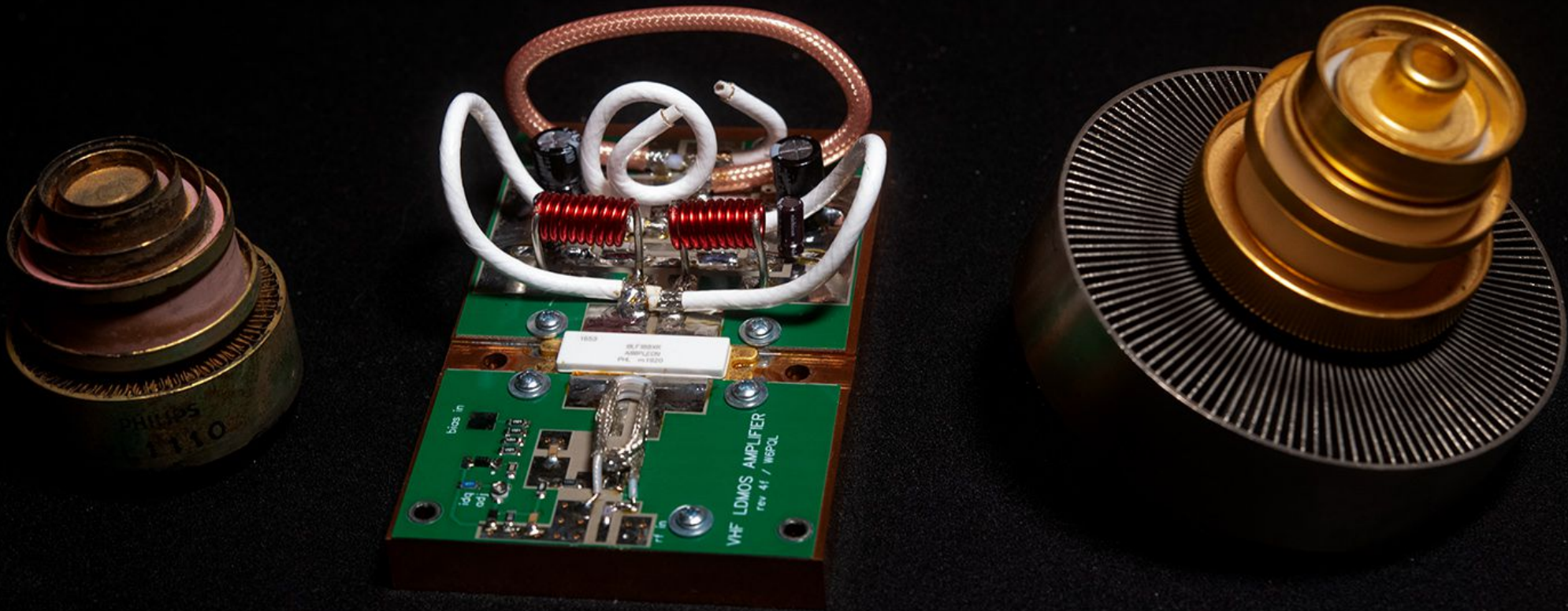


Hochfrequenz-Leistungsverstärker



Hochfrequenz-Leistungsverstärker

- 1. Anforderungen an Endstufen**
- 2. Pegelplan**
- 3. Oberwellen und Intermodulation**
- 4. Schutzschaltungen**
- 5. Aufbauhinweise (Kühlung etc...)**
- 6. Verfügbare Module und Lieferanten**
- 7. Verstärker für VHF/UHF/SHF**
- 8. Ausflug zu den richtigen Verstärkern**



