicht helfen.

Von Michael Hentschel

Einleitung

Mit den anbahnenden Worten aus der Artikelüberschrift ist im Grunde genommen bereits alles wesentliche vorweg gesagt. Da ich ohnehin ein Befürworter von Gitarrenverstärkern mit kleiner Leistung bin – die vernünftige Grenze liegt m.E. bei max. 40 - 50Watt, habe ich als begeisterter Anhänger der schwarzen Bluesmusik im September 2004 damit begonnen, speziell einen Gitarrenröhrenverstärker mit kleiner Leistung für eben diesen Musikstil zu entwerfen und zu bauen. Ein „7Watt-Bluesmucker-Röhrenamp“ also. Ein Entwurf für eine Spielart der Musik, die immer noch mit der Hand gemacht und mit moderaten Lautstärken in kleineren Clubs dargeboten wird.

Für die Leute, die schon jetzt den Einwand erheben, das sei viel zu wenig Leistung; ist schon richtig, aber: Wenn es im Notfall mit dem Schalldruckpegel dann doch nicht ganz reichen sollte, kann man schließlich im nachhinein immer noch alles lauter machen. Im Regelfall werden die Verstärker sowieso über Mikrophone abgenommen und ins Mischpult eingespeist. Alternativ ist das Gerät auch noch mit einem einfachen asymmetrischen, einstellbaren LineOut-Ausgang ausgestattet, über den dann in ein Mischpult eingespeist werden kann. Darüber hinaus sollte eines ein für allemal einmal klar gesagt werden: Sound hat nichts bzw. nur bedingt etwas mit Lautstärke zu tun. Was laut ist, muß nicht zwangsweise auch gut klingen. Nichts also für die Schwerstmetall-Fraktion die mit 200W oder 400W Gitarrenverstärkertürmen im Abstand von 100 Metern von der Bühne locker vom Hocker noch einen Schalldruckpegel von130dB erreicht. Wer mit derlei Gerät aufwartet um seinen Sound zu erzeugen ist gut damit beraten einmal seinen ortsansässigen Ohrenarzt aufzusuchen, besser noch einen Psychater zu Rate zu ziehen.

Die wahren Ursprünge für dieses oben genannte Konzept reichen jedoch viel weiter zurück, nämlich bis ins Jahr 1960, in dem meine Großmutter von meiner Mutter ein neues „Dampfradio“ geschenkt bekam - ein „SABA Freudenstadt 100“. Als kleiner Junge habe ich mich ständig dahinter aufgehalten und beobachtet was da so schön orange leuchtete. Ende der 90er habe ich dann eben dieses „Dampfradio“, das heute immer noch funktioniert, geerbt. Mangels Platz verschwand es erst mal auf dem Dachboden, bis ich dafür einen Platz in meinem Arbeitszimmer über hatte. Es war eben auch dieses Saba-Radiogerät, das mich zu dieser Entwicklung mit veranlaßt hatte. Ein flüchtiger Blick irgendwann auf die Rückwandabdeckung ließ mich wieder auf die Röhrenbestückung aufmerksam werden. Mir fiel auf, daß noch niemand einen Instrumentalverstärker für Gitarre mit den darin eingesetzten kleinen Endröhren EL95 realisiert hatte, d.h., auch bis heute ist mir nichts gegenteiliges bekannt. Also machte ich mich ans Werk – die Anfänge sind oben auf Bild 1 zu sehen.

Darüber hinaus habe ich versucht – soweit das überhaupt möglich ist - ein paar Dekaden Entwicklungsgeschichte der Gitarrenröhrenverstärkertechnik des vorigen Jahrhunderts in einem Gehäuse unter zu bringen. Man sollte nicht vergessen, in welchen Leistungskategorien die ersten Gitarrenverstärker ihren Dienst versahen. Das waren nur ein paar Watt. Wer möchte, der kann das Gerät mit nur einem einzigen „Volume-Regler“ ohne Klangregelung im (Quasi-)Triodenbetrieb ohne Gegenkopplung bei kleiner Leistung mit ca. ~1,2 Watt betreiben. Im gegenteiligen Fall stehen einem insgesamt eine passive 3-Band Klangregelung, ein Federhall, ein zuschaltbarer einfacher „High-Cut“, ein zuschaltbarer „Master-Volume“, eine abschaltbare, einstellbare Gegenkopplung etc. und zwei Endpentoden EL95 mit ca. ~ 7Watt Ausgangsleistung zur Verfügung. Das fertige Prototypen-Gerät (Bild 2) ist schaltungstechnisch von der Vorstufe her feinabgestimmt für Blues-Sounds.

Bild 2

Die Endstufe hat, wie bereits erwähnt, eine Ausgangsleistung von ~1,2 bis ~7 Watt. Angetrieben wird sie von zwei Leistungspentoden EL95/6DL5. Die Endröhren sind zwischen „Triodenbetrieb“ (wahrheitsgemäß ja besser gesagt so etwas ähnliches wie „Tetrodenbetrieb“, da man bei dieser Pentode das Bremsgitter nicht wegschalten kann) und Pentodenbetrieb umschaltbar, wodurch die Endstufe in zwei verschieden Leistungsabstufungen betrieben wird. Durch Umschaltung der Anodenspannung im Netzteil werden zwei weitere, also insgesamt vier Leistungsstufen erreicht.

Hinweis des Verfassers:
Bezogen auf den Ausgangsübertrager ergibt sich bei Umschaltung von Pentoden-, auf Triodenbetrieb 1.) eine Fehlanpassung hinsichtlich des optimalen Anpaßwiderstandes zwischen den Anoden und 2.) (und z.T. auch eben dadurch) eine Leistungsminderung gegenüber dem Pentodenbetrieb. Der Lautstärkeunterschied zwischen Pentoden- und Triodenbetrieb durch die reduzierte Leistung ist eher marginal, was viel interessanter ist, und somit wohl auch der wahre Grund warum diese Umschaltung in Industrieröhrengeräten für Gitarre mittlerweile recht häufig zu finden ist, ist die Tatsache, daß der Klang sich ändert. Wobei an dieser Stelle jetzt jedoch nicht die gesamten technisch-physikalischen Hintergründe hierfür besprochen werden sollen, warum das im einzelnen so ist. Möge das bei Lust und Laune bitte dann ein anderer in einem weiteren Artikel tun. Im übrigen läßt sich „echter“ Triodenbetrieb auch wirklich nur mit richtigen Trioden realisieren. Selbst eine Pentode wie die EL34, bei der Schirm-, & Bremsgitter mit der Anode verbunden werden können, ergibt immer noch keine Triode mit gleicher geometrischer Anordnung von Kathode, Gitter und Anode, bei der das Brems-, & Schirmgitter - in der Natur der Sache liegend – gar nicht erst vorhanden sind. Somit liegen auch die Kennlinien etwas anders. Wem das nicht ganz einsichtig ist, dem sei die Lektüre „Elektronenröhren“ von Heinrich Barkhausen empfohlen. Zur Information: neuerdings gibt es übrigens bei www.Experience-Electronics.de auch eine speziell angefertigte JJ EL84T bei der gleichfalls das Schirmgitter & Bremsgitter weggeschaltet werden kann!

Zum Gerät: Die Bedienelemente (Bild3) an der Vorderseite sind

1.) Klinkeneingangsbuchse
2.) Eingangsimpedanz-Regler
3.) Baß-Regler
4.) Mitten-Regler
5.) Boost-Schalter zum abschalten der 3-Band Klangregelung (Höhen-Regler hat dann noch Tonblendenfunktion)
6.) Höhen-Regler
7.) Volume-Regler
8.) Hallpegel-Regler
9.) Schalter Master On
10.) MasterVolume-Regler
11.) Schalter High-Cut On
12.) High-Cut-Regler
13.) Schalter Stand-By/Hi-LoPower
14.) Schalter Power On/Off

Bild 3

Die Bedienelemente (Bild 4)auf der Rückseite sind:

1.) Sicherungshalter für Netzsicherung 250mAT
2.) Sicherungshalter für Anodensicherung 200mAT
3.) Sicherungshalter für Heizsicherung 1AT
4.) Anzeige-Led für den Heizkreis
5.) Schalter für abschaltbare Gegenkopplung
6.) Gegenkopplung-Regler
7.) Schalter für Pentoden-, /Triodenumschaltung
8.) Klinkenbuchse LineOutLevel
9.) LineOutLevel-Regler
10.) Klinkenbuchse int. Lautsprecher 8Ohm
11.) Impedanzumschalter 8/4 Ohm
12.) Klinkenbuchse ext. Lautsprecher 8 Ohm

Bild 4

Ausgerüstet ist der Verstärker mit einem Eminence 12"-Lautsprecher, Typ Guitar Legend 122 - 20W/8 Ohm (ein Nachbau alter Lautsprechertypen der 50er mit einem ALNICO-Magneten, zu beziehen bei http://www.adamhall.com) und einer Accutronics 3-Feder-Hallspirale mit langer Hallzeit im Kurzchassis Typ 8, zu beziehen bei http://accutronicsreverb.com. Die Hallspirale ist zwecks Abschirmung auf einem mit Alufolie

umwickelten Pappstück auf dem Gehäuseboden geschraubt. Der 12“-Lautsprecher wird von hinten mit dem Pappring auf das Gehäusefrontbrett geschraubt, wodurch die Höhenübertragung vom Lautsprecher auf das Holzgehäuse gedämpft wird.

Das Chassisblech Bild 5 zur Aufnahme der Leiterkarten mit der Elektronik ist aus 1mm starken im „Pfauenaugendekor“ gebürstetem Edelstahl (antimagnetisch!) hergestellt.

Bild 5

Das Chassis ist mittels Karosserieklammern von oben mit Blechschrauben unter den oberen mit Alufolie abgeschirmten Holzgehäusedeckel Bild 6a/6b befestigt, und wird mit zwei seitlichen - von innen festgeschraubten - Edelstahlhalterungen zusätzlich gehalten.

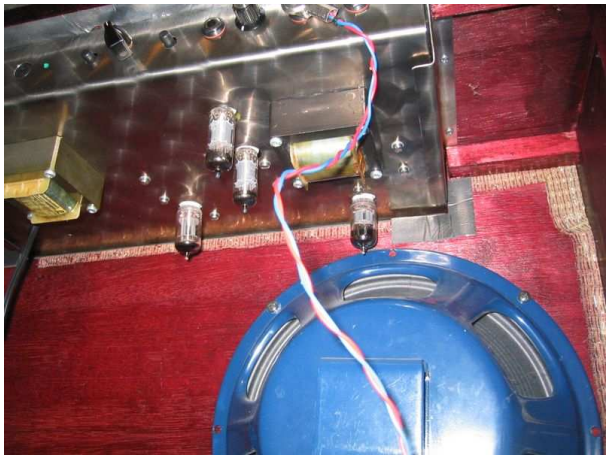


Bild 6a / 6b

Diese zusätzlichen, seitlichen Bleche schirmen die Elektronik im (seitlich offenen) Chassisblech zur Seite hin ab. Praxistip: In Ermangelung einer eigenen mechanischen Werkstatt habe ich die Herstellung des Chassis nach Zeichnung als Praxisarbeit an einen Gewerbelehrer und seine Berufsschulklasse aus dem Bereich Metallbearbeitung der hiesigen Berufsschule vergeben. Das Material hatte ich ihnen gestellt. Die waren glücklich über die Abwechselung dieser für sie interessanten Aufgabe, und haben das auch sehr zufriedenstellend gelöst. In Bild 7 ist eine perspektivische Darstellung des Chassis und in Bild 8 die Abwicklung des Chassisbleches dargestellt.

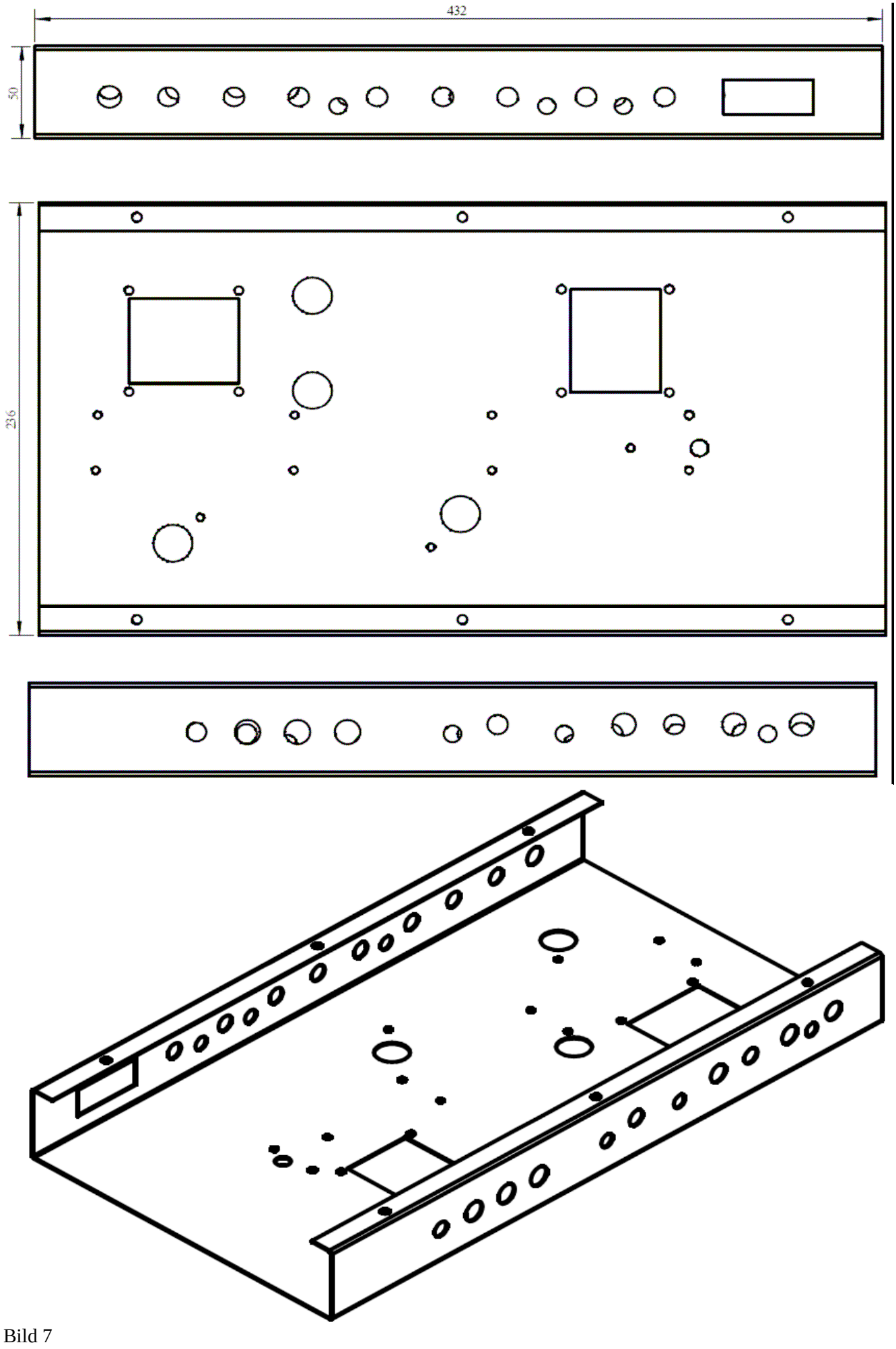
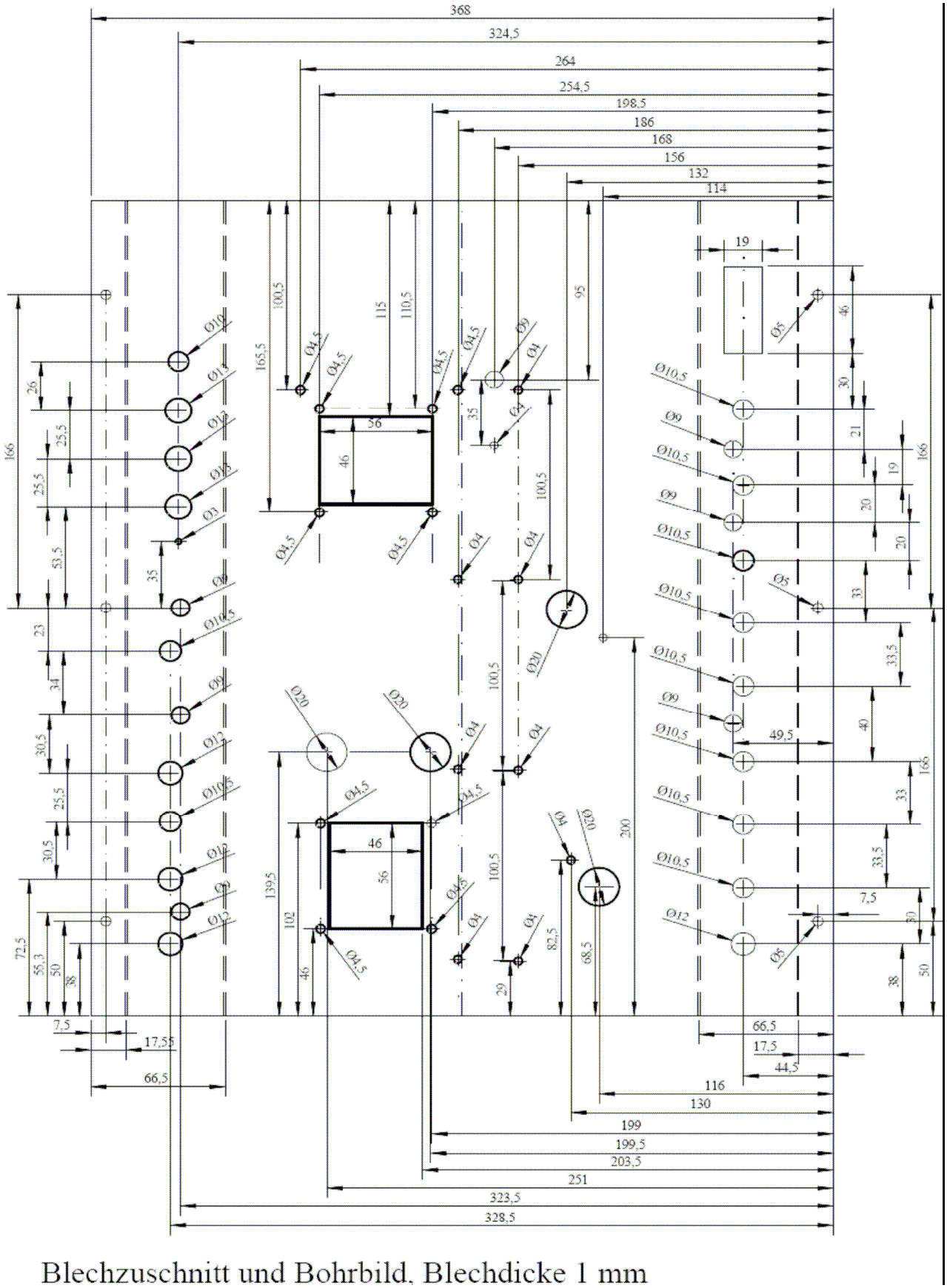


