

Hinweis:

Das Vortragsskript umfaßt 25 Seiten, wobei diese Seite nicht mitzählt.

Jeweils zwei Seiten dieses Texts sollen auf eine Seite im Skript nebeneinander gedruckt werden.

Lediglich die Seite mit "Schematic 1" soll ganzseitig erscheinen.

Damit erreicht man eine "gerade" Seitenzahl.

mfg Günter Köllner, DL4MEA

A 144 MHz Amplifier with a GS35b

Addendum: A 432MHz GS35b Amplifier

- Weinheim Version -

Günter Köllner, DL4MEA

Riedweg 10

D-86853 Langerringen

Email: dl4mea@amsat.org

AX.25: dl4mea@db0zka.#bay.deu.eu

1 Vorwort

Bevor ich mit der Beschreibung dieser Endstufe beginne möchte ich einen Überblick über Sendeleistung und deren Erzeugung geben. Die hier beschriebene Endstufe mag zwar für viele faszinierend sein, aber auf der anderen Seite zeigt meine Erfahrung, daß zwar anfangs meist viel Begeisterung vorhanden ist, auf der anderen Seite aber der Aufwand in jedem Fall unterschätzt wird.

1.1 Bisherige Projekte

Nicht immer konnte ich meine Projekte erfolgreich beenden, und ich meine daher, daß ich aus diesem Grund meine Erfahrungen berichten sollte. In der Vergangenheit habe ich folgende Projekte verwirklicht (Stand Mitte 1998):

Band	Bauvorschlag	Bestückung	Bauzeit	Kommentar
144 MHz	DK1OF	4CX250	1,5 Jahre	Nie erfolgreich abgeschlossen
432 MHz	K2RIW	2 x 4CX250	2 Jahre	über lange Zeit erfolgreich eingesetzt
1296 MHz	UHF-Unterlage	2 x 2C39	2 Jahre	im Einsatz zwei Module gekoppelt -> 400W
144 MHz	W6PO	GS35b	1 Jahr	im Einsatz, hier beschrieben
432 MHz	DL4MEA	GS35b	¾ Jahr	im Einsatz, siehe Anhang
1296 MHz	CT1DMK	GI7b	½ Jahr	in Erprobung

1.2 Röhre oder Transistor ?

Beim Berichten über eine Röhrendstufe erhält man oft begeisterte Kommentare. Aber ich möchte hier noch einmal darauf hinweisen, daß es beim heutigen Stand der Technik nicht zwingend nötig ist auf eine Röhre zurückzugreifen. Transistoren sind heute schon sehr weit fortgeschritten, und können eine enorme Leistung erzielen. Und als Einsatzgrund für Transistoren ist deren deutlich einfachere Handhabung in den Vordergrund zu stellen: Eine einzige, niedrigere, ungefährliche Betriebsspannung, kein Vorheizen, einfachere und leisere Kühlung. Daher halte ich es für angebracht hier eine Tabelle zu veröffentlichen, welche Leistungen man heute problemlos mit Transistoren erzeugen kann:

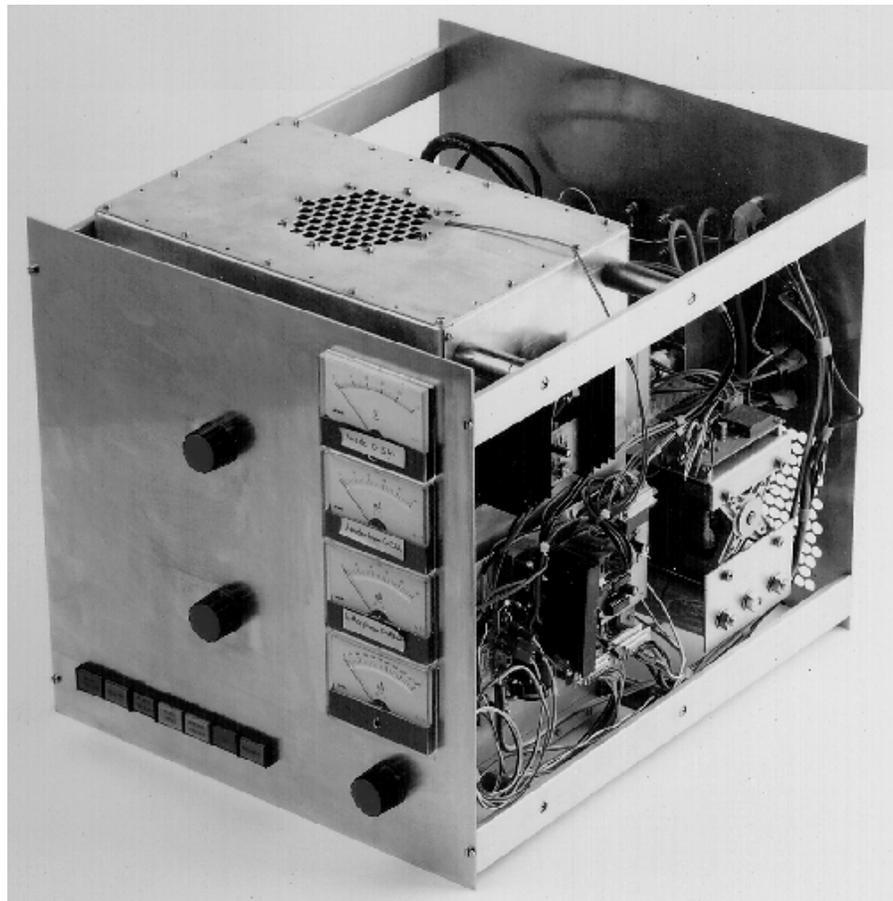
Bis auf 23cm habe hier jeweils die einfache Leistung einer Applikation angegeben. Die Kopplung von zwei oder vier Modulen ist jeweils ohne Probleme machbar. Auch wenn man im direkten Preisvergleich (bei dem man für die Halbleiter bitte nicht die Preise in Deutschland, sondern in USA betrachten soll) möglicherweise noch Vorteile für eine Röhre sieht, läuft bei einer Betrachtung des gesamten Aufbaus (Resonator, Kühlung, Steuerung, Netzteil, Betriebssicherheit) alles auf eine Transistor-Endstufe hinaus. Übrigens gibt es für alle die

hier genannten Vorschläge sehr detaillierte Bauanleitungen (siehe ¹), manchmal sogar Bausätze, angeboten. Der Vollständigkeit halber möchte ich aber darauf hinweisen, daß einige Applikationen mit 28V oder sogar 50V betrieben werden müssen.

Band	Steuerleistung	Ausgangsleistung	Bauvorschlag	Betriebsspannung
2 - 50 MHz	10 W	1000 W	2 x MRF154/MRF157 Motorola AR176/AR347	50 V
2 - 30 MHz	6 W	600 W	4 x MRF150 Motorola EB104	50 V
10 - 150 MHz	ca. 5 - 10 W	300 W	MRF141G Motorola AR313	28 V
10 - 175 MHz	ca. 5 - 10 W	300 W	MRF151G Motorola AR305	50V
432 MHz	10 W	200 W	MRF275	28 V
1296 MHz	2 W	80 W	4 x M..... (Moduln)	12 V

2 Ein Leistungsverstärker für 144MHz mit GS35b

Nachdem ich einige GS35b-Röhren erhalten hatte stellte ich im Datenblatt die nahe Verwandtschaft zur amerikanischen 8877-Röhre fest. Meine erste erfolgreiche Röhren-Selbstbauerfahrung habe ich mit einer heute noch angewendeten 70cm-K2RIW, also mit 2 Tetroden 4CX250, erhalten. Danach mußte ich beim Bau von 2*2C39-Endstufen für 23cm feststellen daß das Handling von Trioden in Grounded-Grid-Schaltung wesentlich einfacher ist als das von Tetroden, da alle Anforderungen an Gitterspannungen sich nahezu von selbst erledigen. Damit war für mich genügend Anreiz gegeben eine Endstufe mit GS35b in Grounded-Grid versuchen aufzubauen.



Picture 1: Gesamtansicht / Overall View

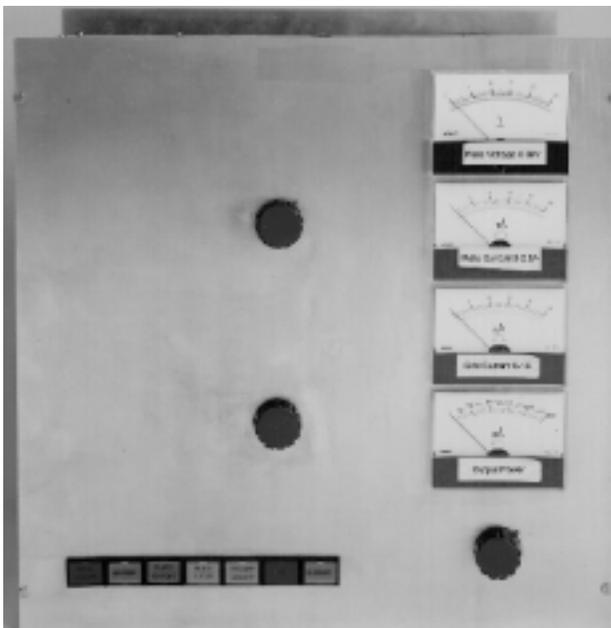
Da mir zu dieser Zeit (Anfang 1995) noch keine anderen Vorschläge für eine Endstufe mit dieser Röhre vorlagen war mein Gedanke einen Vorschlag zu finden, der für die 8877 geschaffen sich aber auch dazu eignet die mechanisch etwa doppelt so große GS35b aufzunehmen. Nach einiger Suche stieß ich auf den Vorschlag von W6PO², der mir geeignet schien. Nicht zuletzt ist bei W6PO einiges berücksichtigt was die Effizienz und Lebensdauer positiv beeinflussen soll. In diesem Vorschlag sitzt die Röhre auf einem Podest und bestimmt damit nicht direkt die Lage des Anodenresonators (s.a. die Probleme, die CT1DMK in DUBUS 4/96 auf 70cm erwähnt³).

Eine Lektüre des Original-Artikels ist auf alle Fälle empfehlenswert.

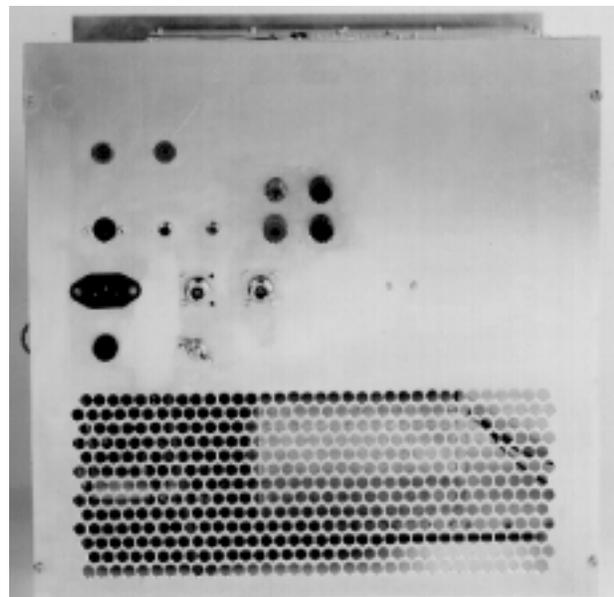
Als Materialien habe ich hauptsächlich Aluminium für das Gehäuse und Kupfer bzw. Messing für alle anderen Teile verwendet. Alle Schrauben sind aus V2A oder Messing (V2A ist mechanisch stabiler, aber manchmal waren aus vorhergehenden Projekten Messingschrauben übrig). Die HF-führenden Teile sind bislang noch nicht versilbert. In den meisten Fällen laufen die Schrauben in Gewinde, die ins gegenüberliegende Material geformt wurden, lediglich mechanisch stark belastete Verbindungen und die Befestigung des Gitterrings auf dem Podest sind mit Muttern ausgeführt. Zur Herstellung der Gewinde lohnt sich der Kauf eines spanlosen Gewindeformers anstelle der sonst bekannten Gewindeschneider. Damit werden die Gewinde in Aluminium wesentlich stärker belastbar. Die großen Löcher lassen sich am einfachsten mit einem Lochschneider bohren oder auch wie ich es tat mit der Laubsäge sägen.

Bei genauem Hinsehen wird auffallen, daß zwischen den Fotos und Zeichnungen teilweise kleine Unterschiede bestehen. Dies deshalb, weil ich in diese Beschreibung schon Erfahrungen eingearbeitet habe, die ich beim Bau dieser und dem Versuch einer weiteren GS35b-Endstufe für das 70cm-Band erhalten habe.