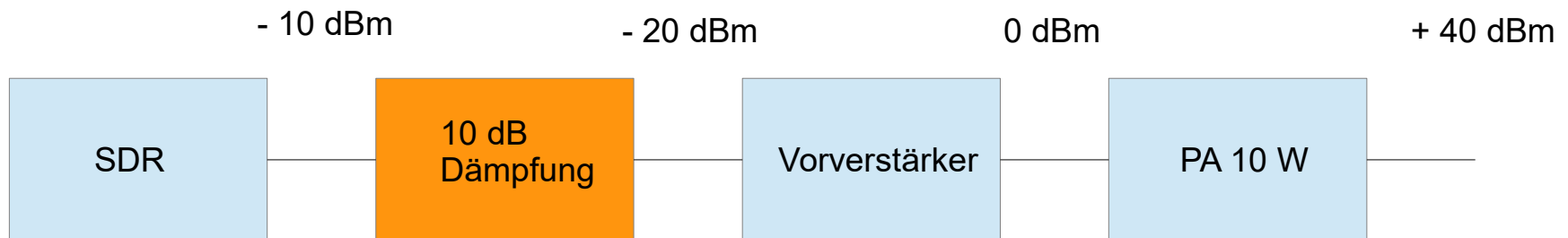
1. Anforderungen an Endstufen

- Hohe Verstärkung (Pegelplan)
- Sauberes Ausgangssignal (Oberwellen und Intermodulation)
- Betriebssicherheit (Schutzschaltungen)
- Thermische Zuverlässigkeit (Kühlung)