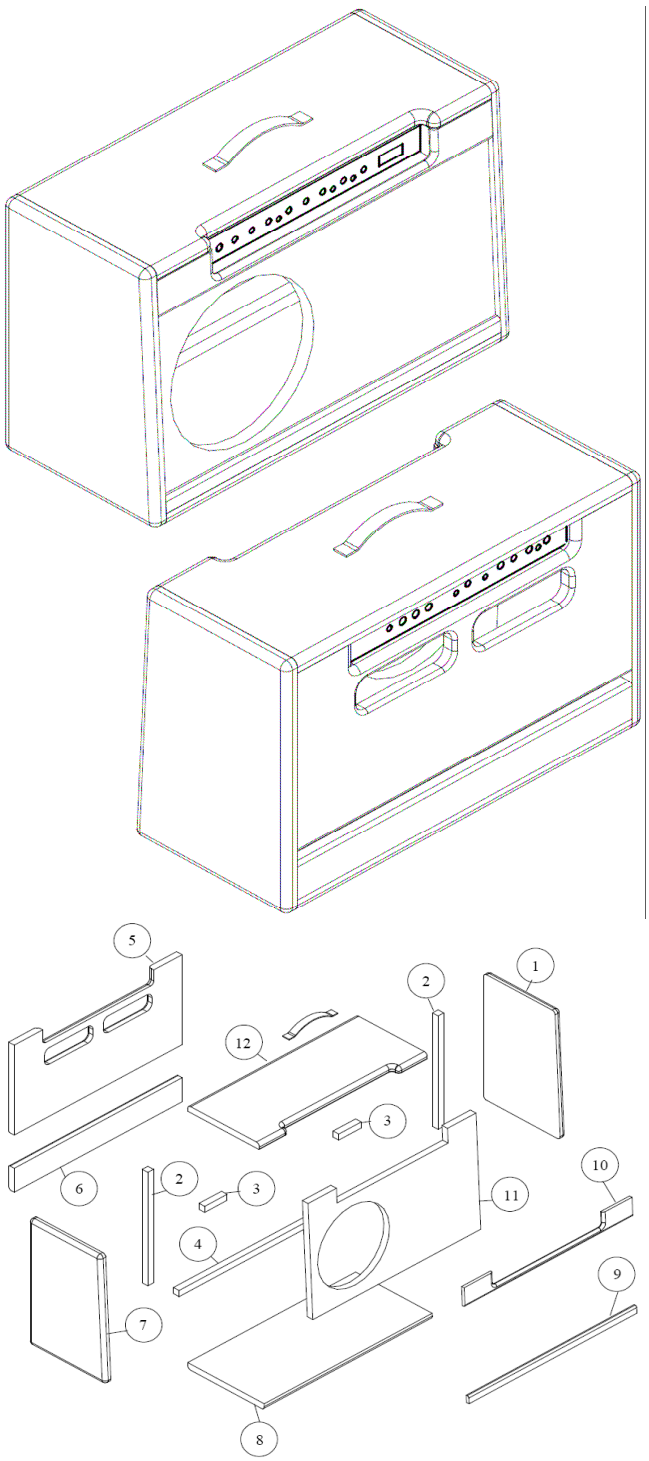
Bild 7



Blechzuschnitt und Bohrbild, Blechdicke 1 mm

Bild 8

Das Holzgehäuse habe ich mir von einem Tischlermeister, einem ehemaligen Arbeitskollegen aus meiner Zeit im Ingenieurholzbau, nach meinen Angaben von Hand anfertigen lassen. Eine perspektivische Darstellung der Konstruktionszeichnung ist in Bild 9 zu sehen. Das Gehäuse ist aus massivem 22mm Meranti-Mahagoni mit Fingerzinken gefertigt, in alt Englisch rot gebeizt und mit Wasserlack lackiert.



1 Seitenwand rechts	7 Seitenwand links
2 Leiste Seite	8 Boden
3 Leiste oben	9 Frontblend unten
4 Leiste unten	10 Frontblende oben
5 Rückwand oben	11 Vorderwand
6 Rückwand unten	12 Deckel

Bild 9 Lautsprechergehäuse

Das Gewicht des fertigen Gerätes beträgt ca. 17,0 kg. Mit den Maßen über alles von BxHxT=700x485x300/280mm ist der Verstärker trotz seiner vergleichsweise bescheidenen 7Watt in beabsichtigter Weise recht groß geraten. Selbstverständlich kann das jeder entsprechend seinen Vorstellungen auch in einem kleineren Gehäuse umsetzen. Peter Weihe, einer der Gitarristen Deutschlands überhaupt, sagte mir während eines Gespräches so treffend: „Weißt Du, nur aus einem großen A...., kommt auch ein großer F...!“

1.) Schaltungsbeschreibung

Im wesentlichen wird nachfolgend nichts neues unter dem Himmel angeboten, sondern Altbekanntes lediglich neu zusammengemischt. Da es sich bei den Röhren einerseits um eine altbekannte Technik handelt, und es zum anderen vermieden werden soll, althergebrachtes ständig zu wiederholen, werden grundlegende Kenntnisse der Röhren-, NF-, und Audiotechnik vorausgesetzt, und nur auf Besonderheiten bei den Schaltungen näher eingegangen. Eines der grundlegenden Prinzipien auch in der Technik lautet: „Garbage in – Garbage out“. Zu Deutsch: „Mist verbauen, heißt Mist bekommen“. Wenn man minderwertige Bauteile verwendet, kommen auch nur minderwertige Geräte dabei heraus. Ein wirksames Prinzip, dessen sich so einige „renommierte!“ Hersteller bedienen. Das spart jede Menge Geld, das sich dann besser in teure Firmenwagen oder pompöse Empfangstresen investieren läßt.
Daher:
Alle Widerstände sind Vishay-Draloric oder Vishay-Beyschlag Metallfilmwiderstände (MR) SMA0411/1Watt, Tol. ±1%, TK 50x10-6/K, 500VDC. Alle Widerstände Rxx* sind Vishay-Draloric oder Vishay-Beyschlag Metallfilmwiderstände (MR) SMA0207/0.6Watt, Tol. ±1%, TK 50x10-6/K, 350VDC. Alle Widerstände Rx** sind Phoenix AC05 Drahtwiderstände 4W, Tol. ±5%. Alle Tonkondensatoren sind Polypropylenkondensatoren mit ≤5% Tol. und einer Spannungsfestigkeit von 400VDC, sofern nicht anders angegeben. Verwendbare Tonkondensatoren sind Vishay-Sprague Orange-Drops, Wima FKP/MKP, Silver-Mica’s. Keramische 50V-Typen werden nur als Abblockkondensatoren benutzt. Alle Elkos sind ≤±20% Tol., 25VDC Spannungsfestigkeit, low ESR, low impedance, -55/+105°C sofern nicht anders angegeben. Alle Potis AXXXk/M sind logarithmische Typen, alle Potis/Trimmer BXXXk/M sind lineare Typen und sollten eine Tol. ≤±20% aufweisen, besser selektierte Typen ±5%≤ Tol ≤±10%, Spannungsfestigkeit 500VDC. Für die Leiterkarten wird am besten glasfaserverstärktes Epoxidharz (FR4) in einer Mindeststärke von 1,5mm (besser 2mm) mit 70µ Cu-Auflage, bleifrei verzinnt (HAL), durchkontaktiert & beidseitig mit Lötstoplack überzogen verwendet. Gute Leiterkarten zu vernünftigen Preisen für Prototypen-Stückzahlen sind zu beziehen über www.pcb-pool.com. Detaillierte Bauteilinformationen und Bezugsquellen sind der Stückliste Bild 25 zu entnehmen.

1.1) Vorstufe

In Bild 10 ist die Schaltung der Vorstufe wiedergeben. Es handelt sich um eine relativ simple 3-stufige Vorstufe, die in ihrer gesamten Dimensionierung auch so 1:1 übernommen werden sollte. Möglicherweise wird von Herrn Lemme nun wieder der Einwand gebracht, die erste Röhre sei ja wieder nur in der Standardwiderstandskombination 100k/1k5 beschaltet und die einfallslosen Herren Gitarrenverstärkerentwickler sollten sich bitte schön doch endlich einmal etwas neues einfallen lassen. Egal, geht schon geht! Dafür ist es dann, wie man sieht, in der zweiten und dritten Stufe anders. Die Wirkungsweise von P1 wird am ehesten deutlich, wenn man den Verstärker mit offenem Eingang (einseitig am Eingang des Verstärker eingestecktes Kabel) betreibt. Mit P1 läßt sich ungefähr in der Mitte des Stellbereiches sicher ein Punkt finden an dem die Störgeräusche dann ein Minimum annehmen. Den Regler im Betrieb dann auf diesem Wert stehen lassen. R1,R7 sind sogenannte Gitterstopper. In Verbindung mit der Eingangskapazität der Röhren bilden sie einen Tiefpaß der hochfrequente Störungen / Schwingungen unterdrückt. Die Klangregelung ist eine abgewandelte Variante der uralten „Fender-Schaltung“ die in den konservativen Gitarristenkreisen auch heute nach Jahrzehnten noch „State of the art“ ist. Mit einem Unterschied: hier wurde durch Einfügen von R6 verhindert, daß bei zugedrehter Klangregelung überhaupt kein Signal mehr aus der Vorstufe kommt; eine typische Fendermacke. S1 legt das Klangregelnetzwerk hoch und bewirkt somit einen „Boost-Effekt“, da durch das Klangregelnetzwerk der Pegel der dann am Gitter von V1B ansteht, nicht mehr heruntergeteilt wird. Der Höhenregler hat dann noch eine gedämpfte Funktion als Höhenblende.

Die Kondensatoren C2,C7 sind den Elkos C1,C9 zur wechselstrommäßigen Überbrückung zusätzlich parallelgeschaltet. Der komplexe Scheinwiderstand eines Elektrolytkondensators ist frequenzabhängig. Bedingt durch den vielschichtigen Aufbaus eines Elektrolytkondensators, ergibt sich aus dem elektrischen Ersatzschaltbild, daß sich die Serieninduktivität L zu hohen Frequenzen hin verstärkt in einer Serienresonanz, und einem damit verbundenen wieder ansteigen des Scheinwiderstandes (komplexer Widerstand im „Zweipol“ Elektrolytkondensator) bemerkbar macht. Einen weiteren, zusätzlichen Effekt - im Zusammenhang mit der Zunahme des Scheinwiderstandes im Elko zu höheren Frequenzen hin gegenüber jedoch vernachlässigbar - verursacht die „elektrolytische Flüssigkeit“. Seinen Namen hat der Elektrolytkondensator von der „leitfähigen elektrolytischen Flüssigkeit“, welche die eigentliche Kathode des Kondensators bildet. Da die aufgerauhte Struktur der Anode sich in der Struktur der Oxidschicht, die das Dielektrikum bildet, fortsetzt, muß die

Gegenelektrode - die Kathode also - sich möglichst genau daran anpassen. Mit einer Flüssigkeit ist das einfach zu bewerkstelligen. Die wichtigste elektrische Eigenschaft einer elektrolytischen Flüssigkeit in einem Elko ist nun ihre elektrische Leitfähigkeit. Bei Flüssigkeiten ist das, rein physikalisch betrachtet, eine „Ionen-Leitfähigkeit“ und keine Leitung durch freie Elektronen. Konventionelle Elkos sind in NF-Schaltungen in der Regel kaum über Frequenzen von 10 kHz hinaus brauchbar, ab diesen Frequenzen werden Folienkondensatoren parallel geschaltet. Daher verbessern C1,C7 zu hohen Frequenzen hin die kapazitive bzw. wechselstrommäßige Überbrückung des Kathodenwiderstandes.

Auch wenn dem konventionellen Schaltungsentwickler angesichts der Werte für C10,R10 die Haare zu Berge stehen – bitte so lassen! Die Kondensatoren C8,C11 schließen für hohe Frequenzen die Anodenwiderstände R9,R11 zunehmend kurz und verringern somit Verstärkung der Röhre zu hohen Frequenzen hin – Unterdrückung von „Höhen“, die bei Gitarrenverstärkern für die E-Gitarre in aller Regel den Sound versauen. In gleicher Weise wirkt C18, der für hohe Frequenzen einen Teil des Gegenkopplungsnetzwerkes (R25) zunehmend kurzschließt und die Verstärkung durch Abnahme des Gegenkopplungsverhältnisses reduziert. Über C12 gelangt das Signal zunächst zur Hallstufe, von dort weiter zur Phasenumkehrung und dann in die Endstufe. Die Heizsysteme der beiden jeweiligen Triodensysteme in den Vorstufenröhren V1,V2 sind in Reihe geschaltet und werden mit 12,6V Gleichspannung betrieben, was die Brummempfindlichkeit auf ein Minimum reduziert.