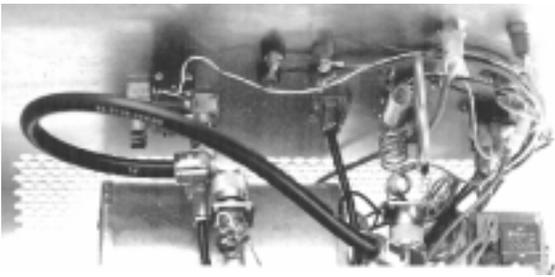
2.2 Gehäuse



Picture 3: Front view of the amplifier
Vorderansicht der Endstufe

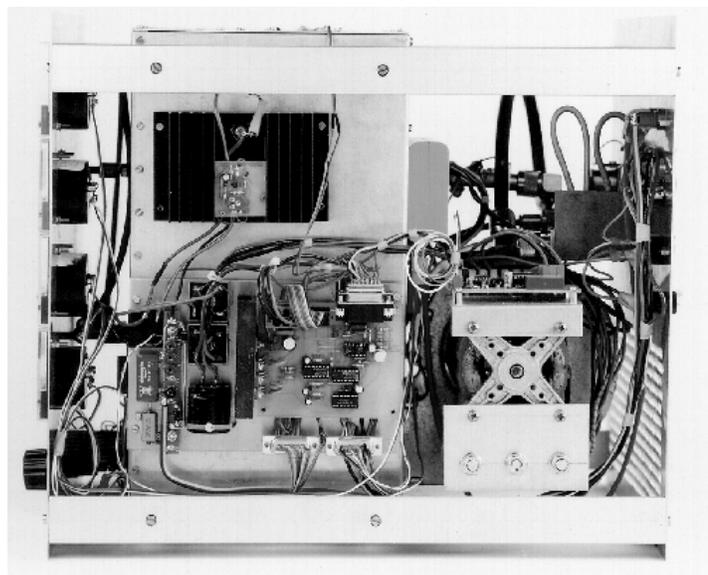


Picture 4: Rear view of the amplifier
Rückwand der Endstufe



**Picture 6: Rear wall from inner side
Rückwand von innen**

Das Gehäuse des Resonators ist 430 mm hoch, 190 mm tief und 290 mm breit. Es besteht aus drei zu biegenden Teilen und einem Deckel aus jeweils 1,5mm dickem Aluminiumblech. Hierfür liegen nur Handzeichnungen vor, nach denen mir ein metallverarbeitender Betrieb die Teile gebogen hat. Die Stoßstellen sind mit M3x8-Schrauben verschraubt, welche gleichmäßig verteilt alle ca. 30mm eine Verbindung herstellen. Eine andere Möglichkeit sind selbstschneidende Blechschrauben 3mm x 8mm. Die Schrauben müssen aus Edelstahl oder Messing sein um magnetische Effekte auszuschließen.



**Picture 5: Side view showing control- and supervision circuits
Seitenansicht mit Steuer- und Überwachungsschaltung**

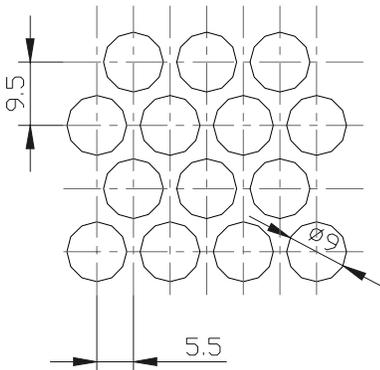
**Part C 1: Cavity - bottom part
Gehäuse-Unterteil**

**Part C 3: Tube Podest
Röhren-Podest**

**Part C 2: Cavity - front part
Gehäuse-Vorderteil**

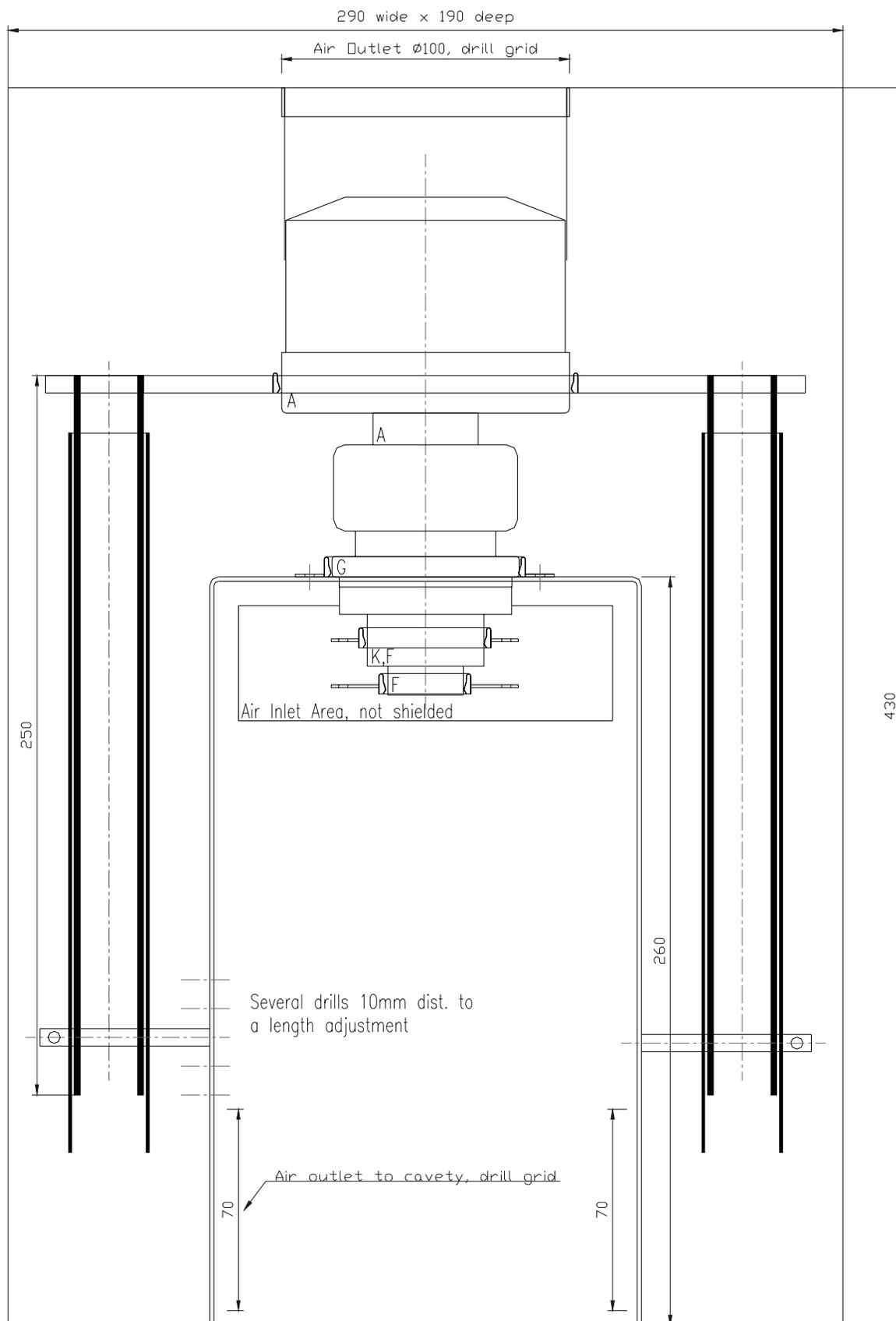
**Part C 4: Cavity Cover
Deckel**

Ein kleines Kunststoffgehäuse nimmt den Spannungsteiler zur Anodenspannungsmessung auf. Dieses wird direkt über den Durchführungskondensator montiert und schützt diesen gegen Berührung. (Picture 15)



**Picture 7: Sample of the drill grid at air throughlets
Beispiel des Lochgitters an den Luftdurchlässen**

Ein großes Problem bei allen Endstufen ist immer die Hochspannungsführung. Ich habe mich mangels anderer Verfügbarkeiten für geschützte Laborsteckverbinder entschieden, auch wenn diese sicher noch nicht das absolut beste darstellen. Bis jetzt haben diese über ein Jahr problemlos funktioniert.