2. Pegelplan

Beispiel SDR

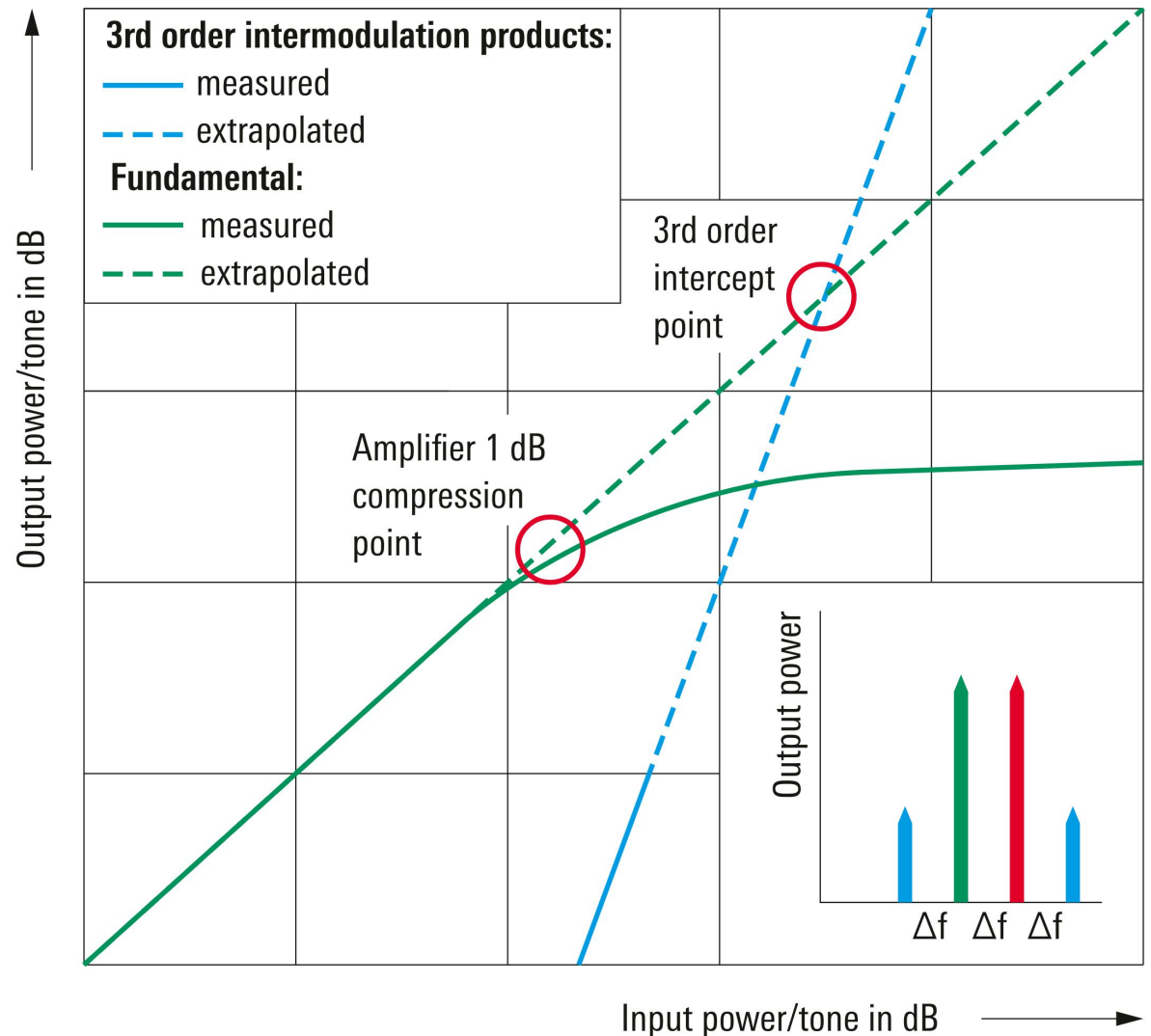


-10 dBm:	100 μ W
0 dBm:	1 mW
+10 dBm:	10 mW
+20 dBm:	100 mW
+30 dBm:	1 W
+40 dBm:	10 W
+50 dBm:	100 W
+60 dBm:	1 kW