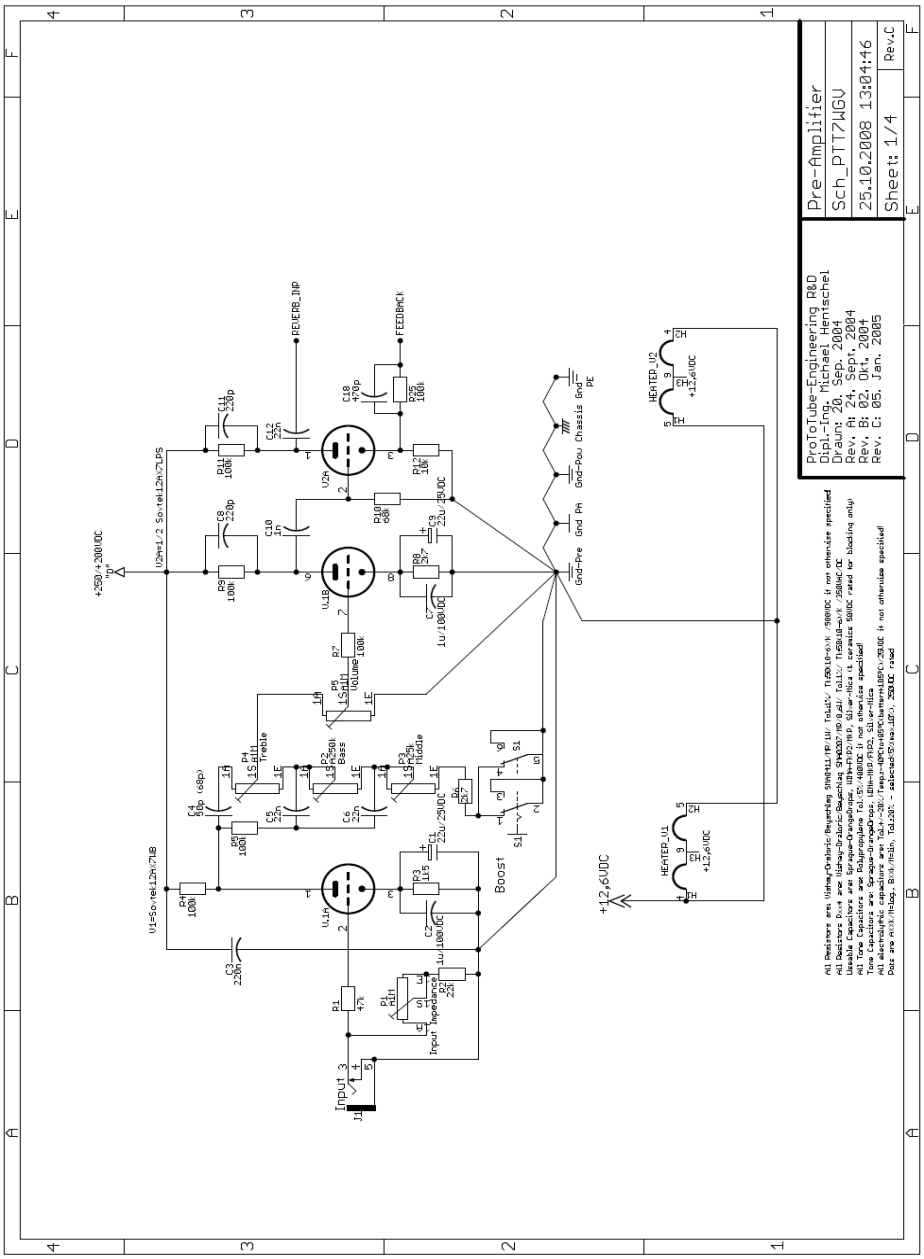


Bild 10

1.2.) Phasenumkehr & Endstufe

In Bild 11 ist das Schaltbild der Phasenumkehrstufe und der Endstufe zu sehen. Über die Mischwiderstände R41,R40* im Schaltplan der Hallstufe (Bild 12) gelangt das Vorstufensignal zur Phasenumkehrung mit V2B. Dieser Schaltungsteil befindet sich auf der Vorstufenleiterkarte. Es handelt sich hier um die Katodynschaltung mit einer theoretisch maximalen Verstärkung von V≈2.
Schalter S2 und Poti P8 bilden den zuschaltbaren MasterVolume, Schalter S3,C16 und P10 den zuschaltbaren HighCut. C_x wird nicht bestückt. Mit P6 werden die Ausgangssignale der Katodynschaltung symmetriert, d.h. auf gleiche Amplitude eingestellt. Man kann die beiden Signale damit jedoch auch ganz bewußt auf Asymmetrie einstellen.
Hinweis des Verfassers: Trioden liefern ein asymmetrisches Ausgangssignal, dies hat u.a. einen hohen k2-Anteil im Klirrfaktor des Signals zur Folge, was rein tonal eben harmonisch klingt. Bei dem Röhrendifferenzverstärker, den man z.B. in den Fender-Verstärkern zur Phasenumkehrung überwiegend antrifft, wird das Signal durch unterschiedlich große Anodenwiderstände bewußt asymmetrisch gemacht, was den zuvor genannten Effekt eines höheren k2-Anteiles zur Folge hat.
Über die Steckverbinder SV1,SV2 werden die Endstufe und die Vorstufenleiterkarte miteinander verbunden. Die phaseninvertierten Signale und das Gegenkopplungssignal aus der Endstufe werden hierüber geführt. Achtung, für die phaseninvertierten Signale abgeschirmte Litze verwenden, und die Abschirmungen nur einseitig entweder an Pin2,Pin4 von SV1 oder SV2 legen, keinesfalls an beiden Steckverbindungen gleichzeitig Pin2,Pin4 benutzen, da auf diese Weise über die Masseführung der Leiterbahnen eine Masseschleife gebildet wird, und dieses dann im ungünstigsten Fall zu Brummstörungen führen kann. Sollte nachher bei der Inbetriebnahme des Verstärkers die Endstufe bei zugeschalteter Gegenkopplung ein hochfrequentes Schwingen zeigen, werden hier einfach die Anschlüsse von Pin1 und Pin5 gegeneinander vertauscht. R19,R20 sind die bereits bekannten Gitterstopper. R23,R24 sind Schutzwiderstände die als Strombegrenzungswiderstände die Schirmgitter gleichsam vor Überlastung schützen.

Über D15,R21,R22 erfolgt die automatische Gittervorspannungserzeugung für die A/B-Arbeitspunkteinstellung der Endstufe. C12 dient zur kapazitiven Überbrückung der Dioden-/Widerstandskombination und legt die Katoden der Endröhren wechselstrommäßig auf Masse. Wer möchte, kann hier, genauso wie es bereits in der Vorstufe gemacht wurde, nachträglich noch zusätzlich einen Folienkondensator zusätzlich parallel zum Elko legen. Über S7,Rel2 wird die Pentoden/Triodenumschaltung vorgenommen, gleichzeitig schließt S7 in der Stellung Pentodenbetrieb einen Teil des Gesamtkatodenwiderstandes (R22) kurz. Da der Schirmgitterstromanteil im Gesamtkatodenstrom bei Triodenbetrieb fehlt, wird der Pegel der negativen Gittervorspannung durch Einfügen des kleinen zusätzlichen Widerstandes R22 wieder etwas angehoben.

Mit Verwendung der Zenerdiode D15 sind wir nun bei einer kleinen Besonderheit in der Schaltung dieses Verstärkers angekommen, die heute so gut wie gar nicht mehr angewendet wird. Wie bereits erwähnt, arbeitet diese Endstufe mit automatischer Gittervorspannungserzeugung in A/B-Einstellung. Bei kleiner Aussteuerung arbeitet sie mehr im A-Betrieb, bei großer Aussteuerung wandert der Arbeitspunkt durch den höheren Katodenstrom und dem damit verbundenen höheren Spannungsabfall am Katodenwiderstand in Richtung B-Betrieb. Die Gittervorspannung ändert sich also stark aussteuerungsabhängig. Damit sich keine all zu starke Änderung der Gittervorspannung in Abhängigkeit von der Aussteuerung einstellt, kann man ca. 0.5 – 0,75 als feste Gittervorspannung erzeugen während man ca. 0,25 – 0,5 der Gittervorspannung durch automatische Vorspannungserzeugung mit einer Rk/Ck-Kombination erzeugt. Im allereinfachsten Fall kann hierfür eine Zenerdiode in Reihe mit einem ohmschen Widerstand eingesetzt werden, deren Durchlaßwiderstand mit zunehmenden Strom niederohmiger wird (differentieller Innenwiderstand der Diode) und somit den Gesamtwiderstand heruntersetzt, wodurch die automatisch erzeugte Vorspannung nicht proportional zum Gleichstrom ansteigt. Hierdurch vermeidet man eine zu starke Verschiebung des Arbeitspunktes durch höhere Aussteuerung in Richtung B-Betrieb, und der Arbeitspunkt bleibt mehr in Richtung A-Einstellung hängen.

Über den Ausgangsübertrager OT T2 gelangt das Signal an die beiden Ausgangsbuchsen J3,J4 und in heruntergeteilter Amplitude dann an den einstellbaren, asymmetrischen LineOut-Ausgang mit J2. Mit S8 kann die Ausgangsimpedanz für die beiden Ausgangsbuchsen J3,J4 von 8 Ohm auf 4 Ohm umgestellt werden. Auf diese Weise lassen sich der interne 8Ohm Lautsprecher und eine zusätzliche, externe 8Ohm Lautsprecherbox parallel betreiben.

Der Ausgangsübertrager mit M65-Kernblechen ist aus hochlegiertem, verlustarmen 0,35mm starkem, kornorientiertem & nachgeglühten Blech hergestellt. Dadurch wird erstens weniger Leistung im Eisenpaket verbraten und durch die hochpermeablen Bleche können im vorhandenen Zweikammerwickelraum zweitens

größere Drahtdurchmesser bei kleineren Windungszahlen verwendet werden um die Wicklungen herzustellen. Auf diese Weise werden die Kupferverluste und somit insgesamt wiederum die Übertragerverluste verringert, wie auch die Wickelkapazitäten zusätzlich reduziert, was den Leistungsfrequenzgang verbessert. Die Übertragerwicklungen im eingesetzten Übertrager sind mehrfach verschachtelt und in einem Übersetzungsverhältnis von 10kOhm zu 8/4Ohm gewickelt. Gefertigt wurde er von der Firma Wickeltechnik-Langer in Laatzen unter der Bauvorschrift BV402401. Fazit: Es kommt mit hochwertigen Übertragern mehr von der Leistung, welche die Glaskolben erzeugen, am Lautsprecher selbst an, anstatt bereits schon im Vorfeld im Ausgangsübertrager selbst verbraten worden zu sein. So machen das im übrigen die Amis, die verbraten einen Teil der Leistung schon im Blechpaket weil sie billige 0815-Bleche nehmen. Zumeist ist auch die Verarbeitung recht schlampig ausgeführt. Wer es noch nie gesehen hat, der sollte sich einmal die Übertrager im legendären 300W Ampeq SVT Bassverstärker ansehen; kiloweise Eisen!

Hinweis des Verfassers zum Verlauf des Gesamtklirrfaktors in Abhängigkeit vom Anodenwiderstand R_{aa} :
In den Kennlinienblättern für Endpentoden der alten Röhrenhersteller läßt sich in der Regel auch ein Diagramm finden, in dem die Ausgangsleistung, der Gesamtklirrfaktorverlauf sowie u.U. die Einzelklirrfaktorverläufe des Verstärkerelementes über den angeschlossenen äußeren Anodenwiderstand, in diesem Fall der Lastwiderstand R_L aufgetragen ist (z.B. bei den alten Kennlinienblättern der 5881 ist das sehr anschaulich aufgeführt & dargestellt).
Ein kurzer Blick auf die Kennlinien läßt sofort erkennen, daß die maximale Ausgangsleistung nicht gleichzeitig beim minimalen (optimalen???) Gesamtklirrfaktor erreicht wird. Was allerdings viel wichtiger ist, ist der Umstand, daß bei den Pentoden der Gesamtklirrfaktor bis zu einem bestimmten, optimalen Wert von Ra hin abnimmt. Geht man über diesen „optimalen“ Wert von R_a hinaus, nimmt der Gesamtklirrfaktor wieder zu. Es gibt somit ein meßtechnisch nachweisbaren, optimalen Wert für R_a, bei dem ein minimaler Gesamtklirrfaktor erzielt wird!
Für die Zunahme des Gesamtklirrfaktors oberhalb des optimalen Wertes für Ra (R_{aopt}) ist im wesentlichen der für das Ohr unangenehm klingende k3-Anteil des Gesamtklirrfaktors maßgebend. Unterhalb des optimalen Wertes von R_a (R_{aopt}) hingegen zeichnet im wesentlichen der für das Ohr angenehm klingende k2-Anteil des Gesamtklirrfaktors maßgeblich dafür verantwortlich.
Daraus folgt die triviale Erkenntnis, daß man bei Pentoden-Endstufen - und genau die werden heutzutage ja fast ausschließlich in Röhrengitarrenverstärkern verwendet - durchaus eine Verbesserung des Sounds durch Erhöhung des k2-Klirrfaktoranteiles im Signal dadurch hinbekommt, in dem man das Übersetzungsverhältnis bzw. den übersetzen, primären Wert von R_{aa} eben nicht so wählt, wie es in den alten Datenbüchern steht. Man kann sich ohne weiteres ca. 20 – 25% unter den dort genannten Wert legen. Der damit verbundene Rückgang der maximal erreichbaren Ausgangsleistung auf Grund der Fehlanpassung ist vernachlässigbar und nicht hörbar. Sehr wohl hörbar ist dagegen der höhere k2-Anteil im Gesamtklirrfaktor.
Daher findet man im Schaltbild auch den Hinweis auf das Übersetzungsverhältnis von 8kOhm zu 8/4Ohm, womit dann z.B. ein Standardübertrager für 2x EL84 verwendet werden könnte. Liegt das Bauteil nicht mit Kernschnitt M65 oder in der im Schaltbild (Bild 11) / Bestückungsplan (Bild 22) genannten Anschlußbelegung vor, muß man eben mit entsprechenden Litzen umverdrahten. Natürlich kann man sich den Ausgangsübertrager für die EL95 von vorne herein mit einem Übersetzungsverhältnis von 8kOhm : 8/4Ohm wickeln lassen. Die Erkenntnis, daß man sich ohne weiteres ca. 20 – 25% unter den Wert vom optimalen Wert von R_{aa} legen kann, ist übrigens eine Tatsache, der offensichtlich bei der Herstellung der Ausgangsübertrager im Hause der Firma Experience-Electronics seit langem Rechnung getragen wird.

Zurück zum Schaltbild der Endstufe (Bild 11); S6,P11 und R12,R25,C18 im Schaltbild der Vorstufe (Bild 10) bilden den Gegenkopplungszweig. Die Verstärkerschaltung ist insgesamt recht schwach gegengekoppelt, das mache ich immer so. Wer möchte, kann durchaus mit kleineren Werten für P11 experimentieren, um somit die Gegenkopplung zu erhöhen und die Verstärkung dadurch zu verringern, dieses je nach Geschmack dann auch ganz weglassen bzw. dann durch eine Drahtbrücke ersetzen. Was sich durch eine Änderung des Gegenkopplungsverhältnisses auf jeden Fall einstellen wird, ist eine Veränderung des Sounds. Wie schon Eingangs erwähnt, ist die gesamte Verstärkerschaltung mit Gleichstrom geheizt, so auch die Endröhren. Deren Heizsysteme sind in Reihe geschaltet und werden ebenfalls mit 12,6 VDC betrieben. Wer die Vor-, & Hallstufe partout mit einer leistungsstärkeren Endstufe betreiben möchte, kann das selbstverständlich machen. Allerdings werden dafür andere Übertrager und Endröhren erforderlich, ein anders dimensioniertes Netzteil und eine ggf. andere Bauteilwerte für die Endröhrenbeschaltung. Hierfür wird dann auch eine Neukonstruktion der Endstufen-, & Netzteilleiterkarte erforderlich sein.