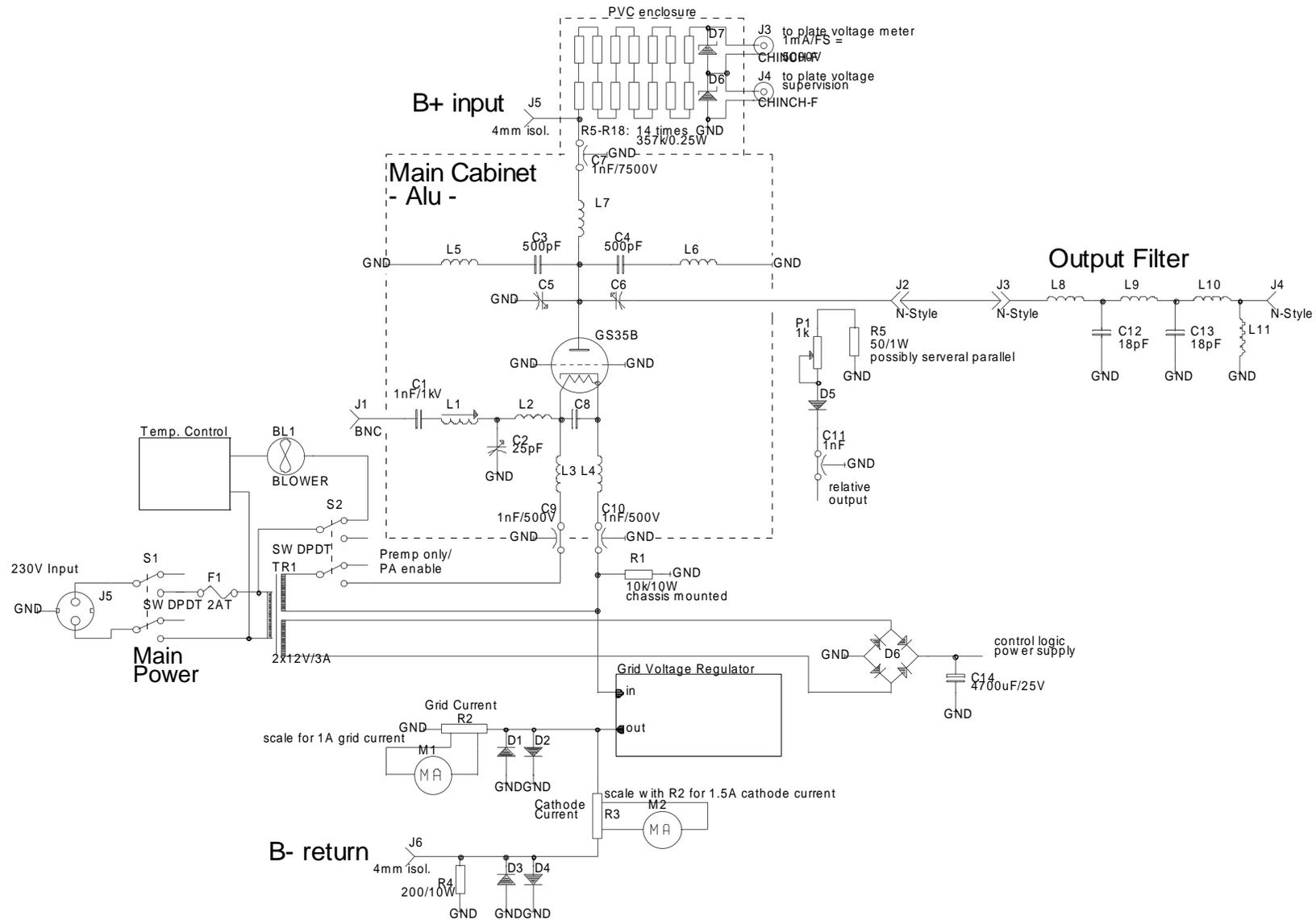


Picture 8: Side view of the resonator
Seitenansicht des Resonators

2.3 HF-Schaltung

2.3.1 Schaltplan und Teileliste:

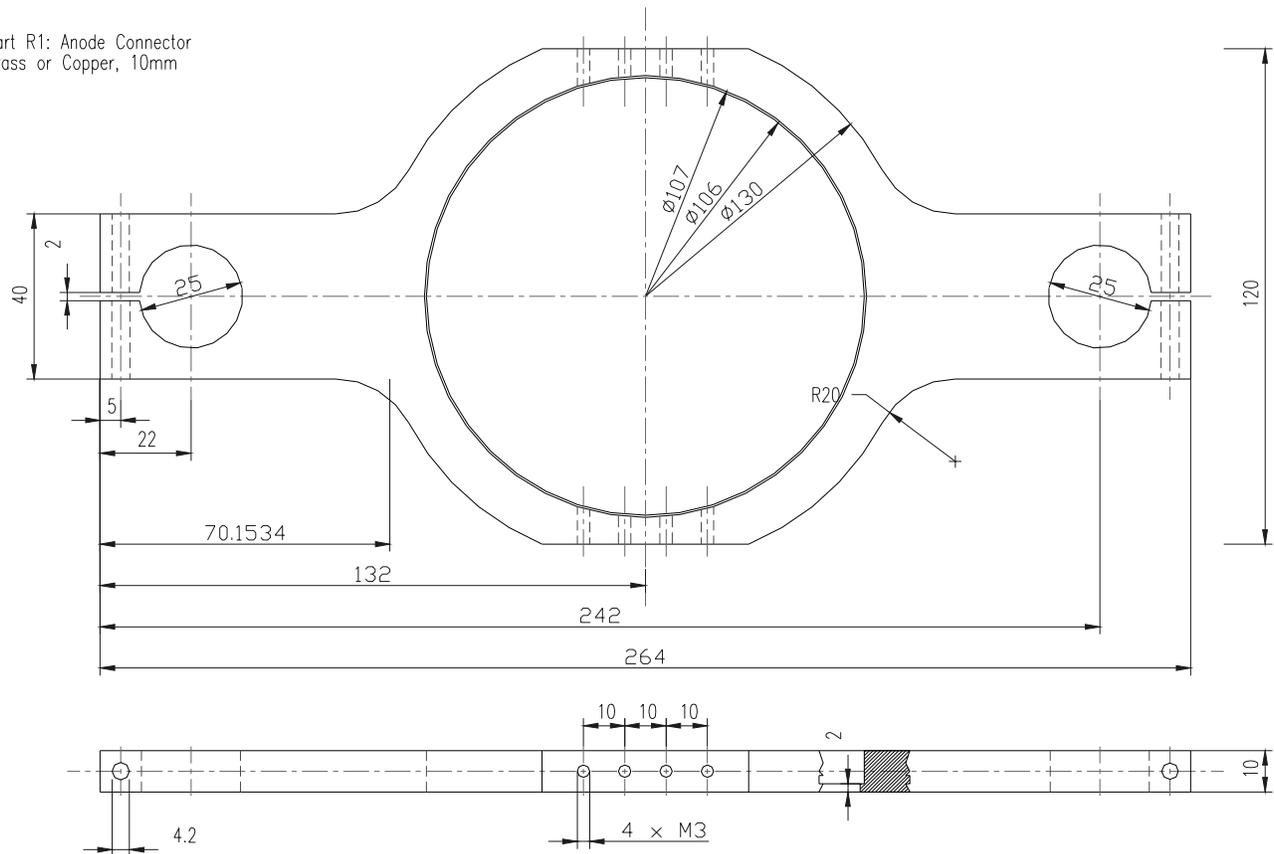
C1:	1000pF/1kV	L2:	4 turns 1.5mm CuAg, 12mm dia, 20mm long,
C2:	25pF air variable / Luftdrehko	L3, L4:	10 turns 1.5mm CuL, bifilar wound, 16mm dia, 30mm long
C3, C4:	Anode resonator, see text (chapter 0, page 8)	L5, L6:	Anode resonator, see text (chapter 0, page 8)
C5:	tune capacitor, see text (chapter 0, page 17)	L7:	7 turns, 1.5mm CuAg, 16mm dia, 35mm long
C6:	load capacitor, see text (chapter 0, page 20)	L8, L10:	3 turns, 2mm CuAg, 10mm dia, 15mm long
C7:	1000pF/7.5kV feedthrough	L9:	4 turns, 2mm CuAg, 13mm dia, 15mm long
C8:	2 x 100pF, 2 x 220pF, 2 x 470pF, 2 x 1nF across filament and cathode	L11:	20 turns 1.5mm CuAg, 16mm dia, 40mm long (safety agains HV arcovers to the output)
C9, C10:	1000pF/1000V feedthrough	P1:	1k Poti
C11:	1nF feedthrough	R1:	10k/10W, safety resistor, mounted direct at the chassis output of C10
C12, C13:	18pF built from 50Ohms teflon coax cable 18cm long, both cable ends connected to coil, take care on distance between inner conductor and ground	R2:	Shunt resistor, extends range of M1 to 1A
C13:	4700µF/25V	R3:	Shunt resisotr, extends range of M2 to 1.5A
D1-D4:	1000V/3A diode	R4:	200Ohms/10W, safety resistor
D5:	HP2600 shottky diode	R5-R18:	14 times 357k/0.25W 1% resistors
D6:	bridge reticifier 100V/5A	R19:	2 times 100Ohm/1W carbon resistor
D7, D8:	10V/1.3W zener diode		
L1:	5 turns 1mm CuAg, 12mm dia, 10mm-20mm long (adjustable)		



Schematic 1: GS35b amplifier for 144MHz

2.3.2 Anodenresonator

Part R1: Anode Connector
Brass or Copper, 10mm



Part R 1: Anodenkontaktstück (anode connector)

Part R 2: Inneres Resonatorrohr (inner resonator tube), 2 Stück - 2 pieces

Kupfer- oder Messingrohr, Außendurchmesser 25mm x 250mm
Außendurchmesser beim Kauf prüfen!

Copper or brass tube OD 25mm x 280mm long
check OD when buying the tube!

Part R 3: Resonator Isolation, 2 Stück - 2 pieces

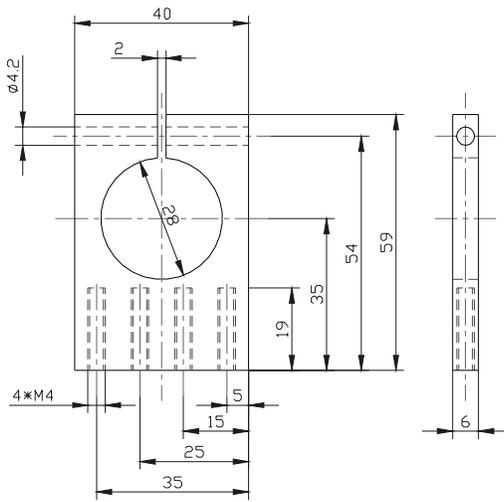
Hostafanfolie 0.25mm dick, 280mm x 160mm, zweimail um Part R 2 gewickelt

Hostafan foil or similar, 0.25mm thick, 250mm x 160mm, wraps 2 times around Part R 2

Part R 4: Äußeres Resonatorrohr (outer resonator tube) , 2 Stück - 2 pieces

Kupfer- oder Messingrohr, Innendurchmesser 26mm x 250mm
Innendurchmesser beim Kauf prüfen!

Copper or brass tube ID 26mm x 280mm long
check ID when buying the tube!



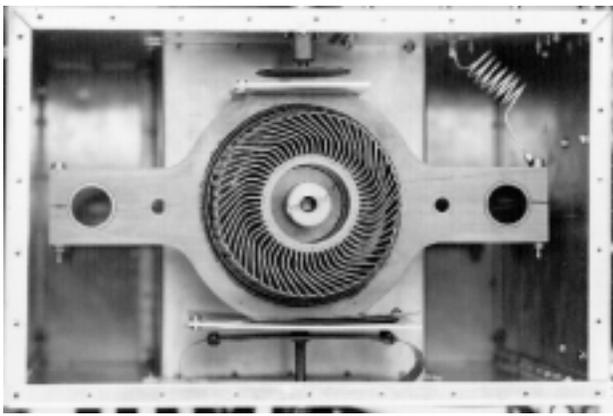
Part R 5: Masseklemme für Resonator (resonator ground clamp) , 2 Stück - 2 pieces

Anders als im Original habe ich den Resonator mit koaxialen Kondensatoren aufgebaut. Ein Frästeil aus 10mm dickem Messing (Part R 1) kontaktiert die GS35b in der Mitte über eingelötetes Fingerstockmaterial und spannt an den beiden Enden je ein Kupferrohr (Part R 2) ein. Dieses Kupferrohr bildet zusammen mit zwei Lagen 0.25mm dicker Hostafan-Folie (Part R 3) und einem weiteren Rohr (Part R 4), dessen Innendurchmesser um 1mm größer ist als der Außendurchmesser des inneren Rohrs, den Koppelkondensator. Hostafan-Folie hat im Vergleich zu Teflon gleichwertige, vielleicht sogar bessere, elektrische und thermische Werte, fließt aber nicht unter mechanischer Belastung (und ist bei mir in großer Menge vorhanden). Das innere Rohr wird zur leichteren Montage am unteren Ende mit Radius R2 abgerundet und die Oberfläche poliert. Sonst besteht die Gefahr daß beim Ineinanderpresse der Rohre die Folie beschädigt wird. Am leichtesten lassen sich die Rohre montieren indem man die Folie etwa 2-4 mm kürzer als der doppelte Umfang abschneidet, dann die Folie aufwickelt und ins äußere Rohr einführt und danach das innere Rohr durch ständiges Drehen gegen die Wickelrichtung der Folie langsam einschiebt.

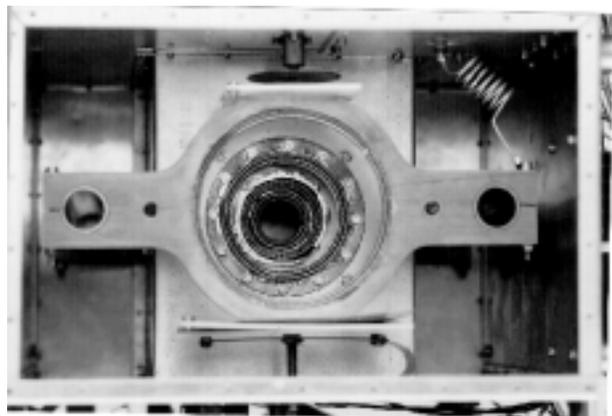


**Picture 9: Parts of the resonator (without Part R 2 und Part R 3)
Einzelteile des Resonators (ohne Part**

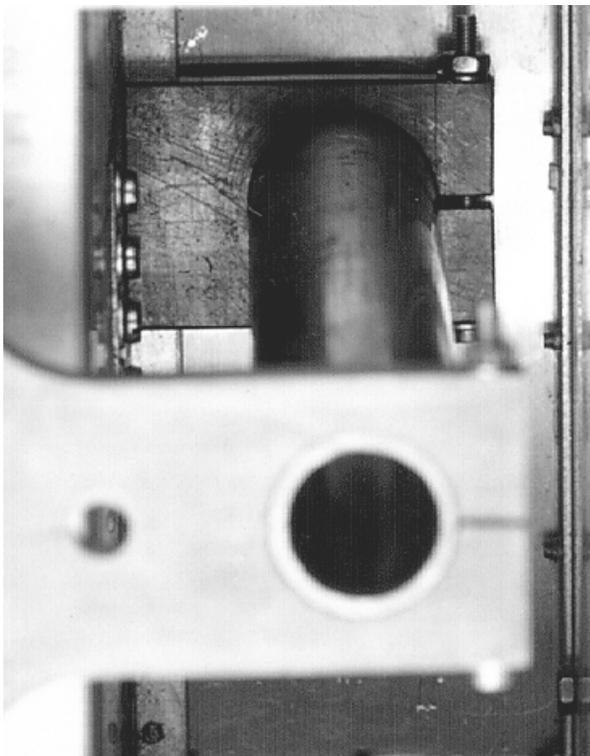
Ich möchte aus eigener Erfahrung darauf hinweisen daß man die Durchmesser dieser Rohre beim Kauf kontrollieren sollte. Ich bin mehrfach darauf reingefallen und hatte Kombinationen, die keinen 1mm breiten Luftspalt frei ließen. Auch andere Durchmesserkombinationen sind natürlich möglich, allerdings müssen dann die Klemmteile ebenfalls angepasst werden.