3. Oberwellen und Intermodulation

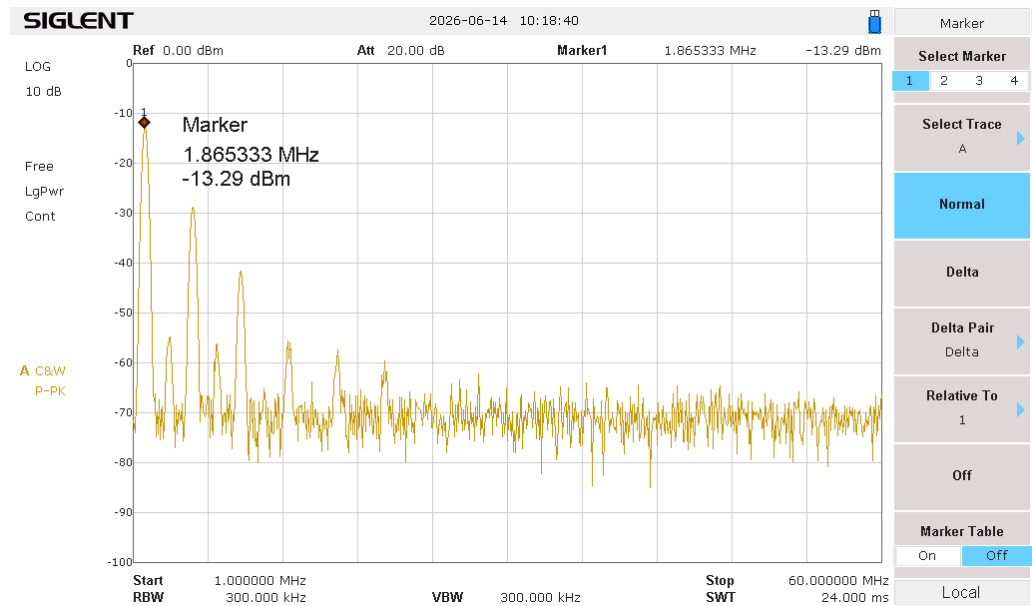
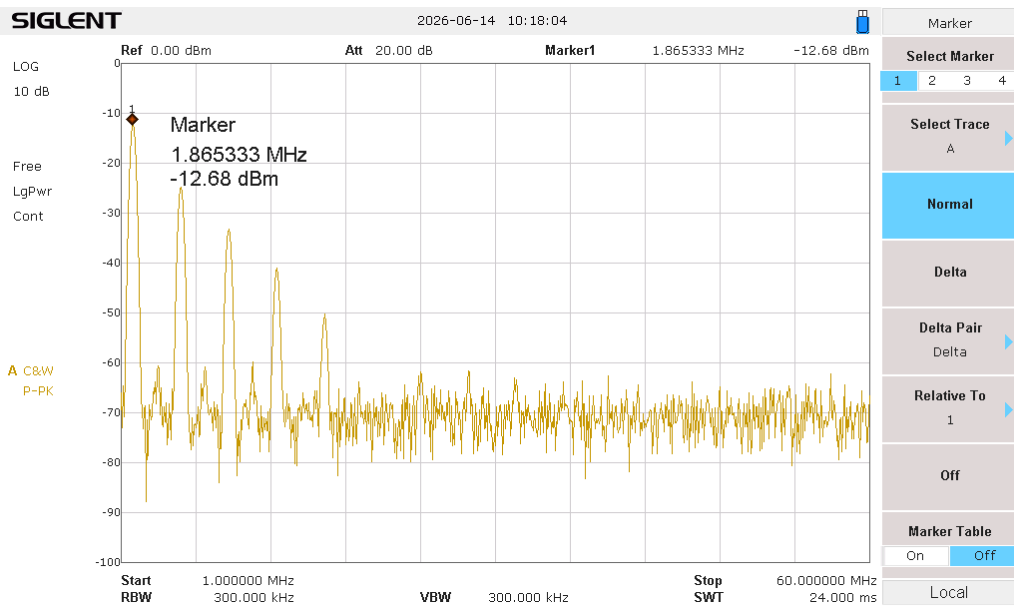
Nichtlineare Kennlinien von Transistoren
oder Röhren erzeugen unerwünschte
Frequenzen