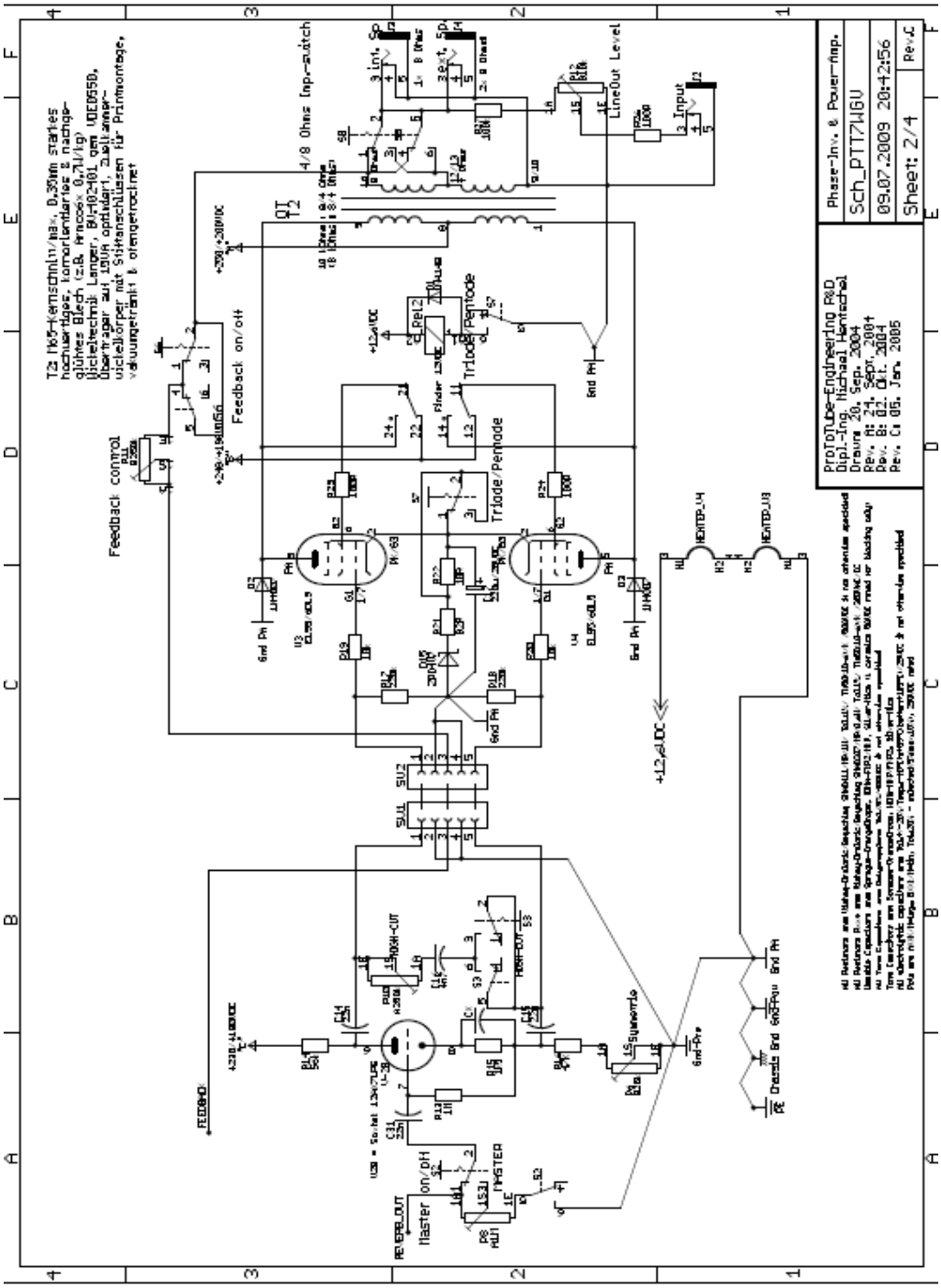


Bild 11

1.3.) Hallstufe mit Hallnetzteil

In Bild 12 ist der Hallverstärker mit dem dazugehörigen Netzteil abgebildet.
Die symmetrische Spannungsversorgung wird aus einer separaten Wicklung des Netzübertragers durch Einweggleichrichtung mit D5,D6 und anschließender Stabilisierung mit IC3,IC4 gewonnen. IC-Typen mit 100mA Ausgangstrom sind hierfür völlig ausreichend. Über C19,P9 gelangt das Signal aus der Vorstufe zum Halltreiberverstärker IC1A. Konventionelle integrierte Operationsverstärker sind im Regelfall auf einen maximalen Ausgangsstrom von ±20mA begrenzt, was zum Treiben einer Hallspirale meistens jedoch nicht ausreicht. Von daher ist mit den Transistoren T1,T2 dem Op-Amp noch eine kleine Leistungsstufe nachgeschaltet, die den Strom zum treiben der Hallspirale aufbringt und gleichzeitig in die Gesamtgegenkopplung des OP mit einbezogen ist. Der verwendete Hallspiralentyp ist eine Accutronics 8EB3D1B, die ich mir extra in USA bei Accutronics habe anfertigen lassen. Accutronics hat zwar ein kleines Vorzugstypen-Programm auf Lager, wie man mir erklärte, im Grunde genommen basiert deren Verkaufskonzept jedoch auf dem Umstand, daß sich jeder auf Basis der vorhandenen Grundkomponenten von ihnen seine individuelle Hallspirale zusammenbauen lassen kann. Keine schlechte Idee. Auf der Internetseite von

www.accutronics.com kann man auch das Bezeichnungssystem ausfindig machen, mit der sie ihre Hallspiralen kennzeichnen.

Hierzu als Beispiel der Code der im Gerät eingebauten Type: 8EB3D1B,
8 steht für Type 8
E = 800 Ohm Eingangsimpedanz
B = 2575 Ohm Ausgangsimpedanz
3 = Lange Hallzeit (2.75 to 4.0 sec)
D = Eingang & Ausgang isoliert
1 = -----
B = horizontale Montage offene Seite nach unten
Es ist zu berücksichtigen, daß es für die Typen 8 & 9 einen Bezeichnungscode gibt, und einen anderen für die Typen 1 & 4!
Mit dem Op-Amp IC1B ist der Aufholverstärker hinter der Hallspirale aufgebaut.
Mit P7 wird der Hallpegel eingestellt, der dem Originalsignal zugemischt wird.
Die beiden Mischwiderstände R41,R40* legen zum einen das Verhältnis von Originalsignal und verhalltem Signal fest, das von hier aus zur Phasenumkehrstufe gelangt. Zum anderen wird mit R41 der Grad der Rückführung bestimmt, die vom Ausgang der Hallstufe zum Eingang zurückgelangt. Wem die im Schaltbild vorgeschlagene Dimensionierung nicht gefällt, kann mit dem Verhältnis von R41/R40* herumexperimentieren.
Mit P9 wird die Hallintensität festgelegt, also mit welchem Strom die Hallspirale eingangsseitig von dem Leistungs-OP-Amp angesteuert wird.

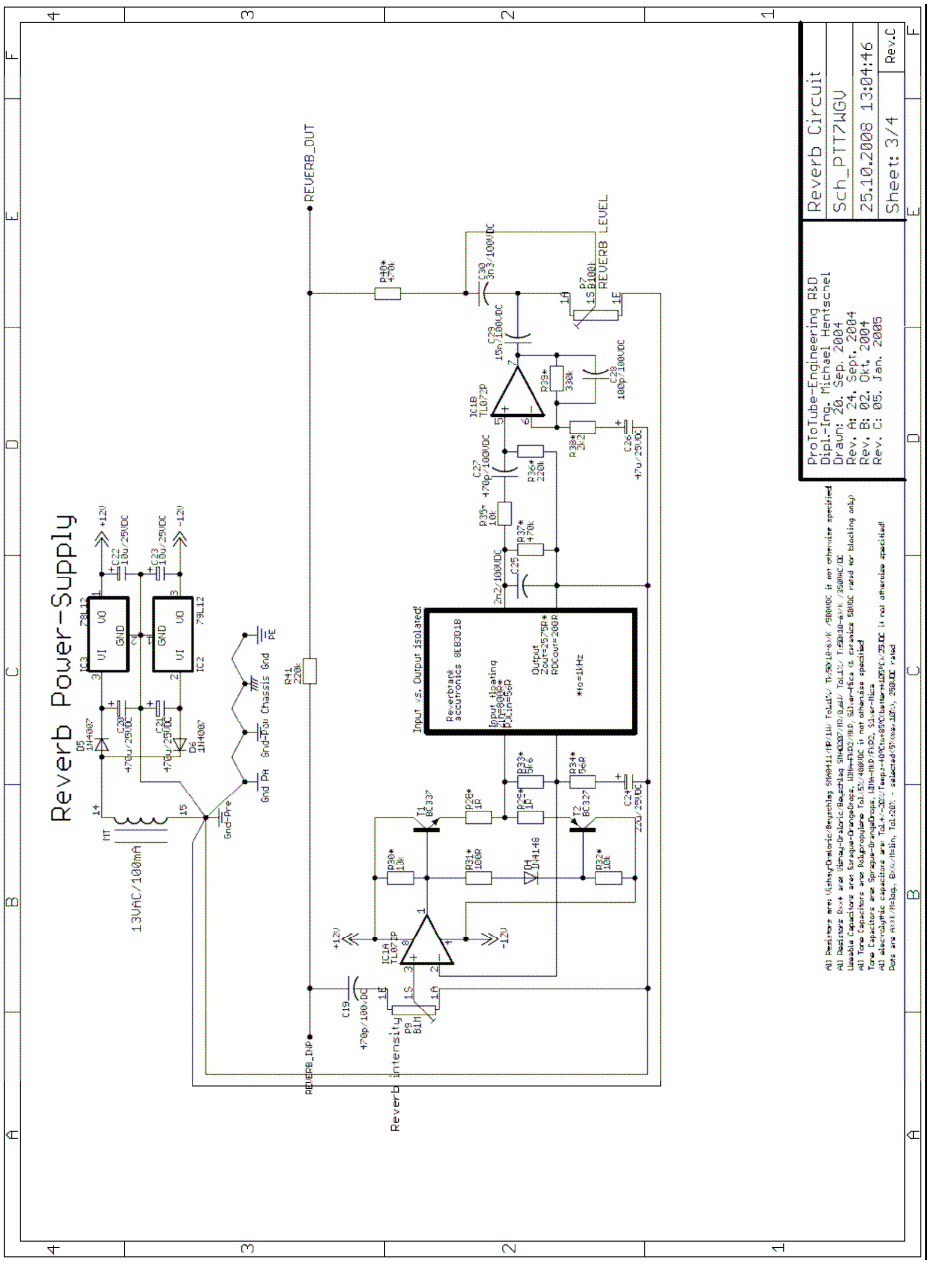


Bild 12

1.4) Das Netzteil

Ein Hinweis bezüglich 230V~ Stromnetze sei mir noch vorab an dieser Stelle gestattet. Ich denke, es ist mittlerweile eine hinlänglich bekannte Tatsache, daß dem 230V Stromnetz inzwischen alles entnommen werden kann, nur kein sauberer Sinusverlauf der Spannung mehr. Lampen-Dimmer andere Thyristor- & MOSFET-Schalter, Leuchtstofflampen, Energiesparlampen, „Babyfone“, Übertragung von digitalen Informationen und diverse weitere Schweinereien haben es inzwischen gründlich mit Störungen versaut. Wer dann noch in der direkten Nähe wohnt von z.B. Eisenbahn-, und/oder Hochspannungsoberleitungen, Gewerbebetrieben mit großen Motoren die über Frequenzumrichter laufen oder mit anderen induktiven Verbrauchern häufig ein- und ausgeschaltet werden, hat u.U. noch zusätzliches Leid zu ertragen.
Mit anderen Worten: Über die Steckdose kann man sich heute jede Menge von Störungen hereinholen, die sich - in der Natur der Sache liegend - gerade bei Audiogeräten störend hörbar bemerkbar machen werden; wenn nicht bereits am Netzeingang mittels spezieller Netzfilter der Versuch unternommen wird, zumindest einen Teil davon „mundtot“ zu machen. Ich hatte es seinerzeit unterlassen, so eine Warmgerätebuchse mit integriertem Netzfilter in das Verstärkerchassis einzubauen. Das leidige Resultat war damit dann auch bereits insofern vorprogrammiert, das ich an manchen Tagen einem ungetrübten Spiel-, & Hörgenuß frönen konnte, an anderen Tagen hingegen mir bei kleinen Lautstärken aber ein derart nervender Störpegel aus dem Lautsprecher entgegen tönte, so daß mir jeglicher Spielspaß verleidet war.
Fazit: Entgegen dem Prototypenaufbau also besser gleich besagte Warmgerätebuchse mit integriertem Netzfilter einbauen.

In Bild 13 ist die Schaltung der Stromversorgung des Verstärkers abgebildet, alles uralter Standard, bis auf die gemeinsame Gleichstromheizung für die Vor-, & Endröhren mittels integriertem Spannungsregler IC4. Die Spannungsversorgung der Vorstufe wird gleich am zweiten Siebelko mit ausgekoppelt und nicht erst am Ende der gesamten Kette wie ansonsten allgemein üblich. Dadurch kann man u.U. die Widerstandswerte etwas kleiner im Wert wählen und auch eine etwas kleinere Kategorie in der Belastbarkeitsklasse der Widerstände wählen. Entgegen der Spannungsversorgung von HiFi-Vorverstärkerröhren werden hier auch keine Zenerdioden zur zusätzlichen Stabilisierung eingesetzt um das Klirrverhalten zu verbessern. Vorstufentrioden reagieren recht empfindlich mit einem geänderten Klirrverhalten auf Schwankungen in der Betriebsspannungsversorgung. Da wir aber keinen schönen, linearen HiFi-Verstärker bauen wollen, sondern einen der den Frequenzgang nach Möglichkeit recht ordentlich verbiegt, lassen wir die ergo weg!
Auf eine Besonderheit in diesem Schaltplan soll jedoch auch an dieser Stelle wieder hingewiesen werden. Nämlich die Widerstände R43** - R47**. In so „ganz bestimmten Fachzeitschriften“ werden ja immer wieder die Vorzüge von Netzteilen aufgeführt und hoch gelobt, die noch bzw. wieder mit Röhrengleichrichtern ausgestattet sind. Kompressionseffekt, deswegen ein vermeintlich längeres Ausklingen des Tones, weicheres Verhalten bei Übersteuerung bzw. sowieso weicheres Verhalten, dadurch positive Beeinflussung des Sounds usw. und so fort. Ist ja alles ganz schön und ganz niedlich, stimmt zum Teil ja auch, geht aber auch anders. Daß das Netzteil einen Einfluß auf das Klangverhalten eines jeden NF-Verstärkers hat, ist eine unbestreitbare Tatsache. Trotzdem, Röhrengleichrichter sind absolut veraltete Bauteile. Echte „Oldtimer“, die eher in ein technisches Museum gehören, und in modernen Röhrenverstärkern absolut nichts mehr verloren haben. Da können wir ja gleich wieder die guten alten Quecksilberdampfgleichrichter einsetzen, das ist dann wenigstens „echt VINTAGE“. Zum anderen sind Röhrengleichrichter mittlerweile gegenüber modernen Siliziumdioden recht teuer und sperrig. Sie unterliegen je nach Belastung einer recht starken Alterung, sind überdies empfindlich gegen Stromspitzen, und der Netzübertrager benötigt zudem noch eine zusätzliche Heizwicklung. Die Energiebilanz Pab/Pzu des gesamten Verstärkers wird somit auffallend verschlechtert. Darüber hinaus werden diese Teile heute im nachgefertigten Neuzustand z.T. in einer bereits recht lausigen Qualität angeboten. Resümee’: Teuer bezahlter, unsinniger Schnickschnack. Mit modernen Siliziumdioden ist man garantiert besser bedient. Soweit alles gut und schön, und den Kompressionseffekt (Rückgang der Ausgangsspannung bei Belastung durch die höhere Aussteuerung der Endröhren!), den kriegen wir auch anders hin. Das bewirken in dieser Hochvoltnetzteilschaltung die Widerstände R43** - R47** in Zusammenarbeit mit dem Brückengleichrichter und dem ersten Siebelko. Übrigens, wem das Netzteil dann immer noch „zu steif oder hart“ ist, der kann die Siebelko-Kette gerne auch auf eine Staffelgröße kleiner umdimensionieren. Statt 100µF/47µF/22µF dann eben 47µF/22µF/10µf bei gleicher Spannungsklasse selbstverständlich. Der Netzübertrager MT T1 hat wiederum einen M65-Kernschnitt mit hochlegierten maximal 0,35mm starken hochwertigen, kornorientierten & nachgeglühten Blechen (z.B. Armco6x 0,7W/kg), gefertigt gemäß VDE0550. Der Übertrager ist auf 40VA optimiert, die Primärwicklung ist auf 230V/174mA AC ausgelegt. Wicklung Sek.3 hat 13V/100mA AC für die Hallstufe, Sek.2 hat 13V/1A für die Gleichstromheizung und die Versorgung der Relais. Die Hochvoltwicklung Sek.1 ist auf 230V/110mA AC mit einer Anzapfung bei 190V dimensioniert. Der Übertrager ist auf einem Zweikammerwickelkörper mit Stiftanschlüssen für Printmontage gewickelt, hat eine

separat herausgeführte statische Schirmwicklung, ist vakuumgetränkt & ofengetrocknet. Gefertigt wurde er ebenfalls von der Firma Wickeltechnik-Langer in Laatzen unter der Bauvorschrift BV402010. Obwohl die Firma Langer auch im Internet zu finden ist, wird auf der Hausseite www.wickeltechnik-langer.de mit keinem Wort erwähnt, daß Sie auch exzellente Netz-, & Ausgangsübertrager für die Röhrentechnik fertigen können. Der Schalter S4 (Ein – Mitte aus – Ein) und das Relais Rel2 bilden zusammen die Stand-By/Hi-LowPower Umschaltung, S5 ist ein Netzschalter mit beleuchteter grüner Wippe. Die Leuchtdiode Heater-LED ist die Überwachung für F3 und IC4 und somit die optische Anzeige dafür, das die Gleichstromheizung des Verstärkers korrekt funktioniert.