Picture 10: Top view of the 144MHz amplifier with tube inserted
Draufsicht der 144MHz-Endstufe mit eingesetzter Röhre



Picture 11: Top view of the 144MHz-amplifier without tube
Draufsicht der 144MHz-Endstufe ohne Röhre



Picture 12: View of one mounted resonator tube
Resonatorrohr im montierten Zustand

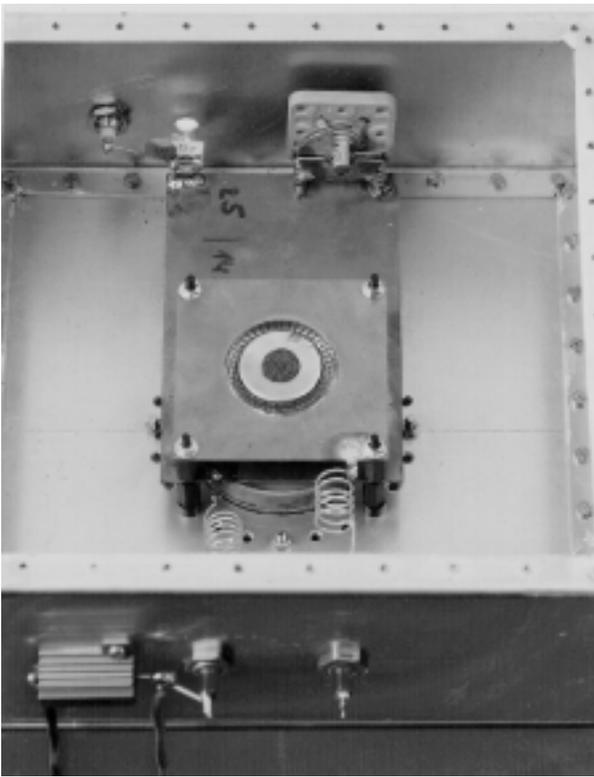
Das masseseitige Ende der beiden Resonatorrohre wird wieder über ein Frästeil (Part R 5) mit dem Röhrenpodest verschraubt. Dieses Teil kann entlang des Resonators und Podests in 10mm-Schritten versetzt werden und bestimmt grob die Eigenresonanz des Kreises. W6PO beschreibt im Original die genaue Vorgehensweise.

Alle Verschraubungen wurden über viele Schrauben vorgenommen, oder es wurden direkte Passungen ausgearbeitet, um Übergangswiderstände so klein wie möglich zu halten.

Natürlich ist es auch möglich den Anodenresonator genauso aufzubauen wie ihn W6PO im Original beschreibt. Dann wird die Endstufe um 80mm kürzer. Übrigens war mein Fehler daß ich bei der Länge meines Resonators die Anschlußschleife bis zu den Tonnenkondensatoren nicht berücksichtigt hatte und mein Resonator daher anfangs zu kurz war. Ich mußte bei meinem Aufbau den Resonator bis in den Luftdurchlaß unten am Podest verlängern, hier in der Beschreibung ist diese Verlängerung bereits eingearbeitet.

2.3.3 Eingangsschaltung

Die Eingangsbeschaltung habe ich mit einer Ausnahme vom Original übernommen. Zuerst habe ich die Spule L1 wie von W6PO vorgeschlagen mit einem Kern abgleichbar gemacht, dort aber schon Probleme mit dem genauen Wert mangels Vergleichstyp bekommen. Zudem wurde der Kern bei Vollaussteuerung zu heiß und der Spulenträger schmolz. Da aber die Anpassung stimmte, maß ich die Induktivität mit einem Grid-Dipper und wickelte eine Luftspule aus 1mm CuAg, deren Länge ich von außen mit einem Holzstäbchen, durch dessen Ende ein Ende der Spule läuft, abgleichen kann. Damit ist die Eingangsanpassung SWR 1:1. Ebenfalls möglich ist aber die Eingangsschaltung nach DJ9RE⁴. Wichtig erscheint mir der Trennkondensator C1 (1nF/1kV) direkt am Eingang, der die Steuerstufe gegen irgendwelche DC schützt.



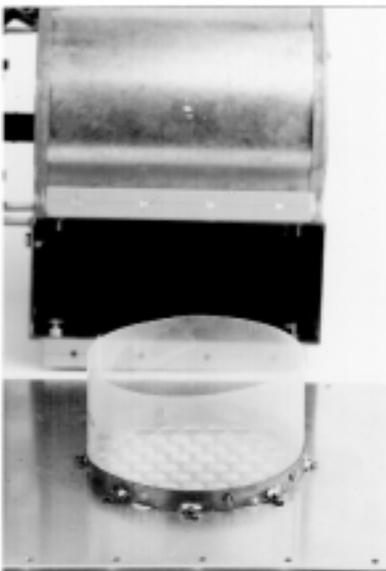
Picture 13: 70cm input circuit with feedthrough capacitors C9/C10 and protection resistor R1
70cm Eingangskreis mit Durchführungskond. C9/C10 und Schutzwiderstand R1

Die Heizspannung wird über zwei ineinander (bifilar) gewickelte Spulen L3 und L4 zugeführt. Zwei Durchführungskondensatoren blocken gegen Masse ab. Wichtig ist auch hier Kondensatoren mit einigermaßen Spannungsfestigkeit zu verwenden. Mir ist es passiert daß nach einem Hochspannungsüberschlag einer der Kondensatoren einen Thyristoreffekt zeigte, damit die von außen abgleichbare Gittervorspannung nicht mehr wie vorgesehen wirkte und ich mir mehrere Wochen lang das DC-Verhalten der Endstufe nicht mehr erklären konnte.

Direkt am Ausgang des Durchführungskondensators, der an die Kathode angeschlossen ist, sichert ein 10k/10W-Widerstand die Gitterspannung gegen unbeabsichtigtes Hochlaufen, z. B. bei defekter Gitterspannungsstabilisierung oder auch nur Kabelbruch, ab.

Picture 13 zeigt die Lösung der 70cm-Version (übrigens eine Kopie der von CT1DMK vorgeschlagenen Speisung). Wenn man sich die Streifenleitung wegdenkt und stattdessen beide Bleche quadratisch macht, erhält man die für die 144MHz-Version vorgeschlagene Lösung. Die HF-Zuführung geschieht wie im Schaltplan angeben.

2.4 Luftführung

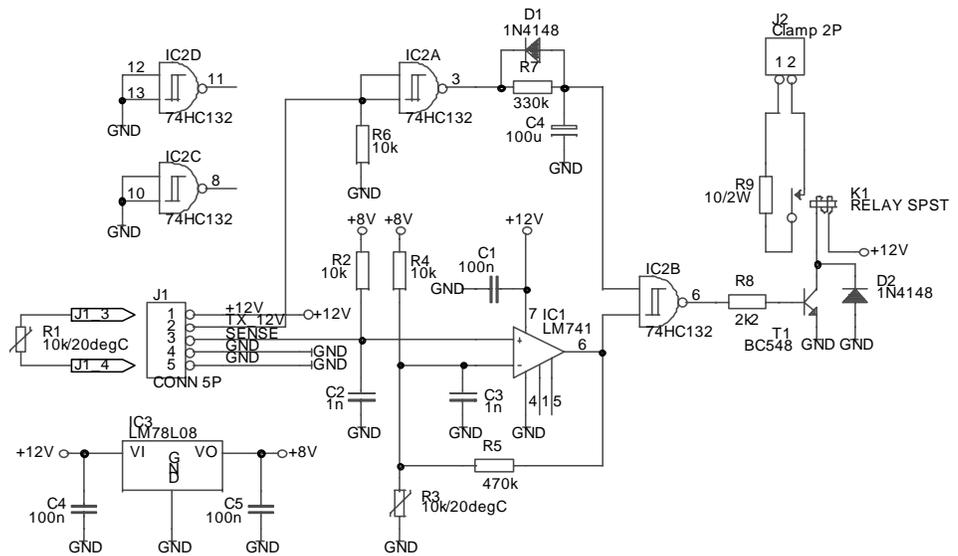


Die GS35b ist eine Röhre, die sich nach meiner Erfahrung ganz anders verhält als ich das von der 4CX250 kenne. Die 4CX250 erzeugt einen sehr heißen Abluftstrom ohne lange Verzögerung nach Sendebeginn. Dagegen besitzt die GS35b eine sehr große thermische Trägheit, d.h. die Wärme wird erst einige Zeit später an die Kühlluft abgegeben. Vorteilhaft ist daß man durch die GS35b sehr viel Luft blasen kann. In meinem Fall verwende ich ein Radialgebläse mit 15cm Breite und 17cm Durchmesser. Das thermische Verhalten der GS35b muß bei der Kühlung berücksichtigt werden. In meiner Endstufe gibt es zwei Lüfterstufen, einmal für Standby ein leichter Luftstrom, und dann beim Senden volle Luftleistung, wobei diese zum einen mit 30s Nachlauf beim Zurückschalten auf Empfang und zusätzlich durch eine Temperaturmessung abgesichert ist. Die Lüftersteuerschaltung (Schematic 2) berücksichtigt diese Punkte.

Ich empfehle weiter auf den Konus zwischen der GS35 und dem Radiator etwas Wärmeleitpaste aufzutragen. Damit wird die Kühlung gerade bei dem bei uns zutreffenden intermittierenden Betrieb erheblich besser.

Picture 14: Chimney for air outlet, background is the blower
Kamin am Luftausgang, im Hintergrund das Gebläse

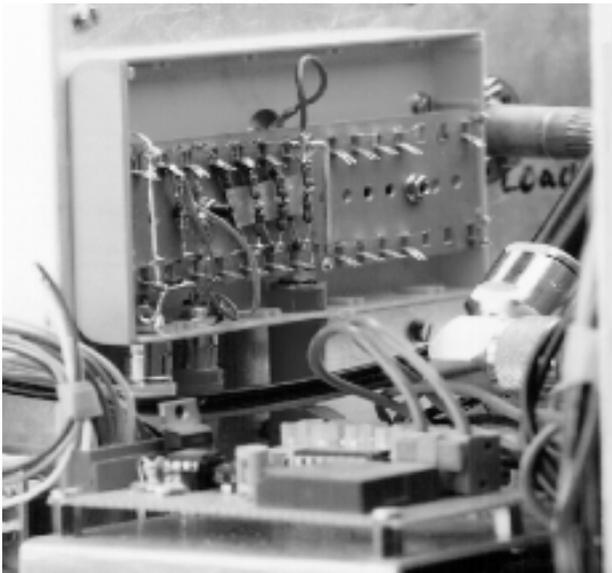
Mit Hilfe des NTC-Widerstands R1 und IC1 wird die Ablufttemperatur überwacht. R3 gibt einen Referenzwert der Umlufttemperatur und erlaubt damit eine gewisse Differenztemperaturmessung. Zuvor ist es immer wieder vorgekommen daß bei warmer Außentemperatur der Lüfter dauernd auf hoher Stufe lief. Der PTT-Kontakt geht auf das mit R7 und C4 aufgebaute RC-Glied und sorgt dafür, daß der Lüfter beim Zurückschalten auf Empfang noch ca. 30s nachläuft, um die Röhre wie oben erwähnt nachzukühlen, wenn die gesamte Wärme noch nicht abgegeben wurde.



**Schematic 2: Blower Control Circuit
Gebläsesteuerung**

Die Luft wird vom Gebläse in das Innere des Röhrenpodests geblasen und kühlt damit zuerst die Kathode der Röhre. Durch ein durch Bohrungen realisiertes Lochblech am unteren Ende des Podests fließt die Luft weiter an den beiden Resonatoren vorbei nach oben. Durch einen Kamin zwischen Röhre und Deckel (Picture 14) wird die Luft gezwungen das Gehäuse durch den Radiator der GS35b zu verlassen. Durch diese Art der Luftführung werden alle Teile der Endstufe ständig gekühlt und auf Raumtemperatur gehalten. Dies soll das thermische Verhalten stabilisieren. Der Kamin besteht aus einem Stück Hostafan-Folie 0.25mm. Am Deckel ist er an einen zu einem Ring gebogenen Kupferblechstreifen mit 10mm Breite geschraubt, der wiederum über angelötete M3-Muttern mit dem Deckel verschraubt ist.

2.5 Gleichstromverschaltung



**Picture 15: High voltage input with voltage divider
Hochspannungseingang mit Spannungsteiler**

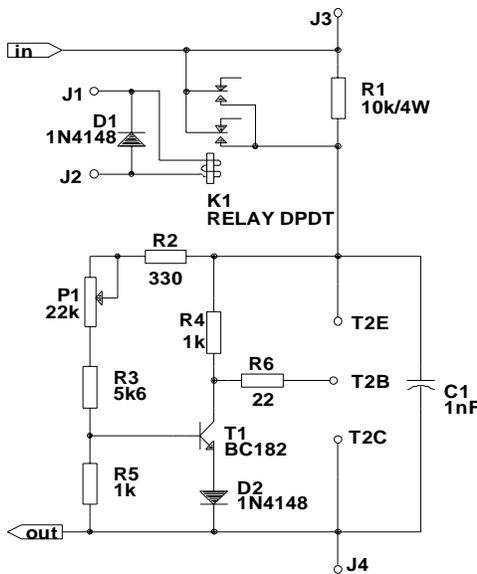
Einige Vorschläge für die Gleichspannungsseite der Endstufe habe ich aus K1FO's Vorschlag für eine 8877⁵ entnommen. Die Hochspannung wird wie im Schaltbild Schematic 1 gezeichnet über einen Durchführungskondensator zugeführt. Dieser ist durch ein kleines Kunststoffgehäuse (Picture 15) abgedeckt, welches einerseits zur Befestigung der DC-Eingangsbuchse J5 dient, andererseits den Spannungsteiler (R5-R18, D6, D7, J3 und J4) aufnimmt. Dieser Spannungsteiler ist so bemessen, daß er 1mA Strom bei 5000V Anodenspannung liefert und besitzt zwei Abzweigungen, um unabhängig das Meßgerät auf der Frontplatte und die Überwachung auf der Steuerungsplatine zu versorgen.

Die Messung des Kathoden- und Gitterstroms ist so ausgeführt daß über separate Meßwiderstände R2 und R3 ein kleiner Teilstrom dem Anzeigeinstrument zugeführt wird. Damit führt ein Ausfall eines Meßinstruments oder einer Verbindung nicht unmittelbar zu - möglicherweise ernsthaften - Problemen. Alle Meßinstrumente sind über jeweils zwei antiparallele Dioden 1000V/3A geschützt. Ferner schützt ein 200Ohm/10W-Widerstand die Masseleitung der Hochspannungsversorgung gegen unbeabsichtigtes Hochlaufen. Dieser Widerstand soll daher möglichst nahe am B-minus-Eingang auf Masse angeschlossen sein.

2.5.1 Steuerungs- und Überwachungsschaltung

- Aus Platzgründen nicht im Skript von Weinheim 1998 enthalten - siehe ⁶

2.5.2 Gittervorspannungserzeugung



Die Gitterspannung wird über eine aktive, einstellbare, Schaltung erzeugt (siehe Schematic 3). Sie wurde von einer kommerziell erhältlichen Schaltung für 2C39-Röhren⁷ abgeleitet. Die neu aufgelöste Schaltung besitzt bereits ein Relais zur Überbrückung des Vorwiderstands beim Senden, welches auf den Fotos noch extern angeschlossen ist.

In der Schaltung nicht gezeichnet ist ein extern an die Punkte T2E, T2B und T2C angeschlossener PNP-Leistungs-Darlington MJ4032 in TO3-Gehäuse. Dieser wird auf einen Kühlkörper montiert, der so dimensioniert sein muß, daß 50W Dauerleistung problemlos verarbeitet werden können. Ggf. erlauben zwei Bohrungen hinter dem Kühlkörper daß eine geringe Luftmenge aus dem Anodenresonator den Kühlkörper zusätzlich kühlt.

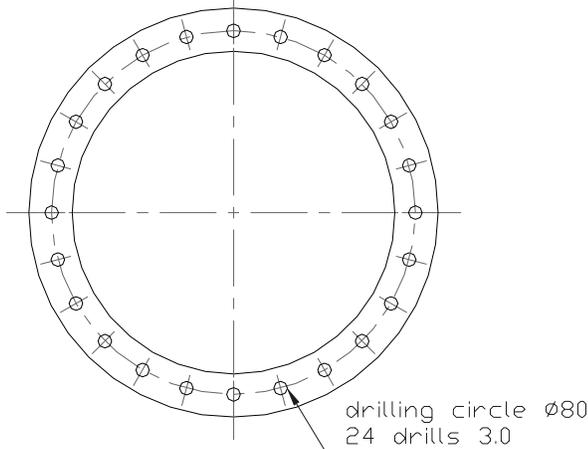
Der Widerstand R3 kann verwendet werden um den Bereich der Gitterspannung grob vorzubestimmen, ein größerer Widerstand führt auch zu einer höheren Gitterspannung.

**Schematic 3: Grid bias supply
Gittervorspannungserzeugung**

Genaue Angaben und eine Leiterplatte findet man unter ⁸.

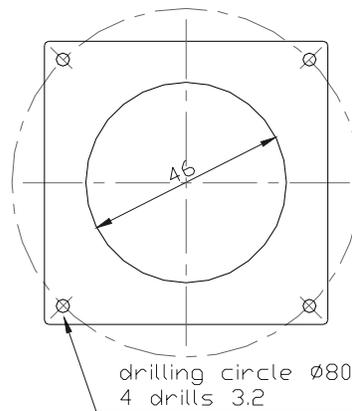
2.6 Röhrensockel / Tube Socket

Copper 1mm, ID 71mm, ØD 90mm

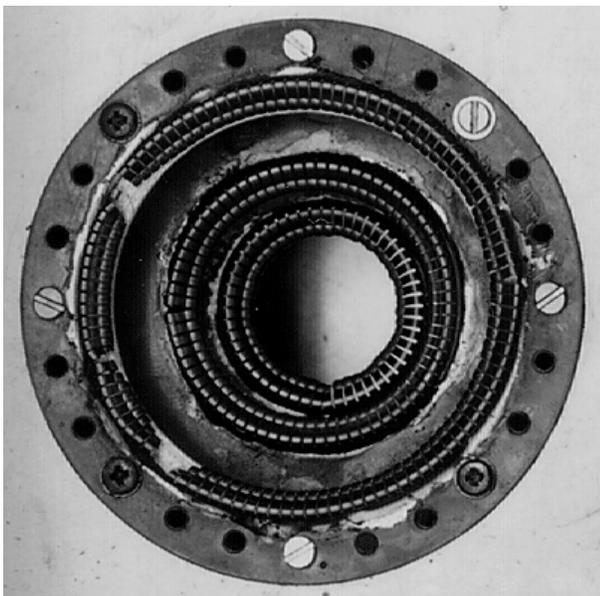


**Part S 1: grid contact ring
Gitterkontaktring**

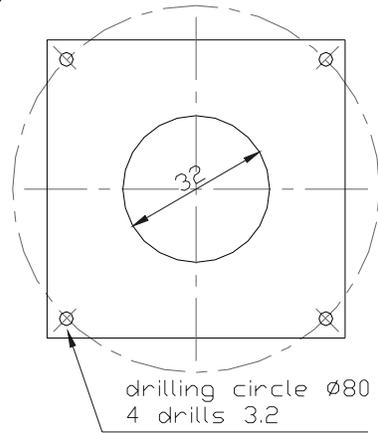
Copper 1mm, 65mmX65mm



**Part S 2: Cathode Contact
Kathodenkontaktring**



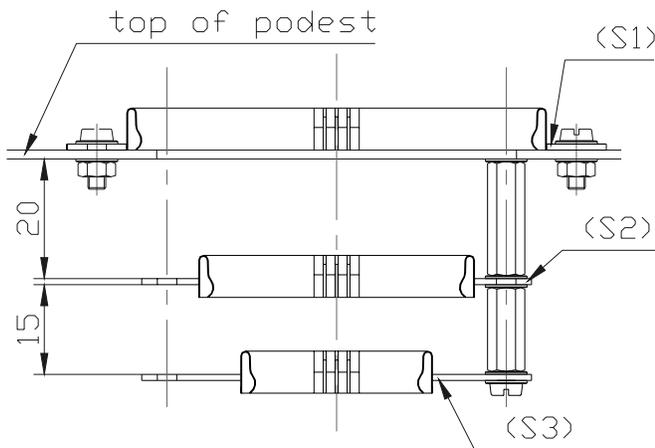
Copper 1mm, 65mmX65mm



Part S 3: Filament Contact Heizkontaktring

**Picture 16: Top view of the tube socket
Draufsicht auf den Röhrensockel**

Wichtig bei einer Endstufe in Grounded-Grid-Schaltung ist eine gute Masseverbindung des Gitters. Aufgrund ihres mechanischen Aufbaus erlaubt die GS35b am Gitter eine Trennung der mechanischen Fassung und elektrischen Kontaktierung. Die GS35b sitzt mit einem Wulst in einem Loch mit 60.2mm Durchmesser fest auf dem Podest und wird elektrisch über Fingerstock kontaktiert. Dazu dient ein Ring aus Kupferblech mit Außen- $\varnothing 90\text{mm}$ und Innen- $\varnothing 72\text{mm}$, an den innen Fingerstock angelötet ist (Part S 1). Anders als bei den beiden anderen Kontaktblechen ist hier der Fingerstock am unteren Ende bündig angelötet. Dazu wird der Kupferferring auf eine ebene, hitzebeständige, Fläche gelegt (z. B. eine Keramikfliese) und der Fingerstockstreifen eingelegt. Dann beginnt man mit dem Löten in der Mitte des Streifens und arbeitet sich langsam auf die Enden zu. Es ist sowenig Zinn wie möglich zu verwenden. Der Ring wird mittels 24 Schrauben M3x10, die einen Lochkreis $\varnothing 80\text{mm}$ bilden, mit dem Podest verschraubt. Auf der Gegenseite der Schrauben sitzen wegen der größeren mechanischen Festigkeit Muttern.



**Picture 17: Crossview of the tube socket
Querschnitt des Röhrensockels**

Die Kathode wird mit einem quadratischen Kupferblech 65mm x 65mm kontaktiert (Part S 2). Der Fingerstockstreifen wird mittig auf das Blech gelötet. Vor dem Bohren/Sägen des großen Loches ist ein Lochkreis $\varnothing 80\text{mm}$ für die vier Befestigungslöcher in den Ecken anzuzeichnen.

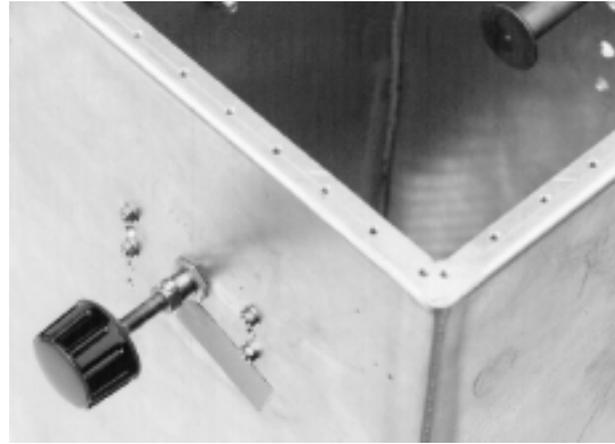
Analog zur Kathode wird der Anschluß für die Heizung ausgeführt (Part S 3).

Der Kathodenkontaktring wird mit vier 20mm langen Kunststoff-Distanzbolzen M3 (Gewindestutzen / Gewindebuchse) an den vier passenden Bohrungen des Gitterkontaktrings angeschraubt, und darauf mit weiteren vier 15mm langen Distanzbolzen der Heizkontaktring geschraubt.