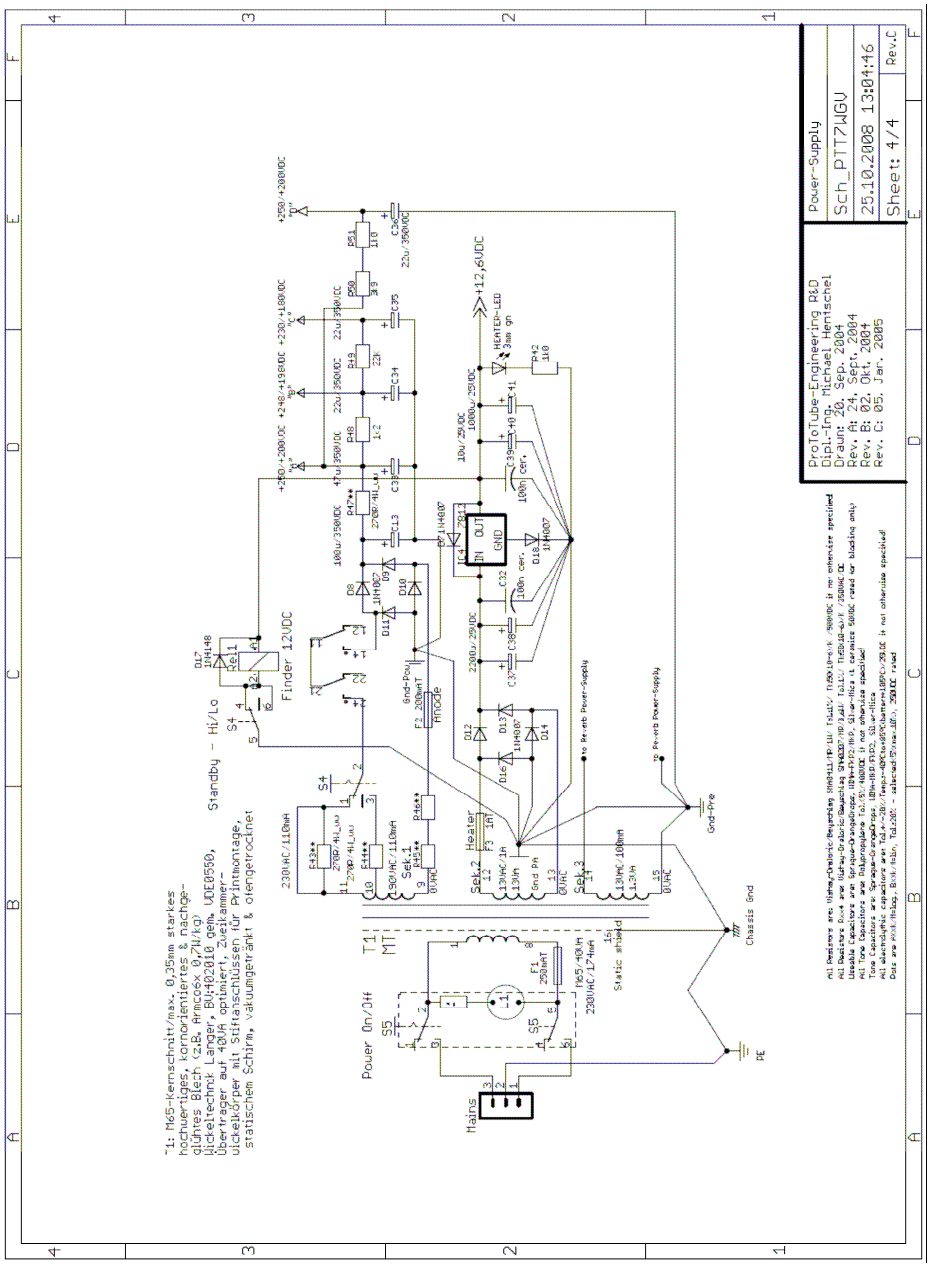


Bild 13

2.) Bestückung, Montage, Verdrahtung & Inbetriebnahme

Ein Hinweis vorab zur Sicherheit, Inbetriebnahme und zum Aufbau:
Da die Verarbeitung, Herstellung und Anwendung dieser Bauanleitung/Gerätes außerhalb meines späteren Einflußbereiches liegt, übernehme ich keine Haftung für Schäden egal welcher Art auch immer. Die einschlägigen Sicherheitsbestimmungen in der entsprechenden Literatur sowie die einschlägigen Vorschriften selbst (VDE-Vorschriften etc.) sind einzuhalten und werden als bekannt vorausgesetzt. Außerdem müssen ausreichende Grundkenntnisse vorhanden sein, bzw. werden diese vorausgesetzt, wenn Geräte und Baugruppen in Eigenbau hergestellt werden, die intern mit hohen Spannungen arbeiten und an das Stromnetz angeschlossen werden. Für die interne Verdrahtung sind entsprechende, zulässige & typgeprüfte Leitungen hinreichender Spannungsfestigkeit und Farbcodierung zu verwenden! Also: Es ist nicht zulässig, grün-gelb, der grundsätzlich

für die Schutzerdung vorgeschrieben ist, als spannungsführende Leitung z.B. für die Anodenspannung zu verwenden. Die für die elektrische Sicherheit wichtigen Bauteile, wie z.B. der von der Firma Wickeltechnik-Langer hergestellte Netz-, und Ausgangsübertrager sind diesbezüglich stückgeprüft und entsprechend VDE0550 gefertigt.
Die gesamte Schaltung wird auf zwei Leiterkarten (Bild 14a,14b) aufgebaut, und dann im Chassisblech auf Stehbolzen montiert. Die Bedienelemente werden anschließend von außen auf der Vorder-, & Rückseite mit dem Chassisblech verschraubt.

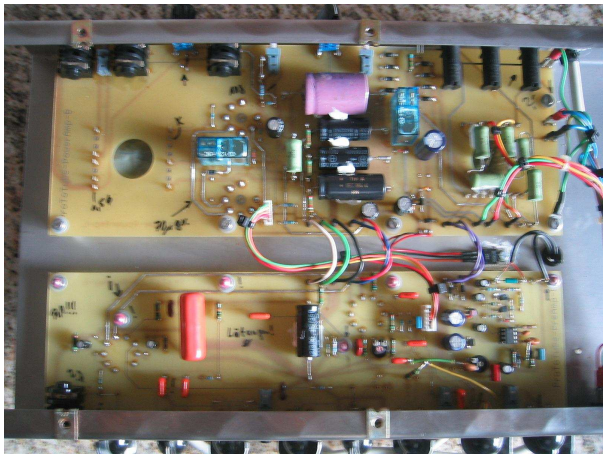
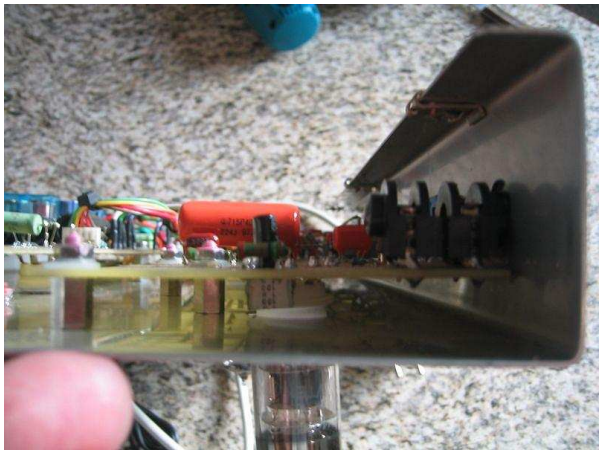



Bild 14a/14b

Alle Bauteile bis auf die Röhrensockel und die Übertrager werden von oben entsprechend der Bestückungspläne in Bild 21 & 22 auf die Leiterkarten montiert. Das IC1 aus der Hallstufe setzt man am besten auf einen IC-Sockel. Bitte unbedingt auf die richtige Polung der Dioden, Transistoren, IC's und der Elkos achten! Vorsicht, bei verpolten Elko's besteht Explosionsgefahr! Besser zweimal nachkontrollieren. Die Übertrager werden gemäß Bild 15 auf das Chassisblech geschraubt. Zwischen Blechpaket der Übertrager und Chassisblech ist eine Kunststoffscheibe zu legen (unterdrückt neben anderem auch mechanisches Brummen).

Wenn möglich & vorhanden, zur Befestigung der Übertrager keine magnetisch leitende Befestigungsschrauben verwenden – das verursacht unnötige Wirbelstromverluste und u.U. dann auch Signalverzerrungen. Möglicherweise kaum zu glauben, aber es ist mir schon ein Fall untergekommen, wo in einem Hifi-Verstärker magnetisch leitende Schrauben zur Befestigung der Leistungstransistoren nachweislich Verzerrungen verursachten, die hörbar waren!

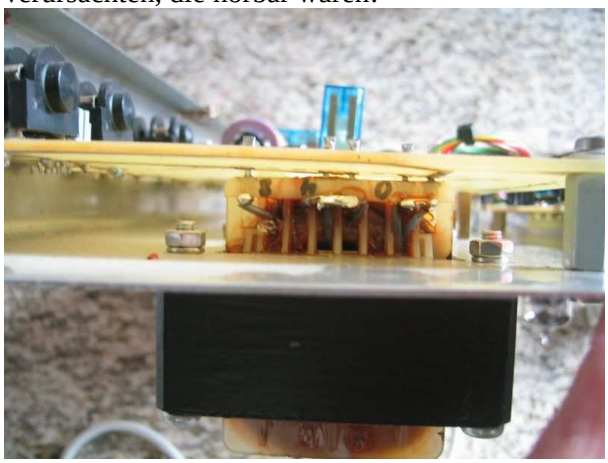


Bild15

Für die Stehbolzen der Leiterkartenbefestigung sollte man auf beiden Leiterkartenseiten zur elektrischen Isolierung ebenfalls eine kleine Kunststoffscheibe vorsehen, sofern Metallstehbolzen verwendet werden. Da sich die Wärmeentwicklung auf Grund der kleinen Endröhren und der Anzahl von vier Röhren insgesamt in Grenzen hält, können alternativ auch solche aus Kunststoff verwendet werden. Bis auf den Stehbolzen unten rechts auf der Endstufenleiterkarte, über den die Verstärkerschaltung auf Chassis-Gnd bzw. Schutzerde (PE) gelegt wird, der muß aus Metall sein. Da Schutzerdeanschlüsse nicht an lösbaren Verschraubungen/Verbindungen angeschlossen sein sollen, müssen solche Verschraubungen / Befestigungsanschlüsse entsprechend mit einem Schild für Schutzerdekennzeichnung versehen werden, wenn das nicht zu umgehen ist. Schrauben und Muttern sollten immer mit einer Unterleg-, Feder-, oder Zahnscheibe

montiert werden. Die Muttern - ggf. auch die Schrauben - sollten zusätzlich mit Schraubensicherungslack gegen selbsttätiges Loslösen gesichert werden. Der rote Nagellack der Partnerin tut’s aber auch.

Es empfiehlt sich, in die Lötaugen für die beiden Übertrageranschlüsse (Bild 16) auf der Endstufenleiterkarte kleine, passende Aderendhülsen als „Leiterkartensockel“ einzulöten, die zum Abschluß, wenn alles korrekt funktioniert, dann verlötet werden. Dieses hat den Vorteil, daß die Endstufenleiterkarte jederzeit ohne Lötarbeiten wieder ausgebaut werden kann, ohne die Durchkontaktierungen der Leiterkarte zu beschädigen wenn etwas wider Erwarten dann doch nicht richtig funktioniert.

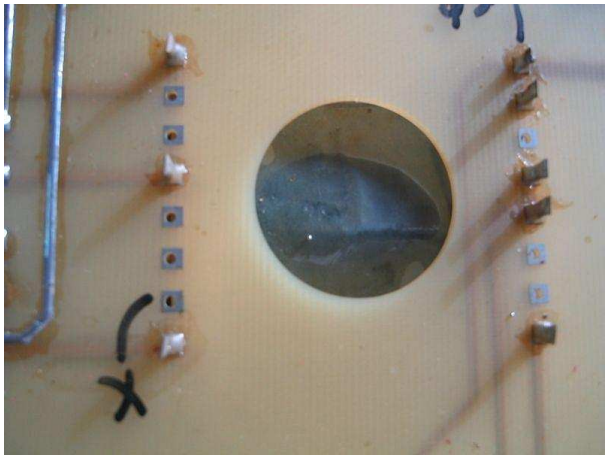


Bild 16

Es ist dann zwar ein etwas erhöhtes, feinmotorisches Geschick erforderlich, die Endstufenleiterkarte mit den Bedienelementen erst durch die dafür vorgesehenen Bohrungen zu stecken, und dann auf die Stiftanschlüsse der Übertragerwickelkörper zu pressen, aber es funktioniert. In die Lötaugen für den primären Anschluß des Netzübertragers (PE, MAINS siehe Bild 17) werden Gegenstücke für Flachstecker eingelötet. Mit Flachsteckern von der Leiterkarte aus wird über Leitungen und weiteren Flachsteckern die Verbindung zu den Anschlußsteckern des Netzschalters hergestellt.

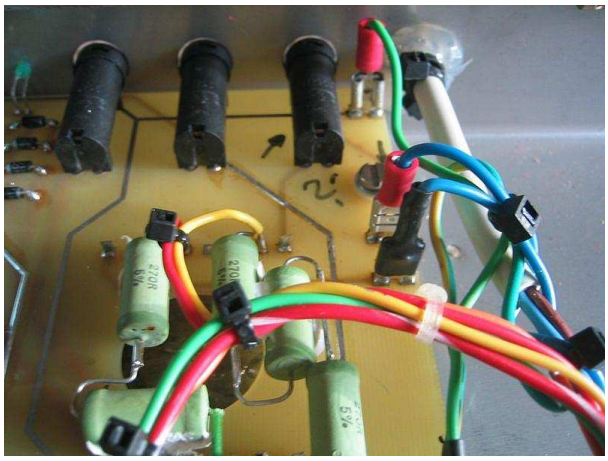


Bild 17

Der gesamte Verdrahtungsaufwand des Verstärkerchassis beschränkt sich auf ein Minimum. Die Leiterkarten und die beiden externen Schalter S4,S5 sind entsprechend Verdrahtungsplan Bild 23 miteinander zu verdrahten. Die elektrischen Verbindungen zwischen den beiden Leiterkarten werden zum einen mit zwei XHP-5 Steckern/Stiftwannen hergestellt und zum anderen mit ein paar kurzen Drahtbrücken. In die Lötaugen auf der Vorstufenleiterkarte setzt man am besten überall passende Lötnägel ein. In die Anschlußpunkte der Endstufenleiterkarte lötet man am besten die Verbindungskabel in die Lötaugen, und versieht das andere Ende mit einem Stecker, den man auf die Lötnägel der Vorstufenleiterkarte stecken kann. Alle Leiterkartenanschlüsse sind zur Isolierung (siehe Bild 18) gegen Berührung mit Schrumpfschlauch zu überziehen und warm zu verschrumpfen. Entgegen den hier abgebildeten Leiterkarten des Prototypen-Verstärkers sollten die im Nachbau eingesetzten Leiterkarten zwecks Isolierung beidseitig mit Lötstoplack überzogen sein. Leitungen die Wechselspannung führen, sollten zur Minimierung von Störungen verdrillt werden.