2.7 Abstimmung (Tune) - C5 Assembly



Picture 18: Tune Rotor - Inside View



Picture 19: Outer side of tune, Load Rotor in the background
 Außenansicht des Tune-Kondensators, im Hintergrund Load-Rotor

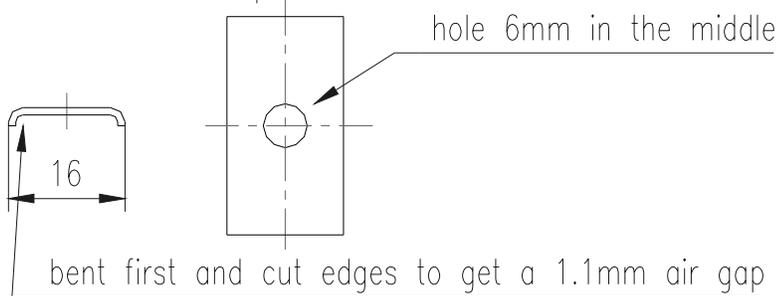
Part T 1: Tune rotor

Kupferblech 1 mm dick, 60 mm x 100 mm
 Copper sheet, 1 mm thick, 60 mm x 100 mm

Copper, 1mm thick

side view

top view



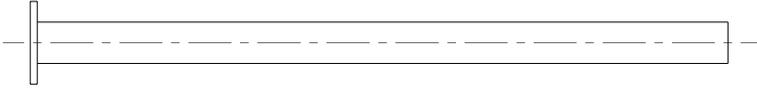
Part T 2: Tune spindle screw clutch Kupplung für Tune-Abstimmerschraube

6mm axis feedthrough



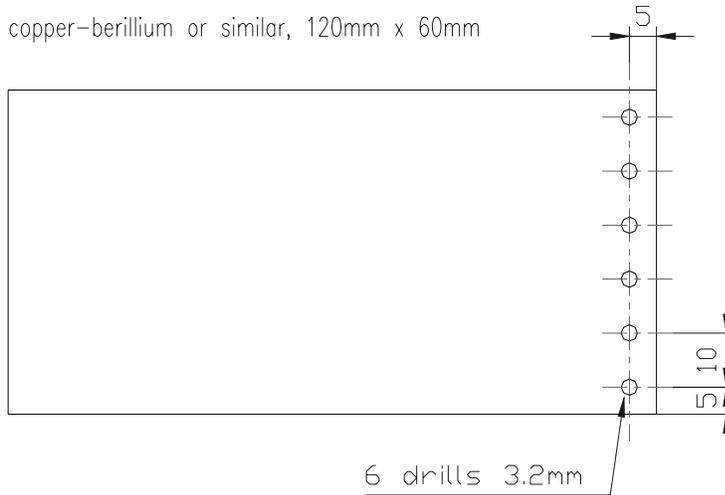
Part T 3: Spindle Screw Feedthrough Achsdurchführung

Screw M6x80 (V2A) with head cut down to 1mm



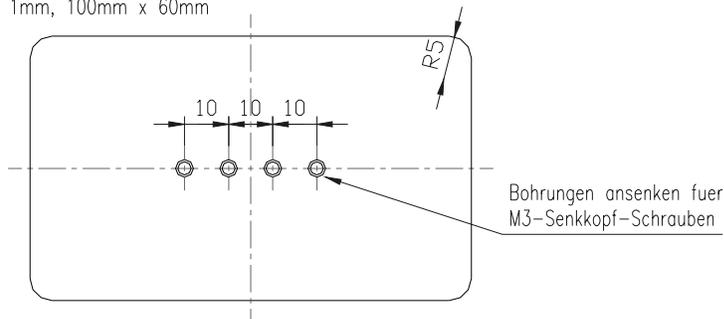
**Part T 4: Spindle Screw
Spindelschraube**

copper-berillium or similar, 120mm x 60mm



**Part T 5: Ground strip
Massekontaktstreifen**

Copper 1mm, 100mm x 60mm



Part T 6: Tune stator

Part T 7: Tune isolation

Teflon sheet, 120 mm x 80 mm

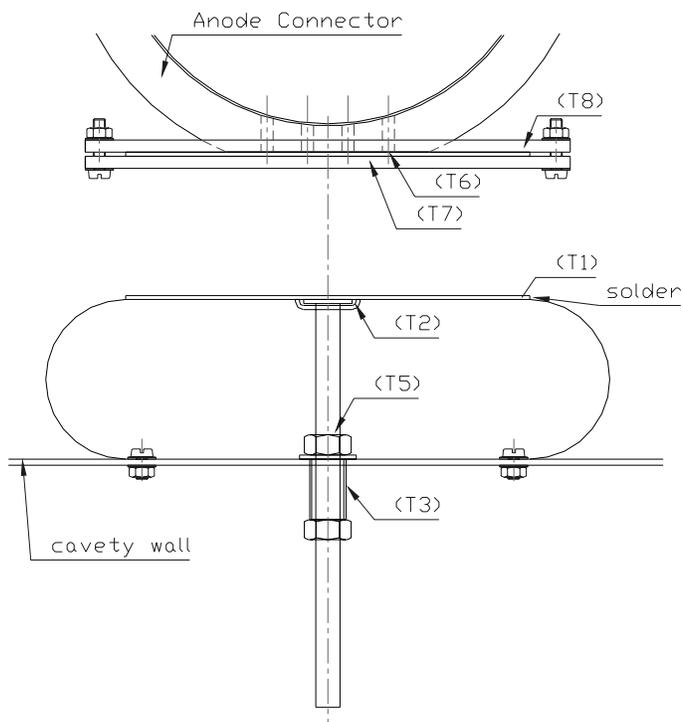
Part T 8: Tune isolation holder; 2 Stück - 2 pieces

Teflon sheet, 120 mm x 35 mm

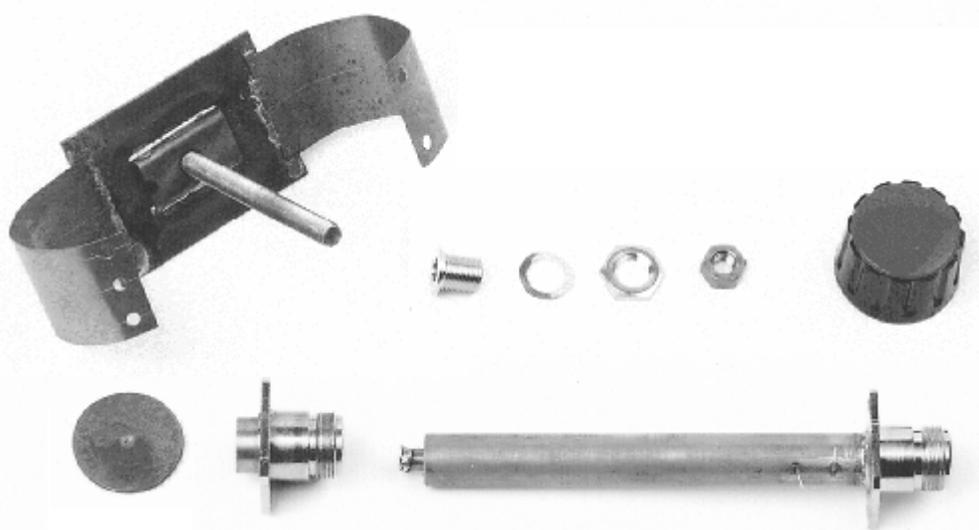
Der Abstimmkondensator C5 zwischen Anodenresonator und Masse erschien mir schon im Original zu kompliziert. Ich versuchte diesen zu vereinfachen und gelangte zu der in den Fotos erkennbaren Version.

Für die 70cm-Version und hier für die Dokumentation der 2m-PA habe ich diesen noch weiter vereinfacht, vor allem hat mich das am Rotor hervorstehende Ende der Betätigungsschraube gestört. Diese habe ich dann hinter das Rotorblech verlagert und gelangte zu der dokumentierten Version. Die Federblechstücke (Part T 5) haben zwei Aufgaben: Sie kontaktieren den Rotor gegen Masse und spannen die Abstimmsschraube vor, zu letzterem sind sie ggf. etwas zurechtzubiegen. Das Statorblech (Part T 6) ist mit vier Senkkopfschrauben am Anodenkontaktstück (Part R 1) befestigt, dazu sind die Bohrungen am Blech und ggf. auch am Frästeil entsprechend tief anzusenken.

An der Tune-Abstimmung gab es anfangs einige Hochspannungsüberschläge. Daher habe ich auf den Stator von C5 eine 3mm dicke Teflonplatte (Part T 7) montiert, die die Ränder des Kondensators um 10mm überragt. Seitdem treten keine Überschläge mehr auf.

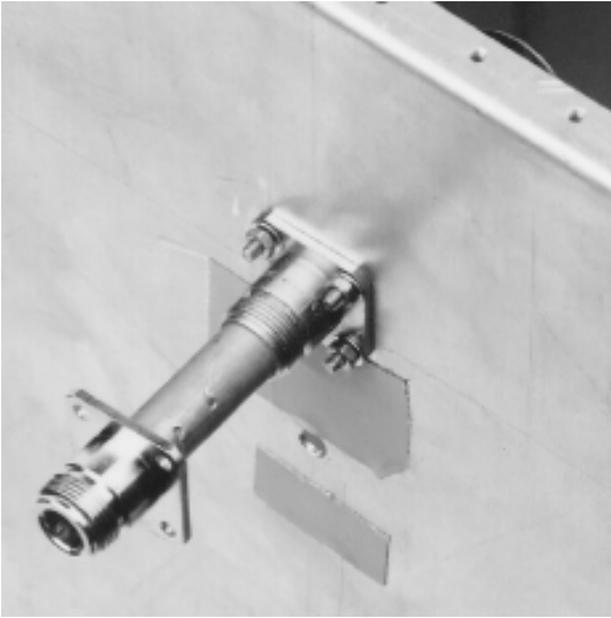


**Picture 20: View of the tune assembly
Ansicht der Tune-Abstimmung**

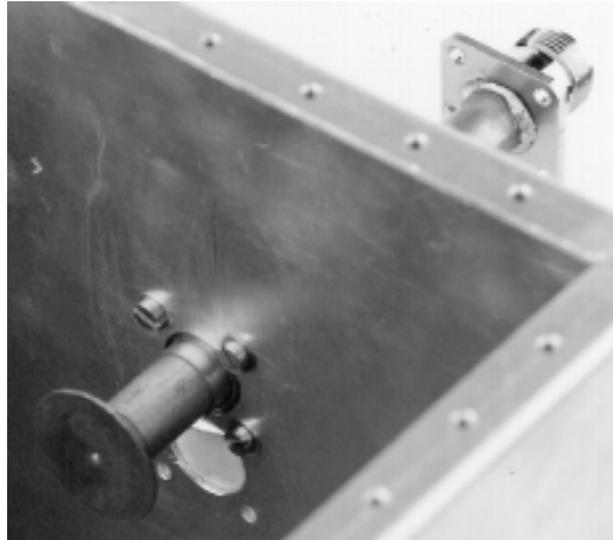


**Picture 21: Parts of the Load- and Tune-Rotor
Einzelteile des Load- und Tune-Rotors**

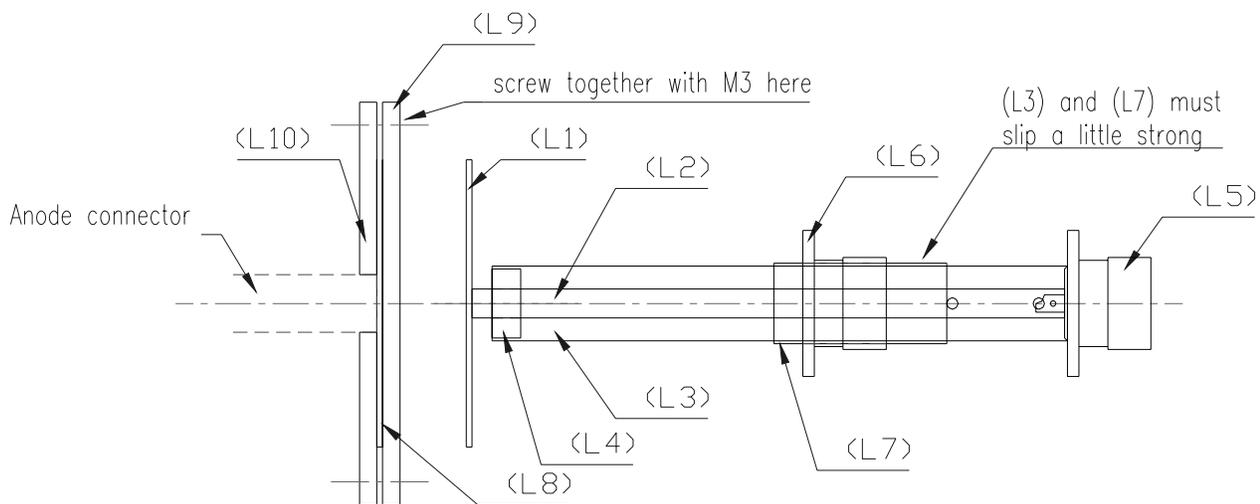
2.8 Auskoppelung (Load) - C6 Assembly



Picture 22: Output of load capacitor
Außenansicht des Load-Kondensators



Picture 23: Load assembly mounted
Load im montierten Zustand



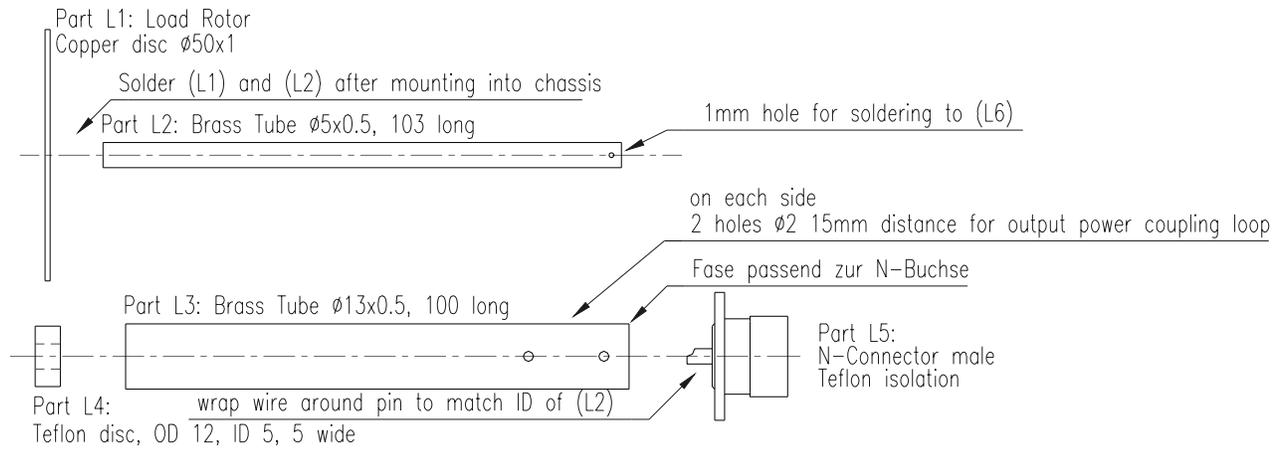
Picture 24: View of the load assembly
Ansicht der Load-Abstimmung

Die Auskoppelung geschieht über ein 10cm langes Stück selbstgebaute 50Ohm-Leitung, an dessen äußeres Ende zwei kleine Richtkopplerschleifen zur Messung Ausgangsleistung und reflektierten Leistung montiert sind. Die Leitung wird über eine zu einem Flansch umgebauten N-Buchse gehalten. Das Statorblech (Part L 10) wird wie beim Tune-Kondensator mit vier Senkkopfschrauben am Anodenkontaktstück (Part R 1) befestigt.

Im Betrieb ist es nicht nötig die Auskoppelung nachstimmbar zu haben, diese wird bei der ersten Inbetriebnahme einmal abgestimmt und alles weitere über den Tune-Kondensator vorgenommen.

Auch hier ist zum Schutz gegen Hochspannungsüberschläge vor den Stator eine 3mm dicke Teflonplatte montiert.

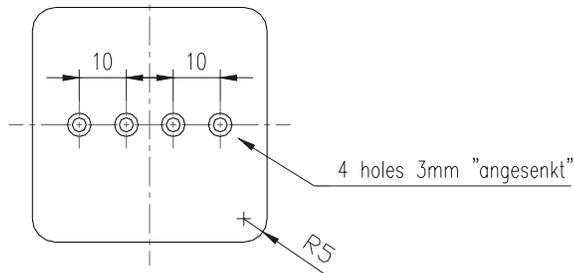
Bei der Montage dieser Einheit sollte vor dem Auflöten des Innenleiters auf die Buchse um den Anschluß der N-Buchse ein dünner, nicht isolierter, Draht gewickelt werden, damit dessen Außendurchmesser mit dem Innendurchmesser des Innenleiters übereinstimmt und damit dieser zentrisch sitzt.



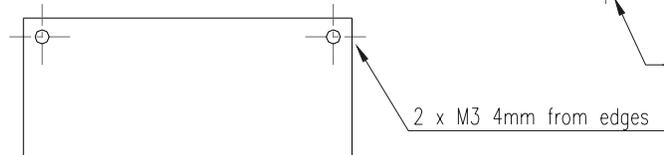
Part L7: Brass Tube $\varnothing 14 \times 0.5$, 30 long



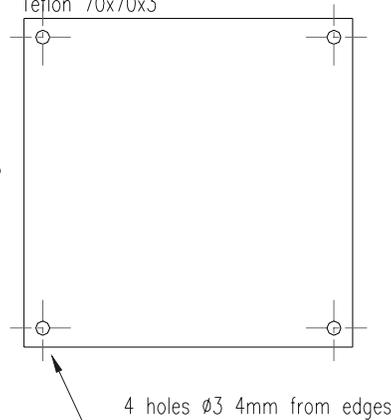
Part L9: Load Stator
Copper plate $50 \times 50 \times 1$



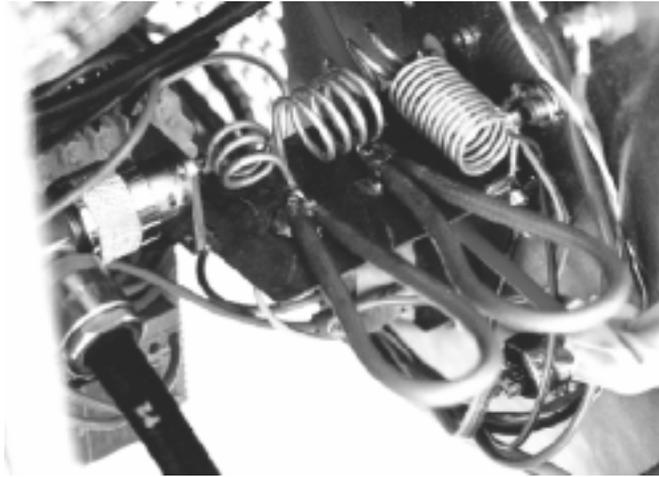
Part L11: Stator isolation holder - 2 times
Teflon $70 \times 30 \times 3$ or thinner



Part L10: Stator isolation
Teflon $70 \times 70 \times 3$



2.9 Tiefpaßfilter



Picture 25: Output low pass filter
Ausgangstiefpaßfilter

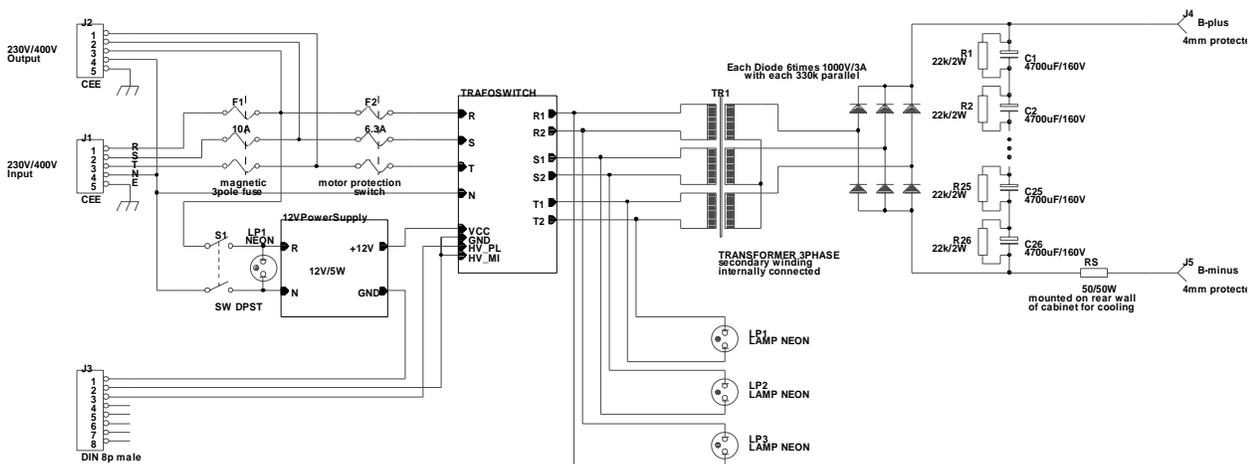
Da die Endstufe vornehmlich dann eingesetzt wird wenn auch das 70cm-Band aktiviert ist, habe ich ein Tiefpaßfilter vorgesehen. Dieses ist nach ON5FF⁹ aufgebaut. Nicht gezeichnet ist, daß ich zur Sicherheit auch am Eingang ein solches verwende.

Das Filter ist freitragend auf einer Kupferplatte (ca. 60mm x 50mm groß) aufgebaut, an deren beiden Längsseiten die N-Buchsen gelötet sind. Der Abstand des Innenleiters der Koax-Kondensatoren von der Grundplatte sollte möglichst groß werden, um HF-Überschläge an dieser Stelle auszuschließen.

Natürlich wäre es deutlich besser wenn diese Einheit ein einem Gehäuse untergebracht würde. Probleme sind in bislang 1 ½ Jahren Betrieb noch nicht aufgetreten.

2.10 Stromversorgung

Zur Stromversorgung der Endstufe ist außer dem im Schaltbild (Schematic 1) gezeichneten Trafo TR1 ein Netzteil für die Hochspannung erforderlich. Ich verwende dazu ein Dreiphasen-Netzteil mit Dauerleistung 3,2kVA und 80kg Gewicht. Die Ausgangsspannung ist über primäre Stern-/Dreieckschaltung des Trafos zwischen 3000V und 4500V schaltbar. Abgriffe auf der Primärseite des Trafos erlauben auf der Sekundärseite eine Variation um +/-200V.



Schematic 4: High Voltage Power Supply
Hochspannungsnetzteil

Zur Stern-/Dreieckschaltung und zum Sanftanlauf des Trafos verwende ich ebenfalls eine selbst entworfene Leiterplatte (siehe 0). Der Sanftanlauf geschieht über drei 50Ohm/11W-Widerstände, die nach 5s überbrückt werden. Der Transformator ist weiterhin mit einem 10A-Dreiphasenautomat und einem 6,3A-Motorschutzschalter gegen Überlastung abgesichert.

Der Gleichrichter besteht aus 6 Zweigen zu je 8 Dioden 1000V/3A, die mit 330kOhm Parallelwiderständen symmetriert werden.

Der Kondensatorblock richtet sich je nach vorhandenen Mitteln. Die von mir verwendeten 26 Kondensatoren habe ich günstig auf dem Flohmarkt erhalten. Eine wichtige Erfahrung ist, daß man zu jedem Kondensator einen Endladewiderstand vorsieht, der diesen innerhalb von ca. 2 Min entladen kann. Ganz wichtig ist, daß dieser separat an die Pins des Kondensators angeschlossen sein soll. Der hohe Strom nach einem Über-

schlag hatte bei mir einmal alle Leiterbahnen der verwendeten Platine aufgelöst, und die damals noch dort angeschlossenen Entladewiderstände waren außer Funktion. Seitdem schließe ich die Entladewiderstände separat an.

Am Minuspol der Hochspannung sorgt ein 50Ohm/50W-Widerstand für eine Strombegrenzung im Fall eines Kurzschlusses oder Überschlags. Da zwischen Minus und Gehäuse nur eine geringe Spannungsdifferenz herrscht, kann der Widerstand zur besseren Kühlung an die Gehäusewand geschraubt werden.

Aufgrund der doch recht hohen Verlustleistung innerhalb des Netzteils, allein der Trafo wird im Betrieb ca. 60° warm, sorgt ein leise laufender Lüfter für eine leichte Kühlung des Gehäuses.

Teuer bezahlt habe ich eine Erfahrung, daß man das Gehäuse des Netzteils und das der Endstufe mit einem dicken Kabel (mind. 16qmm) verbinden muß. Dieses wird nicht gesteckt, sondern über M6 oder M8-Schrauben geschraubt. Im Falle eines Überschlags kann dann ein Ausgleichsstrom über diese Kabel und nicht über andere Wege fließen. Über diese anderen Wege gingen bei mir zwei PCs, ein Funkgerät und möglicherweise auch ein MRF141G der Treiberstufe defekt.

2.10.1 Trafo-Einschaltverzögerung

- Aus Platzgründen nicht im Skript von Weinheim 1998 enthalten -

2.11 Leistungsdaten

2.11.1 Wärmeverhalten

Nach inzwischen vielen Einsätzen kann ich bestätigen daß es sich bei der GS35b um eine sehr robuste Röhre handelt. Die Endstufe zeigt bei mir keine Wäremedrift. Selbst bei längeren Sendedurchgängen oder im Metorscatter-Betrieb gibt es keine Schwankungen der Ausgangsleistung. Ebenfalls richtig erwies sich die Lüfterschaltung, die die Röhre nach einem Sendedurchgang nachkühlt um die thermische Trägheit auszugleichen.

2.11.2 Abstimmung

Die Endstufe ist beim Abstimmen absolut unkritisch und kam selbst bei offenem Eingang oder Ausgang sowie bei vertauschten Anschlüssen noch nie ins Schwingen. Sie benötigt lediglich bei Frequenzwechsel über 300kHz, z.B. vom CW ins SSB-Segment geringfügiges Nachstimmen des Anoden-Tune. Load oder der Eingang mußten nie abgestimmt werden. Lediglich beim Wechsel der Anodenspannung muß Anoden-Load nachgestimmt werden, was aufgrund der Änderung der Ausgangsimpedanz der Röhre ja auch erklärbar ist.

Neutralisationsmaßnahmen habe ich keine vorgenommen.