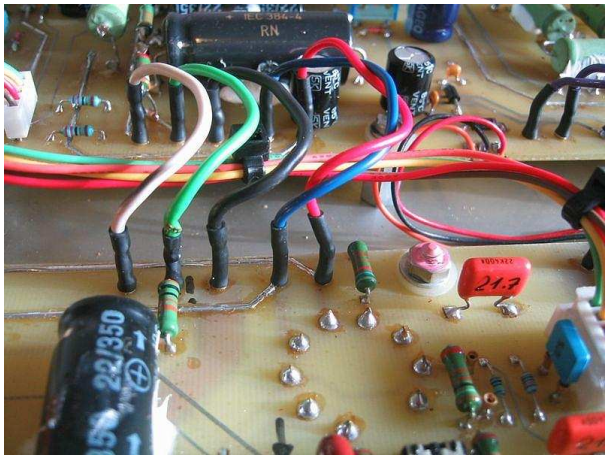


Bild 18

An die Kabelenden zum Anschluß an den Schalter S4 für Stand-By/Hi-Low-Power Umschaltung werden die entsprechenden Flachsteckhülsen angelötet. Das Gleiche (siehe Bild 19) gilt für die Netzzuleitung von außen zum Netzschalter hin und vom Netzschalter hin zu den Anschlüssen auf der Endstufen-, & Netzteilleiterkarte. Auch hier zum Abschluß, wenn alles korrekt funktioniert, alle Stecker mit Schrumpfschlauch isolieren.

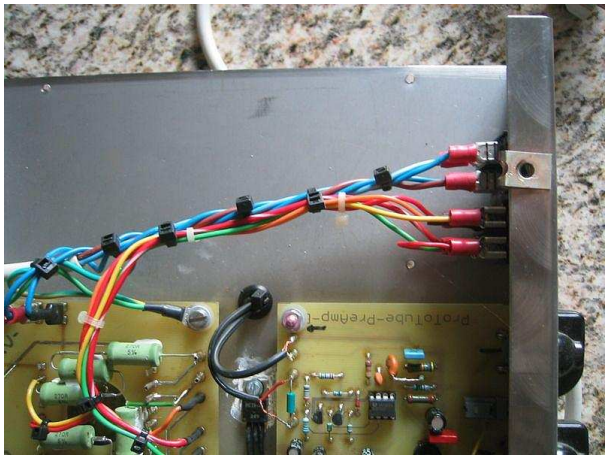


Bild 19

Den integrierten Spannungsregler (siehe Bild 20) für die Gleichstromheizung IC4 verbindet man mit genügend langen Anschlußdrähten mit der Endstufen-, & Netzteilleiterkarte und montiert es mit einer Isolierhülse, Glimmerscheibe und Wärmeleitpaste für optimale Kühlung auf das Chassisblech zwischen der End-, & Vorstufenleiterkarte. Alle Kabeldurchführungen durch das Chassisblech sind mit entsprechenden Kunststoffzugentlastungen oder Durchführungstüllen aus PVC gegen durchscheuern abzusichern. Ggf. noch mit zusätzlichem Kabelbinder eine zusätzliche Durchzugsicherung am Kabel anbringen.

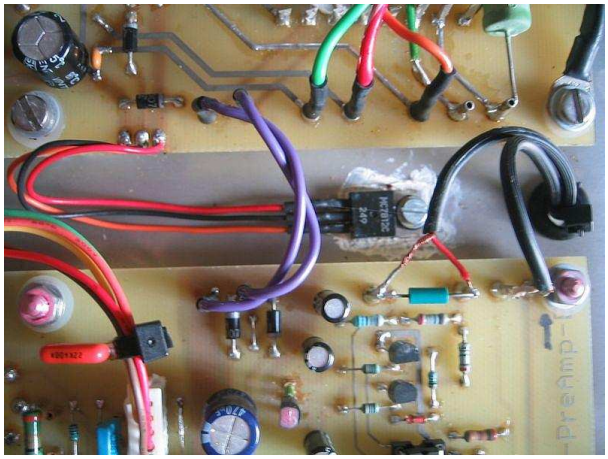


Bild 20

Sind die Leiterkarten bestückt und das Chassis entsprechend Bild 23 verdrahtet, kann mit der Inbetriebnahme begonnen werden. Hiefür werden zunächst die Sicherungshalter mit den Schmelzeinsätzen bestückt, 250mAT für Mains F1, 200mAT für Anode F2 und 1AT für Heater F3.

Die Röhren werden noch nicht eingesteckt. Netz-, & Stand-By-Schalter S5,S4 einschalten und alle Spannungen gemäß Schaltplan mit einem handelsüblichen Digitalmultimeter nachprüfen. Bei Rauchsignalen sofort den Netzstecker ziehen und Ursachenforschung betreiben. Da der Netzübertrager ohne eingesetzte Röhren quasi im Leerlauf läuft, können die angegeben Spannungswerte auch durchaus höher liegen, was zunächst nicht weiter tragisch ist. Stimmen die genannten Spannungswerte größenordnungsmäßig, Netzschalter ausschalten, Chassis vom Netz trennen und warten bis sich die Hochvolt-Elkos auf ungefährliche Spannungswerte entladen haben bevor weitergearbeitet wird. Beim Messen an Röhrenverstärkern, die mit lebensgefährlich hohen Spannungen arbeiten, kann sich beim Messen übrigens eine uralte Regel u.U. als lebensrettend erweisen: IMMER EINE HAND IN DER HOSENTASCHE HALTEN!

Jetzt die Röhren einstecken, nur den Netzschalter S5 einschalten, den Schalter S4 Stand-By auf Mitte stellen bzw. stehen lassen und die Röhren vorheizen. Alle Regler auf Linksanschlag stellen, Gegenkopplung eingeschaltet - Schalter S6 nicht gedrückt, den Feedback-Regler auf Linksanschlag stellen. An die Buchse für den internen Lautsprecher einen ohmschen Lastwiderstand mit 8,2Ohm/20Watt und ein Oszilloskop anschließen.
Den Standby-Schalter S4 auf Hi-Power nach oben auf hohe Leistung einschalten, Schalter S7 Pentode/Triode steht auf Pentodenbetrieb - nicht gedrückt! Sofern sich bereits jetzt auf dem Schirm des Oszilloskopes ein hochfrequentes Schwingen zeigen sollte, den Verstärker sofort ausschalten und wie bereits Eingangs schon einmal erläutert, Pin1 mit Pin5 an einem der beiden XHP-5 Stecker vertauschen. Sofern nichts schwingt, sicherstellen, daß der MasterVolume nicht in Funktion ist – Schalter S2 ist nicht gedrückt, die Regler P1-P4 auf Mitte stellen und den Volume-Regler P5 langsam auf Rechtsanschlag aufdrehen. Abschließend den Boostschalter drücken. Wenn sich auch jetzt kein Schwingen der Endstufe einstellt, ist alles okay. Sollte sich jetzt erst ein hochfrequentes Schwingen auf den Oszilloskop zeigen, wie gehabt Pin1 mit Pin5 an einem der beiden XHP-5 Stecker vertauschen. Damit sollte ein eventuelles Schwingen der Endstufe auf Grund von Mit-, statt Gegenkopplung behoben sein. Mit dem Symmetrie-Regler P6 können, wie bereits erläutert, die gegenphasigen Signale mit einem Zwei-Kanal-Oszilloskop auf gleiche Amplitude oder eben hinsichtlich eines erhöhten k2-Anteiles im Gesamtsignal gewollt auf Asymmetrie abgeglichen werden.

Sofern auch der Hall verwendet wird, die Hallspirale mit dem Verstärkerchassis verbinden. Auf richtige Belegung von Eingang und Ausgang achten, ggf. kontrollieren was „was“ ist, und die Chinch-Stecker entsprechend an der Hallspirale aufstecken. Die Verstärkung des Halltreibers stellt man am besten nach Gehör mit P9 so ein, daß sich das Hallsystem nicht von alleine aufschaukeln kann, bzw. der Hall nicht anfängt unnatürlich zu klingen.
Abschließend sollte man sämtliche Spannungen in den verschiedenen Betriebsarten gemäß der Meßwert-Tabelle in Bild 24 noch einmal nachprüfen. Das Gerät hierzu mit seiner Nennimpedanz am Ausgang abschließen, dem Verstärker wird kein Signal zugeführt und alle Regler stehen auf Linksanschlag. Abweichungen von $U \leq +/- 5\%$ von den angegeben Werten sind bis auf die Heizspannung zulässig. Bei der sollten die 12,6V DC – 100mV/+200mV eingehalten werden.

Man möge sich beim Nachbau von den abgebildeten Photos des Prototypenverstärkers bitte nicht verwirren lassen, da 1.) die revidierten neuen Layouts teilweise von den alten abweichen, die sehen etwas anders aus! Und 2.): auch wenn auf den Photos noch nicht alles berührungssicher mit Schrumpfschlauch überzogen dargestellt ist – bitte, im eigenen Interesse so machen! Ist im Grunde genommen wirklich alles ganz einfach & simpel. Am Ende dieses Artikels findet befindet sich unter Bild 25 eine Stückliste für die elektronischen Komponenten mit Bezugsquellen. Das gesamte Befestigungs-, & Kleinmaterial ist dort nicht aufgeführt. Ebenso ist die gesamte Hardware für das Holzgehäuse sowie das Holzgehäuse selbst dort nicht aufgeführt. Ich gehe davon aus, daß sich das jeder ggf. nach seinen eigenen Vorstellungen konzipieren wird. Des weiteren sind am Ende die vier Layouts mit den Bildern 26a/b und 27a/b abgebildet. Wer möchte, kann beim Verfasser (oder dem Verlag???) gegen Entrichtung einer Kostenpauschale zur Herstellung der Leiterkarten die dafür erforderlichen Dateien im Eagle.brd-Format anfordern, die Konstruktionszeichnungen sind im TurboCAD-Format erhältlich.

Und zu guter Letzt: Bevor an die Herstellung des Chassisbleches gegangen wird, bitte noch mal die Maße anhand der Leiterkarten nachkontrollieren, damit ausgeschlossen ist, daß sich in die Konstruktionszeichnung Fehler eingeschlichen haben. „Nobody is perfect“. Einige Bauteile haben auf Grund der Revision eine geänderte Platzierung.

3.) Danksagung. “With a little help from my friends...”

Mein ganz besonderer Dank für die Unterstützung bei der Umsetzung dieses Projektes gehen an Gewerbelehrer Drewes & seine Berufsschulklasse Metalltechnik der BBS Rotenburg für die Herstellung des Chassis, Thomas Engel für seine erstklassige Handarbeit bei der Herstellung des Holzgehäuses, Bernd Haller von HDBAudio-Electronic in Erlbach für die Erstellung der Ur-Layouts und die Beschaffung der Ur-Leiterkarten sowie seine stets freundliche & kooperative Unterstützung bei allen Fragen die an ihn herangetragen werden, Wolfgang Langer von Wickeltechnik-Langer in Laatzen für die Herstellung der Prototypen-Übertrager und seine ebenso stets kooperative Unterstützung bei allen Problemen, Gary Morrison von Eminence KY./USA, meinen Arbeitskollegen Wolfgang Schuliers für die Übertragung meiner mechanischen Handskizzen in CAD-Zeichnungen, Cal Shuett von Accutronics-Reverb IL./USA, sowie an die Gitarristen Uli Meyer & Ludwig Futkowski (†2006) als stets dienstbereite Versuchskarnikel zum Testen.

Für „Mississippi John Hurt“ & „Blind Willie Johnson“.

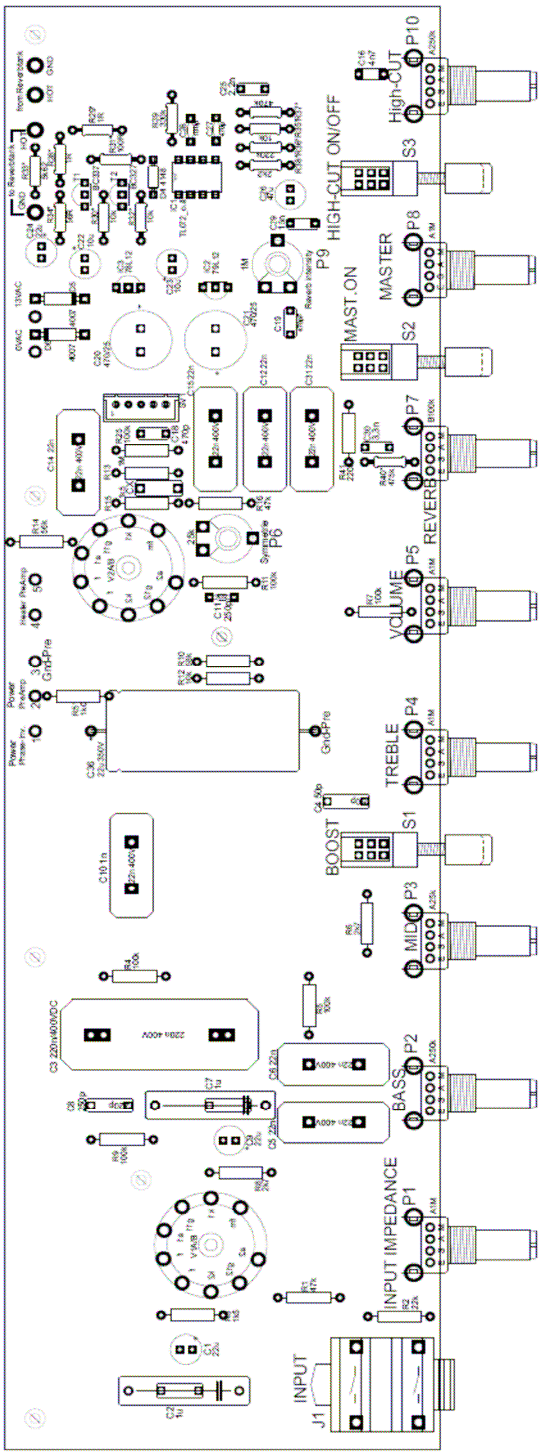


Bild 21 Bestückungsplan Vorstufe & Hall

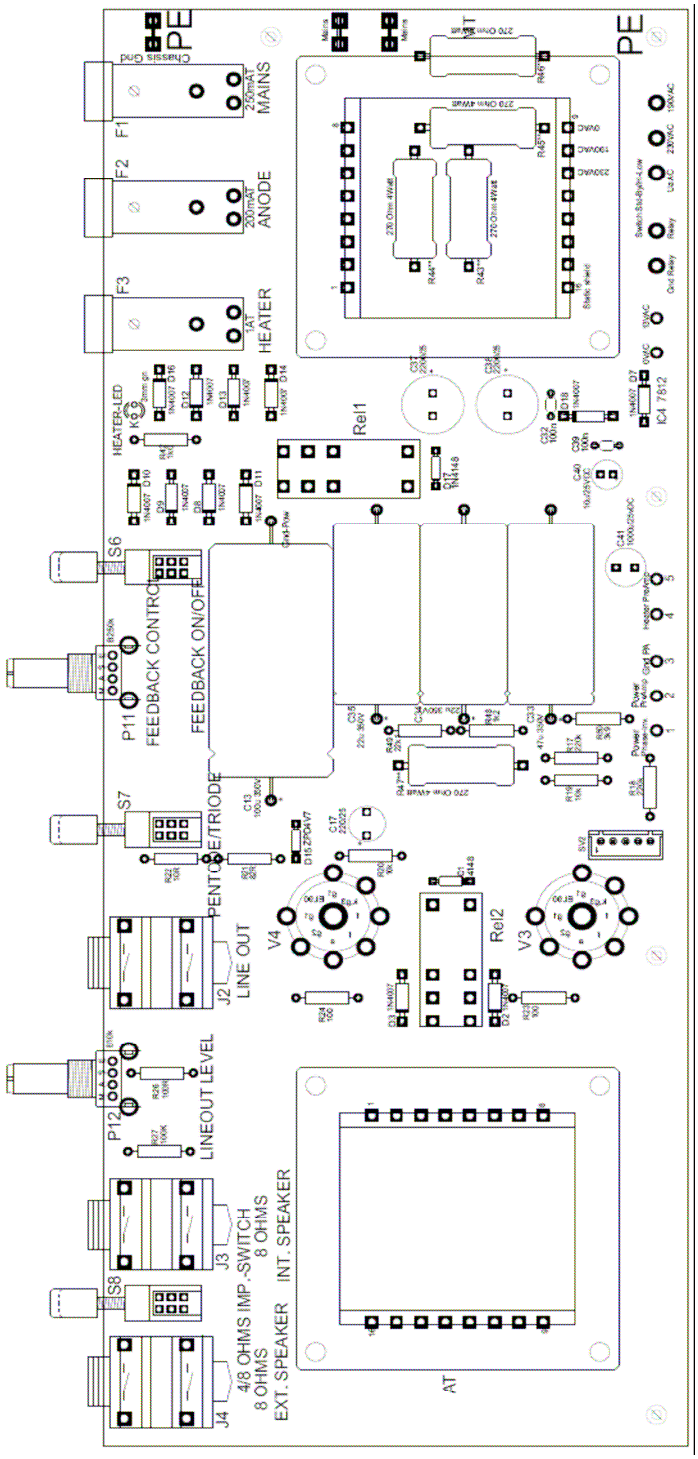


Bild 22 Bestückungsplan Endstufe & Netzteil

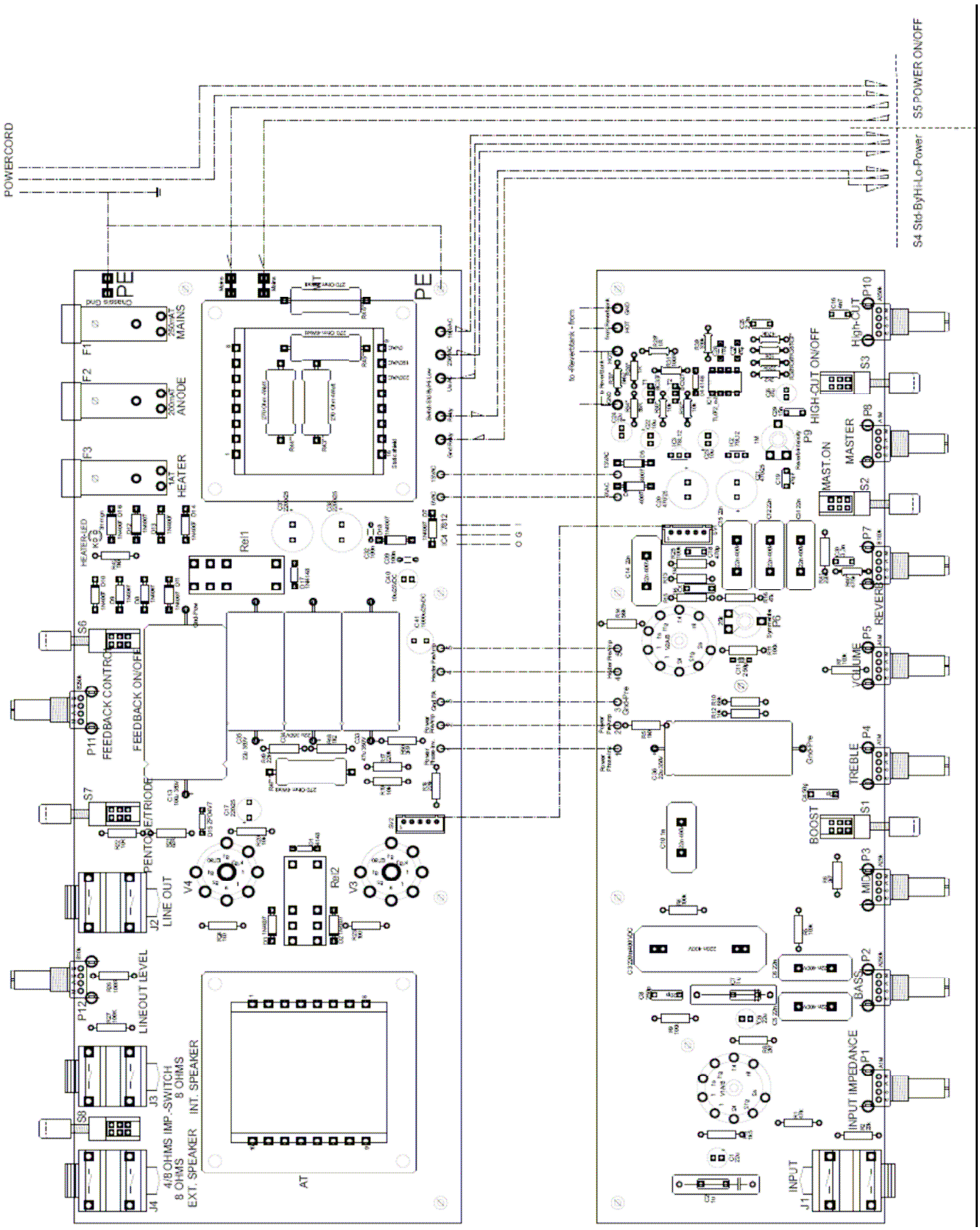


Bild 23 Verdrahtungsplan Chassis

NETZ	HiPen	LoPen	HiTri	LoTri		V1 12AX7WB	HiPen	LoPen	HiTri	LoTri							
NÜ Pri	232,00	233,00	227,00	232,00	VAC	Pin 1 - A11	167,30	134,00	163,00	13800	VDC						
HOCHVOLT						Pin 2 - G11	0,00	0,00	0,00	0,40	VDC	V3 EL95/6DL5	HiPen	LoPen	HiTri	LoTri	
NÜ Sek1*	256,00	215,00	250,00	212,00	VAC	Pin 3 - K11	1,22	1,00	1,18	0,99	VDC	Pin 1 - G1	0,00	0,00	0,00	0,00	VDC
NÜ Sek1	228,00	186,00	223,00	184,00	VAC	Pin 4 - Fila11	12,80	12,80	12,75	1230	VDC	Pin 2 - K/G3	8,80	7,70	8,66	7,70	VDC
UB-Null	273,00	220,00	264,00	220,00	VDC	Pin 5 - Fila21	0,00	0,00	0,00	0,00	VDC	Pin 3 - Fila1	0,00	0,00	0,00	0,00	VDC
UB-Anode V3/4	260,00	212,00	252,00	212,00	VDC	Pin 6 - A21	189,90	157,00	185,00	1560	VDC	Pin 4 - Fila2	6,55	6,53	6,53	6,53	VDC
UB-Gitter2 V3/4	250,00	203,00	251,00	211,00	VDC	Pin 7 - G21	0,00	0,00	0,00	0,00	VDC	Pin 5 - A	245,00	204,00	240,00	203,00	VDC
UB-Phase-Inv V22	233,00	190,00	234,00	197,00	VDC	Pin 8 - K21	1,58	1,30	1,55	1,30	VDC	Pin 6 - G2	243,50	203,00	240,00	203,00	VDC
UB-PreAmp V1/21	251,00	204,00	244,00	205,00	VDC	Pin 9 - FilaM1	6,50	6,47	6,46	6,47	VDC	Pin 7 - G1	0,00	0,00	0,00	0,00	VDC
DC-HEIZUNG						V2 12AX7LSP	HiPen	LoPen	HiTri	LoTri							
NÜ Sek2	14,30	14,40	13,80	14,30	VAC	Pin 1 - A12	223,00	185,00	217,00	183,00	VDC						
UDC IC1 Pin1	16,00	16,30	15,60	16,00	VDC	Pin 2 - G12	0,00	0,00	0,00	0,00	VDC	V4 EL95/6DL5	HiPen	LoPen	HiTri	LoTri	
UDC IC1 Pin3	12,80	12,80	12,80	12,80	VDC	Pin 3 - K12	2,20	1,81	2,10	1,80	VDC	Pin 1 - G1	0,00	0,00	0,00	0,00	VDC
HALLNETZTEIL						Pin 4 - Fila12	0,00	0,00	0,00	0,00	VDC	Pin 2 - K/G3	8,80	7,70	8,66	7,70	VDC
NÜ Sek3	14,70	14,90	14,50	14,80	VAC	Pin 5 - Fila22	12,80	12,80	12,80	1280	VDC	Pin 3 - Fila1	12,80	12,80	12,75	12,80	VDC
UDC IC3 Pin3	18,40	18,84	18,00	18,80	VDC	Pin 6 - A22	188,50	155,30	197,60	16 ,00	VDC	Pin 4 - Fila2	6,55	6,54	6,53	6,52	VDC
UDC IC3 Pin1	12,30	12,26	12,30	12,27	VDC	Pin 7 - G22	15,50	12,80	16,30	1330	VDC	Pin 5 - A	245,00	205,00	238,50	204,00	VDC
UDC IC4 Pin2	-18,50	-18,90	-18,00	-18,80	VDC	Pin 8 - K22	42,00	34,40	44,10	3570	VDC	Pin 6 - G2	243,50	204,00	238,50	204,00	VDC
UDC IC4 Pin3	-12,20	-12,18	-12,20	-12,20	VDC	Pin 9 - FilaM2	6,40	6,38	6,40	6,37	VDC	Pin 7 - G1	0,00	0,00	0,00	0,00	VDC

Bild 24 Meßwert-Tabelle der Wechsel-, & Gleichspannungen

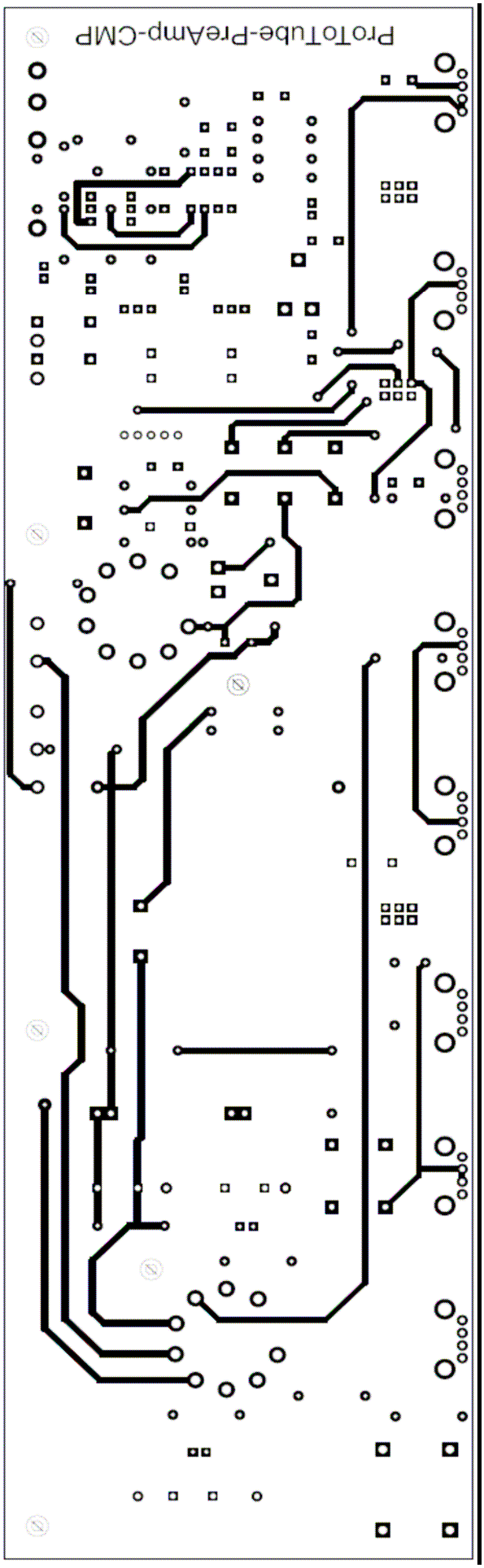
lfd. Nr.	Stk	Pos	Wert	Hersteller	Type	Tol. [%]
1	3	C1,C9,C24	22µF	Capxon	CSN0022/25, radial	±20
2		C10	1nF	http://www.wima.de/DE/fkp2.htm	Wima FKP2, RM5	±5
3	1	C13	100µF	FTCap	AH101 350 18 39	±20
4	1	C16	4,7nF	http://www.wima.de/DE/fkp2.htm	Wima FKP2, RM5	±5
5	1	C17	220µF	Jamicon	TLP0220/25, radial	±20
6	3	C18-19,C27	470pF	http://www.wima.de/DE/fkp2.htm	Wima FKP2, RM5	±5
7	2	C2,C7	1µF	http://www.wima.de/DE/mkp10ue.htm	MKP10/RM22,5	±10
8	2	C20-21	470µF	Jamicon	TLP0470/25, radial	±20
9	3	C22-23,C40	10µF	Capxon	CSN0010/50,radial	±20
10	1	C25	2n2	http://www.wima.de/DE/fkp2.htm	Wima FKP2, RM5	±5
11	1	C26	47µF	Jamicon	TLP0047/25, radial	±20
12	1	C28	100p	http://www.wima.de/DE/fkp2.htm	Wima FKP2, RM5	±5
13	1	C29	15n	http://www.wima.de/DE/fkp2.htm	Wima FKP2, RM5	±5
14	1	C3	220nF	http://www.wima.de/DE/mkp10.htm	Wima MKP10, RM22,5	±10
15	1	C30	3n3	http://www.wima.de/DE/fkp2.htm	Wima FKP2, RM5	±5
16	2	C32,C39	100nF	JYA-NAY	KENF100	-20/+80
17	1	C33	47µF	FTCap	AH470 350 18 39	±20
18	3	C34-36	22µF	FTCap	AH220 350 18 39	±20
19	2	C37-38	2200µF	Jamicon	TLR2200/25	±20
20	1	C4	47pF	http://www.wima.de/DE/fkp2.htm	Wima FKP2, RM5	±5
21	1	C41	1000µF	Jamicon	TLR1000/25	±20
22	6	C5,C6,C12,C14,C15, C31	22nF	http://www.wima.de/DE/mkp10.htm	Wima MKP10, RM10	±10
23	2	C8,C11	220-270pF	http://www.wima.de/DE/fkp2.htm	Wima FKP2, RM5	±1
24	1	Cx	nicht bestückt	--	--	--
25	3	D1,D4,D17	1N4148	Taiwan Semiconductor	Si-Diode DO35	--
26	1	D15	BZX85C4V3	EIC-Semiconductor	Z-Diode ZPY4,3V DO41	--
27	14	D2-3,D5-14,D16,D18	1N4007	Diverse	Si-Diode DO7	--
28	3	F1-3	FPG5-50	Schurter	Sich.Halter VDE 5x20 liegend	
29	1	Hallspirale	8EB3D1B	Accutronics Reverb USA	accutronics Type8	--
30	1	Heater-Led	3mm_green	LITEON	LTL4236N	--
31	1	IC1	Dual Op-Amp	Texas Instruments	TL072CP	--
32	1	IC1s	8-Pin DIL-Sockel	MPE GARRY	DIL08PZF	--
33	1	IC2	-12V U-Reg.	Taiwan Semiconductor	TS79L12CP	--
34	1	IC3	+12V U-Reg.	Taiwan Semiconductor	TS78L12CP	--
35	1	IC4	+12V U-Reg.	Taiwan Semiconductor	TS7812CZ	--
36	4	J1-J4	6,3mm Klinke 2ö	Lih Sheng Precision Ind.	LJB0664	--
37	1	MT T1	BV402010	Wickeltechnik-Langer	NÜ M65, 40VA optimiert	--