2.11.3 Gemessene Leistungen:

Die Verstärkung der Endstufe wurde bei zwei Anodenspannungen (zuerst Hochspannungstrafo primär in Sternschaltung, dann in Dreieckschaltung) gemessen. Am Eingang war ein DJ2000 Wattmeter angeschlossen, am Ausgang ein DJ9BV-Wattmeter mit einem EME2326-Koppler.

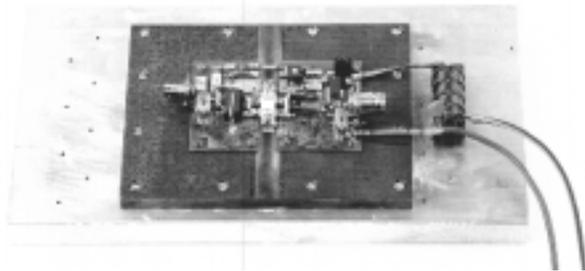
Output power at low plate voltage $U(\text{Anode0})=2800\text{V}$, $I(\text{Anode0})=150\text{mA}$							
Input Power	Anode Current	Anode Voltage	Grid Current	Output Power	Power Gain	DC Input Power	Efficiency
20 W	400 mA	2600 V	60 mA	450 W	13,5 dB	1040 W	43%
50 W	550 mA	2500 V	180 mA	850 W	12,3 dB	1375 W	62%
100 W	700 mA	2450 V	260 mA	1200 W	10,8 dB	1715 W	70%
150 W	900 mA	2400 V	450 mA	1500 W	10,0 dB	2160 W	69%

Output power at high plate voltage $U(\text{Anode0})=4500\text{V}$, $I(\text{Anode0})=150\text{mA}$							
Input Power	Anode Current	Anode Voltage	Grid Current	Output Power	Power Gain	DC Input Power	Efficiency
20 W	450 mA	4400 V	0 mA	400 W	13,0 dB	1980 W	20%
50 W	550 mA	4350 V	80 mA	1200 W	13,8 dB	2393 W	50%
100 W	750 mA	4300 V	200 mA	1900 W	12,8 dB	3225 W	59%
150 W	1000 mA	4200 V	250 mA	2500 W	12,2 dB	4200 W	60%
200 W	1200 mA	4200 V	300 mA	3250 W	12,1 dB	5040 W	64%

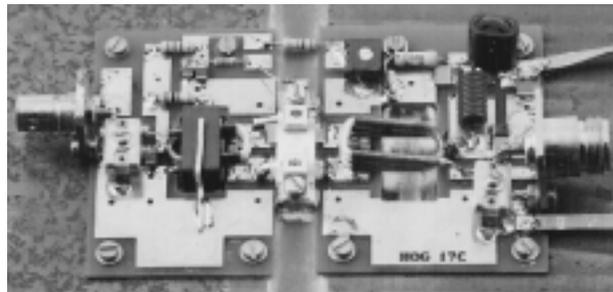
Der Sprung in der Verstärkung (bei $P_{in}=50\text{W}/U(A)0=4500\text{V}$) ist nicht auf Nonlinearitäten oder sonstige Nebeneffekte zurückzuführen, sondern darauf, daß ich versucht habe bei jeder Messung den Ausgangskreis auf das Optimum einzustellen. Dies gelang eben einmal besser, einmal schlechter.

3 Treiberstufe mit MRF141G

Zur Ansteuerung der Endstufe ist eine relativ hohe Leistung nötig. Damit das Signal sauber bleibt sollte man hierzu keine Schaltung verwenden, die gerade noch die GS35b ansteuern kann sonder genug Reserven haben. Ich entschied mich für einen MRF141G mit 28V Betriebsspannung und max. 350W Output bei 15W Input. Eine bessere Lösung wäre sicher noch der MRF151G gewesen, der mit 50V Betriebsspannung arbeitet, da ich aber schon ein passendes 28V-Netzteil hatte, fiel die Wahl auf die niedrigere Betriebsspannung. Eine weitere Röhre aus Steuerstufe wollte ich wegen der damit verbundenen zusätzlichen Abstimmung und des komplizierteren Designs nicht verwenden.



Picture 26: **Driver Stage**
Treiberstufe

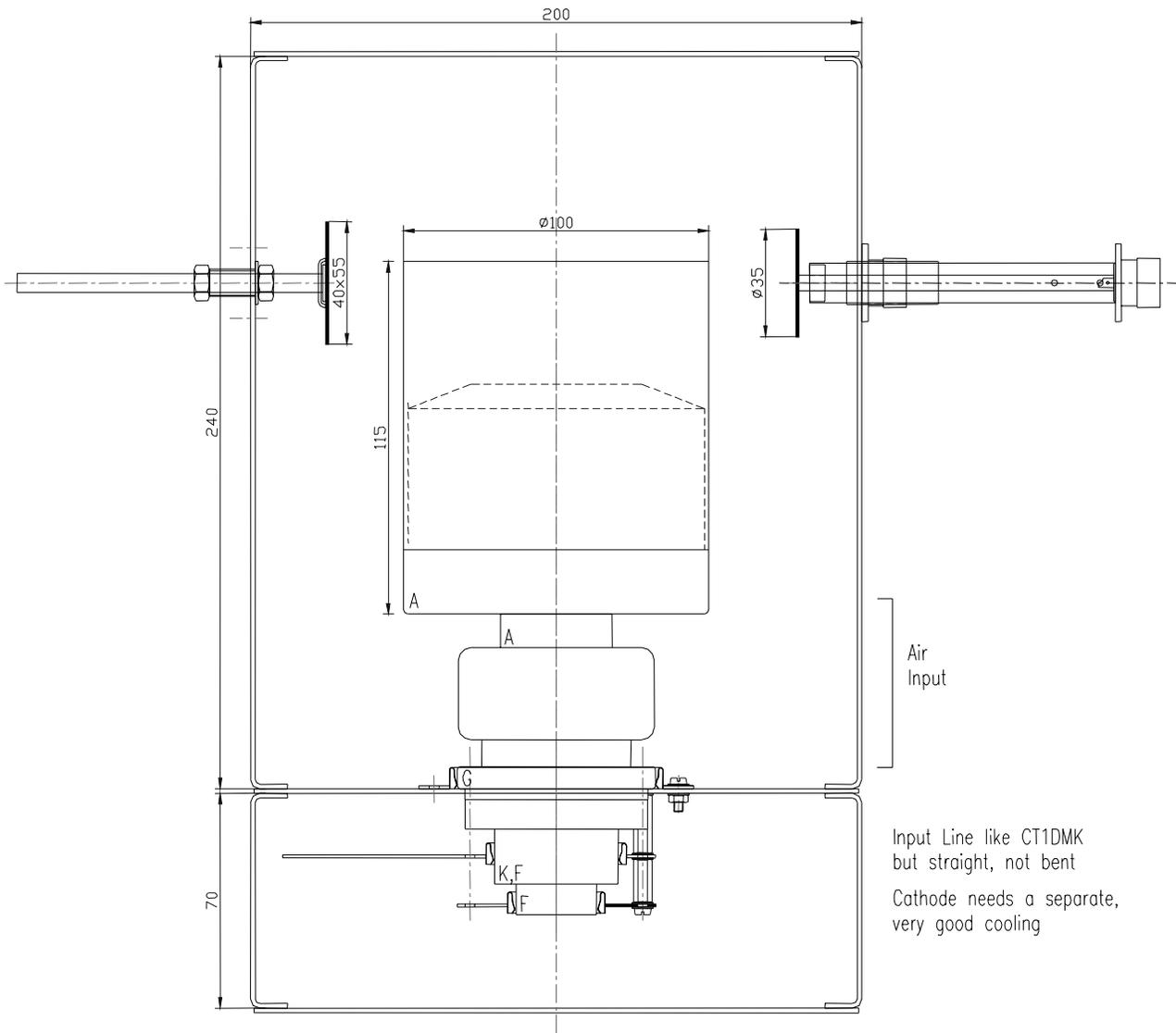


Picture 27: **Zoom of the driver stage**
Detail der Treiberstufe

Der MRF141G wird in der Standard-Applikation mit zwei 1:9-Semi-Rigid-Transformatoren betrieben. Damit ist Endstufe später auch im Kurzwellen oder 50MHz-Bereich verwendbar. Erfahrungen habe ich aber bislang lediglich auf 144MHz gemacht. Die Steuerstufe ist stabil und zuverlässig. Auch im Standalone sind schon bequem Verbindungen möglich.

4 Ein Leistungsverstärker für 432MHz mit GS35b

Da nun alle Einzelheiten für den Bau der 144MHz-Endstufe genannt wurden, ist der Aufbau eines entsprechenden 70cm-Verstärkers einfach. Ich bekam einen Vorschlag aus Rußland, dessen genaue Quelle ich bis heute nie fand. Warum in diesem Vorschlag aber der Resonator 200mm lang beschrieben war, und ich letztendlich bei 115mm Länge ein Optimum fand, ist mir noch mehr unerklärlich. Letztgenannte 115mm hat kurz nach meinem erfolgreich verlaufenen Erstversuch PA3CSG verifiziert und als gut befunden.



**Picture 28: Zeichnung der 70cm Endstufe
Drawing of the 70cm Power Amplifier**



**Picture 29: GS35b mit aufgesetztem Resonator
GS35b with resonator tube**

Am Eingang benutzt dieser Aufbau dieselbe Stripline wie sie CT1DMK beschrieben hat, lediglich gerade und nicht gebogen. Ausgangsseitig wurde der Kühlkörper der Röhre durch Aufstecken eines Kupferrohrs (im Aufbau identisch mit einem Fallrohr einer Regenrinne) auf 115mm verlängert, was eine Lambda-Halbe-Resonanz ergibt.

Die Kühlluft wird am Gitter in den Resonator geblasen und verläßt diesen nach oben durch einen Kamin. Die Kathode muß separat und ausgiebig gekühlt werden. Diese Endstufe besitzt bei Vollast eine Anfangsdrift, je nach Betriebstemperatur ändert sich die Anodenabstimmung. Allerdings kann man

für den jeweiligen Betriebsfall eine Stellung findet, die im Betrieb das Optimum aus dem Kreis herausholt.

Genauere Leistungsdaten kann ich hier lediglich soweit nennen, daß die Verstärkung etwa 13-14dB bei einem Wirkungsgrad von etwa 50% beträgt. Der Gitterstrom ist gering, etwa 10-15% des Kathodenstroms. Das Eingangs-SWR ist hervorragend, die einzige Abstimmung muß im Betrieb mit Plate-Tune vorgenommen werden.

Für den Nachbau empfehle ich eine genaue Betrachtung aller Fotos¹⁰ der 144MHz-Endstufe, denn einige davon sind aufgrund leichterem Zugang bei dieser 432MHz-Version aufgenommen worden.



Picture 30: Innenansicht des 70cm-Resonators
Inside view of the 70cm cavity

¹ **Communication Concept Industries**, <http://www.communication-concepts.com...>

² **Robert I. Sutherland, W6PO**, "high performance 144-MHz power amplifier", Eimac amateur service newsletter W6SAI, ham radio, august 1971 or "A High Performance 2-Meter Power Amplifier", William I. Orr, W6SAI, Radio Handbook, Twenty-third Edition, 1995, s.a. <http://web.wt.net/~w5un/8877-1.htm>

³ **Luis Cupido, CT1DMK**, "Yet Another KW Amplifier for 432", DUBUS 4/1996, p. 13-20

⁴ **Thomas Höpfe, DJ5RE**, "144 MHz Leistungsverstärker mit der Triode GS35b", DUBUS 4/1996

⁵ **Steve Powlisen, K1FO**, "A 1500W Output amplifier for 432", The ARRL UHF/Microwave Projects Manual, Volume 1, 1994

⁶ **Günter Köllner, DL4MEA**, Steuerungschaltung für Sendeendstufen, <http://www.scn.de/~koellner/pasw7.htm>

⁷ **Ch. Joachims, DL4KH**, Ruhestromeinheit für 2C39 Röhrendstufen, Ch. Joachims, Lindenstraße 192, 52525 Heinsberg

⁸ **Günter Köllner, DL4MEA**, Gitterspannungstabilisierung für Sende-Trioden, <http://www.scn.de/~koellner/gridv.htm>

⁹ **ON5FF**, Amplifier with 2x3CX800, DUBUS 3/85

¹⁰ **Studio Aloe, Kaufering, Tel. 08191/70555**, hat mir dankenswerterweise alle Fotos professionell angefertigt. Für diese Unterstützung möchte mich mich auf diesem Weg herzlichst bedanken.