38	1	OT T2	BV401801	Wickeltechnik-Langer	AÜ M65, 10k : 8/4Ohm	--
39	4	P1,P4-5,P8	A1M	Song Huei Electric	RK11N	±20
40	1	P11	B250k	Song Huei Electric	RK11N	±20
41	1	P12	B10k	Song Huei Electric	RK11N	±20
42	10	P1-5,P7-8,P10-12	PN01B	Unbekannt	Zeigerknnof mit Madenschraube	--
43	2	P2,P10	A250k	Song Huei Electric	RK11N	±20
44	1	P3	A25k	Song Huei Electric	RK11N	±20
45	1	P6	B25k	Piher	PT6VK025	±20
46	1	P7	B100k	Song Huei Electric	RK11N	±20
47	1	P9	B1M	Piher	PT6VM001	±20
48	1	PCB1	PreAmp/Reverb	PCB-Pool	FR4,1.5mm,70µCu, HAL,2-lagig	--
49	1	PCB2	PwrAmp/PowSup	PCB-Pool	FR4,1.5mm,70µCu, HAL,2-lagig	--
50	2	R1,R16	47k5	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
51	1	R10	68K	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
52	3	R12,R19,R20	10k	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
53	1	R13	1M	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
54	1	R14	56k	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
55	3	R17,R18,R41	220k	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
56	2	R2,R49	22k1	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
57	1	R21	82R	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
58	1	R22	10R	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
59	3	R23-24,R26	100R	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
60	2	R28*,R29*	1R	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0207/MK2 Metalfilmwid. (MR)	±1
61	2	R3,R15	1k5	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
62	3	R30*,R32*,R35*	10k	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0207/MK2 Metalfilmwid. (MR)	±1
63	1	R31*	100R	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0207/MK2 Metalfilmwid. (MR)	±1
64	1	R33*	5K6	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0207/MK2 Metalfilmwid. (MR)	±1
65	1	R34*	56R	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0207/MK2 Metalfilmwid. (MR)	±1
66	1	R36*	220k	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0207/MK2 Metalfilmwid. (MR)	±1
67	2	R37*,R40*	470k	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0207/MK2 Metalfilmwid. (MR)	±1
68	1	R38*	2k2	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0207/MK2 Metalfilmwid. (MR)	±1
69	1	R39*	330k	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0207/MK2 Metalfilmwid. (MR)	±1
70	7	R4,R5,R7,R9,R11,R25,R27	100k	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
71	5	R43**-47**	270R	Phoenix	AC05 wire wound	±5
72	1	R48	1k2	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
73	1	R50	3k9	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
74	2	R51,R42	1k0	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
75	2	R6,R8	2k7	Vishay-Draloric/Beyschlag	SMA0411 Metalfilmwid. (MR)	±1
76	2	Rel1-2	F4052-12	Finder	Relais 2xU 8A 12V 220R	--
77	6	S1-3,S6-8	SPB21(mit Knopf)	Unbekannt	Tastenschalter 2pol. Rastend DPDT	--
78	1	S4	6,0 (2,0) A/250 VAC	Marquardt	1808.1302 DPDT 1-0-1	--
79	1	S5	10 (4,0) A/250 VAC	Marquardt	1835.1118 DPST grüne Wippe	--
80	2	SV1-2	Stiftwanne	JST	XHP-5	--
81	2	SVB1-2	Kabelbuchse	JST	XHP-5	--
82	1	T1	BC337-25	NXP/Philips	45 V, 500 mA NPN	--
83	1	T2	BC327-25	NXP/Philips	45 V, 500 mA PNP	--
84	1	V1	12AX7WB/C	Sovtek	12AX7WB/C	--
85	2	V1-2s	9-Pin Novalsockel	BTB	Keramik Print klein	--
86	1	V2	12AX7LPS	Sovtek	12AX7LPS	--
87	2	V3-4	EL95	Mullard/Philips	EL95-Endpentode	--
88	2	V3-4s	7-Pin-Miniatursockel	BTB	Keramik Print klein	--

lfd. Nr.	Temp. [℃]	Belastbarkeit [W]	SpannungsfestigkeitDC [V]	Bemerkung	Vertrieb
1	-55 / +100	--	25	low Impedance, low ESR	http://www2.schukat.com
2	-55 / +100	--	400	Polypropylen	http://www.buerklin.com/
3	-40 / +105	--	350	18x39mm	http://www2.schukat.com
4	-55 / +100	--	400	Polypropylen	http://www.buerklin.com/
5	-55 / +105	--	25	low Impedance, low ESR	http://www2.schukat.com/
6	-55 / +100	--	400	Polypropylen	http://www.buerklin.com
7	-55 / +100	--	250	Polypropylen	http://www.buerklin.com/
8	-55 / +105	--	25	low Impedance, low ESR	http://www2.schukat.com/
9	-55 / +105	--	50	low Impedance, low ESR	http://www2.schukat.com/
10	-55 / +100	--	100	Polypropylen	http://www.buerklin.com/
11	-55 / +105	--	25	low Impedance, low ESR	http://www2.schukat.com/
12	-55 / +100	--	100	Polypropylen	http://www.buerklin.com/
13	-55 / +100	--	100	Polypropylen	http://www.buerklin.com/
14	-55 / +100	--	400	Polypropylen	http://www.buerklin.com
15	-55 / +100	--	100	Polypropylen	http://www.buerklin.com
16	--	--	50	Keramik-Scheibenkondensator	http://www2.schukat.com
17	-40 / +105	--	350	14x30mm	http://www2.schukat.com
18	-40 / +105	--	350	10x30mm	http://www2.schukat.com
19	-55 / +105	--	25	low Impedance, low ESR	http://www2.schukat.com
20	-55 / +100	--	1000	Polypropylen	http://www.buerklin.com/
21	-55 / +105	--	25	low Impedance, low ESR	http://www2.schukat.com/
22	-55 / +100	--	400	Polypropylen	http://www.buerklin.com
23	-55 / +100	--	630	Polypropylen	http://www.buerklin.com/
24	--	--	--	--	--
25	--	--	75	Si-Allzweckdiode, 150mA	http://www2.schukat.com/
26	--	1,3	4,3	Zenerdiode 1,3W	http://www2.schukat.com/
27	--	--	1000	Si-Allzweckdiode, 1A	http://www2.schukat.com/
28	-40 / +85	2,5	--	10A/250VAC mit Schmelzeinsätzen	http://www2.schukat.com/
29	--	--	--	3 Federn, kurz	http://www.accutronicsreverb.com/
30	--	--	--	klar/grün 60mcd 45°3mm	http://www2.schukat.com
31	--	--	--	Fet-OpAmp	http://www2.schukat.com
32	--	--	--	IC-Präz-Fass. 8pol 7,62mm	http://www2.schukat.com
33	-20 / +85	--	--	TO92, 100mA	http://www2.schukat.com
34	-20 / +85	--	--	TO92, 100mA	http://www2.schukat.com
35	-20 / +85	--	--	TO220, 1A	http://www2.schukat.com

36	--	--	--	Kunststoff	http://www.fk-industrie.de/de/produktkatalog/J/KL/2
37	--	40VA	--	Beschr. siehe Text	http://www.wickeltechnik-langer.de/
38	--	15VA	--	Beschr. siehe Text	http://www.wickeltechnik-langer.de/
39	--	0,05	12	300°, Mono,stehend mit Gew.	http://www.fk-industrie.de/de/produktkatalog/P/D/K/F
40	--	0,05	12	300°, Mono,stehend mit Gew.	http://www.fk-industrie.de/de/produktkatalog/P/D/K/F
41	--	0,05	12	300°, Mono,stehend mit Gew.	http://www.fk-industrie.de/de/produktkatalog/P/D/K/F
42	--	--	--	"Chickenheads"	http://www.fk-industrie.de/de/produktkatalog/ZU/K/
43	--	0,05	12	300°, Mono,stehend mit Gew.	http://www.fk-industrie.de/de/produktkatalog/P/D/K/F
44	--	0,05	12	300°, Mono,stehend mit Gew.	http://www.fk-industrie.de/de/produktkatalog/P/D/K/F
45	-25 / +70	0,1	100	E-Regler liegend RM5/5 25K	http://www2.schukat.com
46	--	0,05	12	300°, Mono,stehend mit Gew.	http://www.fk-industrie.de/de/produktkatalog/P/D/K/F
47	-25 / +70	0,1	100	E-Regler liegend RM5/5 1M	http://www2.schukat.com
48	--	--	--	Stopplack beidseitig, durchkontaktiert	http://www.pcb-pool.com
49	--	--	--	Stopplack beidseitig, durchkontaktiert	http://www.pcb-pool.com
50	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
51	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
52	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
53	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
54	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
55	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
56	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
57	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
58	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
59	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
60	-55 / +155	0,6	350	TK50	https://www.distrelec.de
61	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
62	-55 / +155	0,6	350	TK50	https://www.distrelec.de
63	-55 / +155	0,6	350	TK50	https://www.distrelec.de
64	-55 / +155	0,6	350	TK50	https://www.distrelec.de
65	-55 / +155	0,6	350	TK50	https://www.distrelec.de
66	-55 / +155	0,6	350	TK50	https://www.distrelec.de
67	-55 / +155	0,6	350	TK50	https://www.distrelec.de
68	-55 / +155	0,6	350	TK50	https://www.distrelec.de
69	-55 / +155	0,6	350	TK50	https://www.distrelec.de
70	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
71	-40 / +200	5	--	+40/+I38570℃ 5/4.5W TK-80 bis +140	http://www.buerklin.com
72	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
73	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
74	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
75	-55 / +155	1	500	TK50	https://www.distrelec.de
76	-40 / +85	--	12	8A/250vAC	http://www2.schukat.com
77	--	--	--	mit Knopf	http://www.fk-industrie.de/de/produktkatalog/S/D/3
78	--	--	--	Steckanschl. 4,8 x 0,8 mm	http://www.buerklin.com/
79	--	--	--	Steckanschl. 4,8 x 0,8 mm	http://www.buerklin.com/
80	--	--	--	3A, RM2,5mm	http://www.farnell.com/datasheets/103592.p
81	--	--	--	3A, RM2,5mm	http://www.farnell.com/datasheets/103592.p
82	--	0,625	45	TO92, 500mA	http://www2.schukat.com
83	--	0,625	45	TO92, 500mA	http://www2.schukat.com
84	--	--	--	rauscharm / low noise	http://www.btb-elektronik.de
85	--	--	--	--	http://www.btb-elektronik.de/de/fassungen.ht
86	--	--	--	größere Anodenbleche	http://www.btb-elektronik.de
87	--	--	--	--	http://www.btb-elektronik.de/de/preise_lager_eur
88	--	--	--	--	http://www.btb-elektronik.de/de/fassungen.ht

Bild 25 Excel-Stückliste



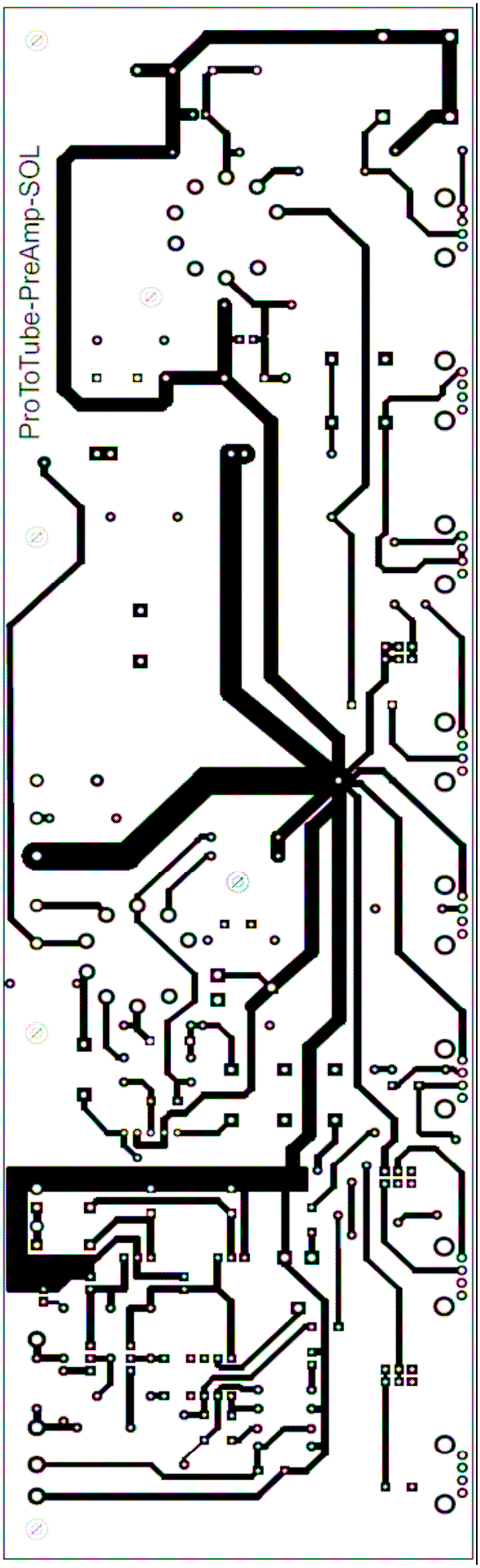


Bild 26a,26b Layouts Vorstufe & Hall

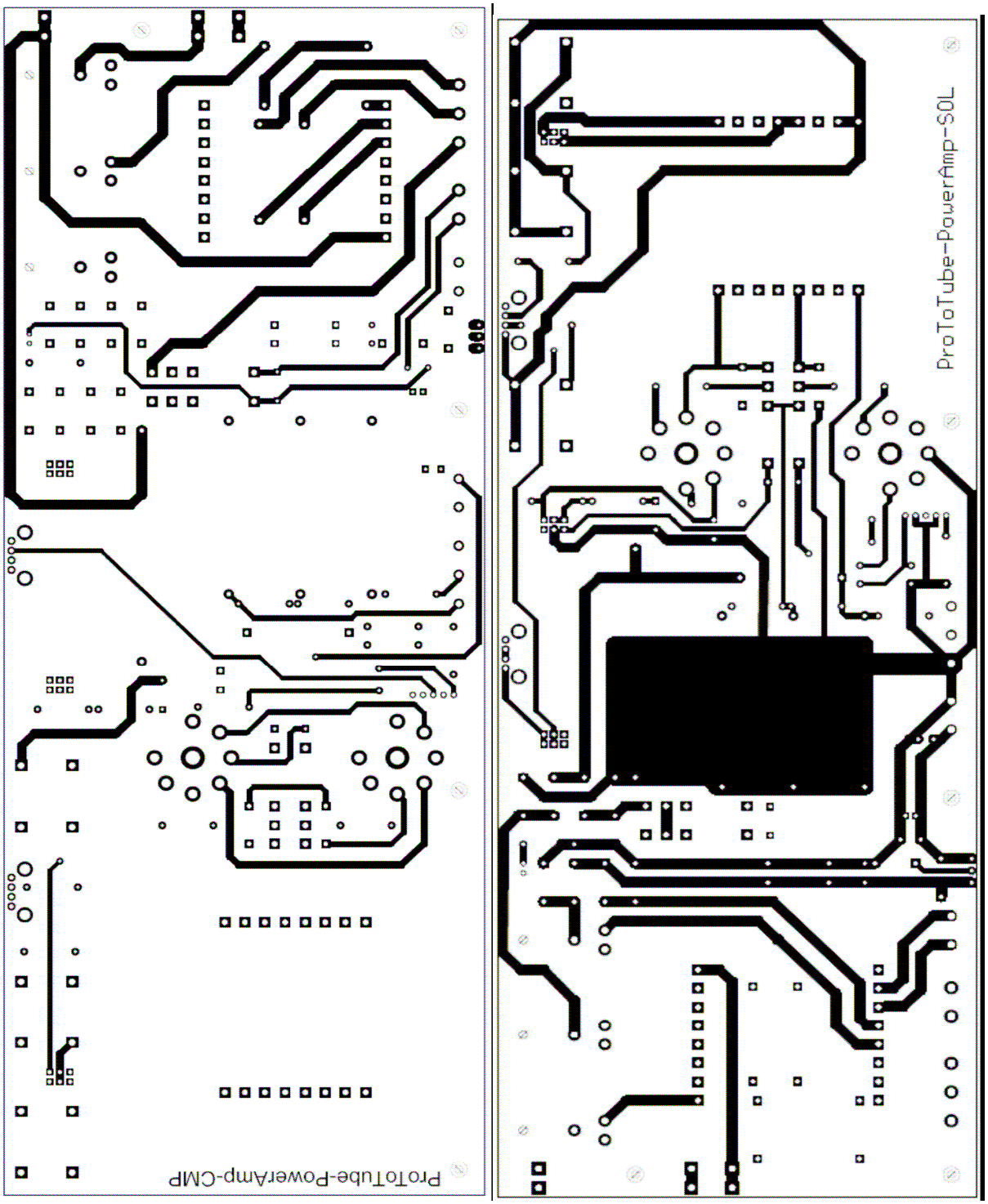


Bild 27a,27b Layouts Endstufe & Netzteil