- Oberwellen schon bei einem Sinus-Signal
- Intermodulation bei Mehrton-Aussteuerung



[https://www.rohde-schwarz.com/de/applikationen/intermodulationsmessungen-an-hf-verstaerkern_56279-52357.html]

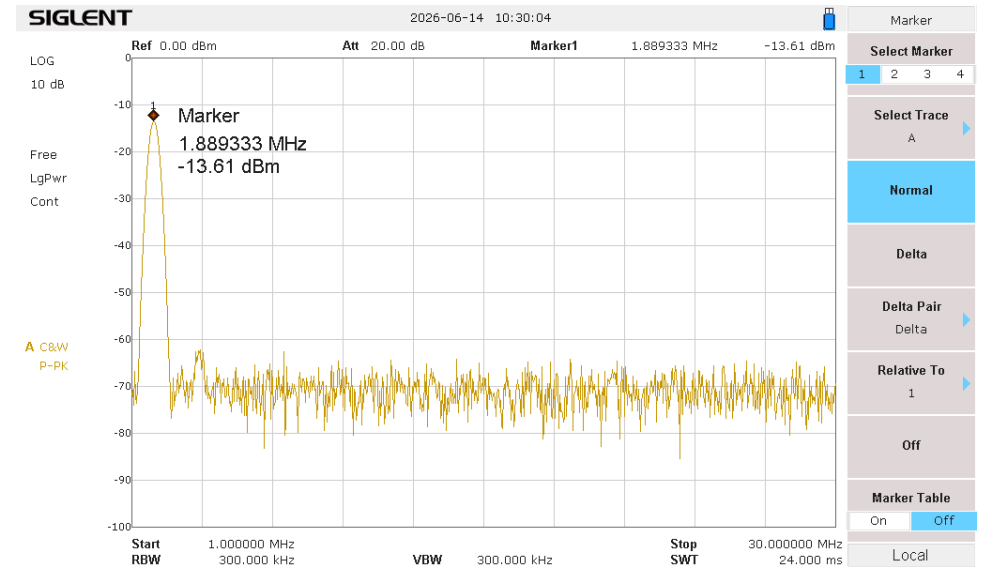
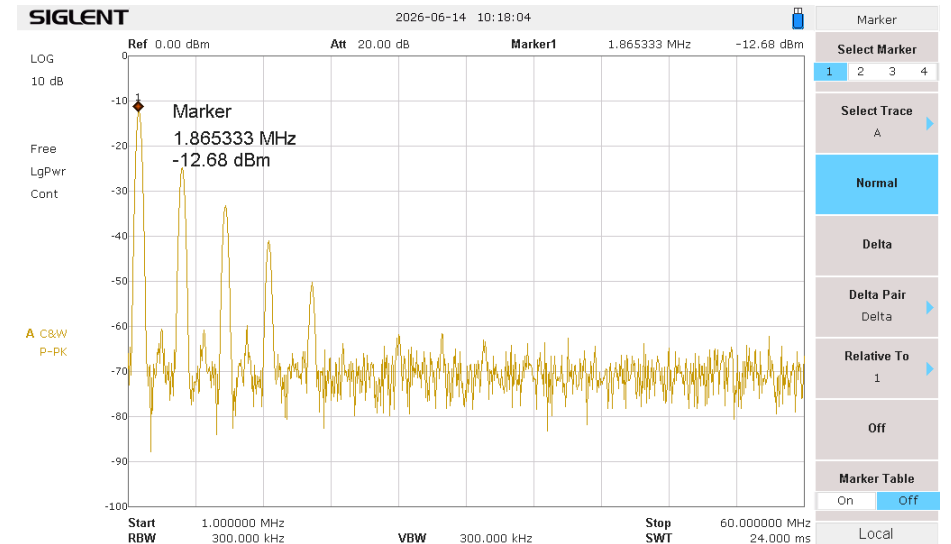
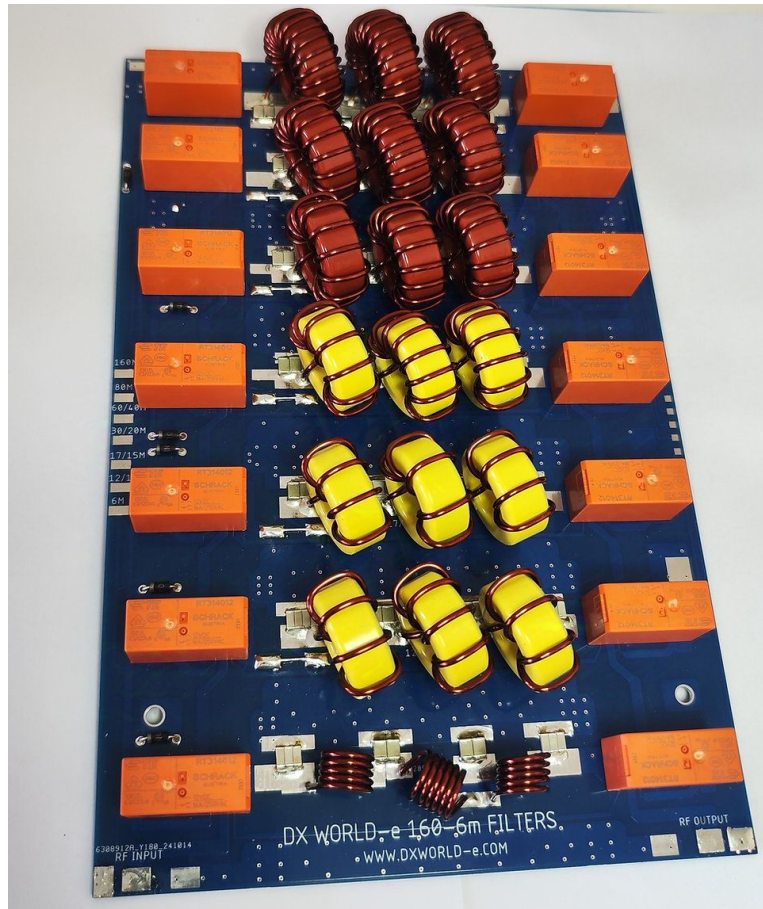
Oberwellen



Messung an einem 10-W-Verstärker:

Die Reduktion der Steuerleistung um 0,6 dB (ca. 10%) reduziert die Oberwellen beträchtlich !!

Wirkung des Tiefpassfilters

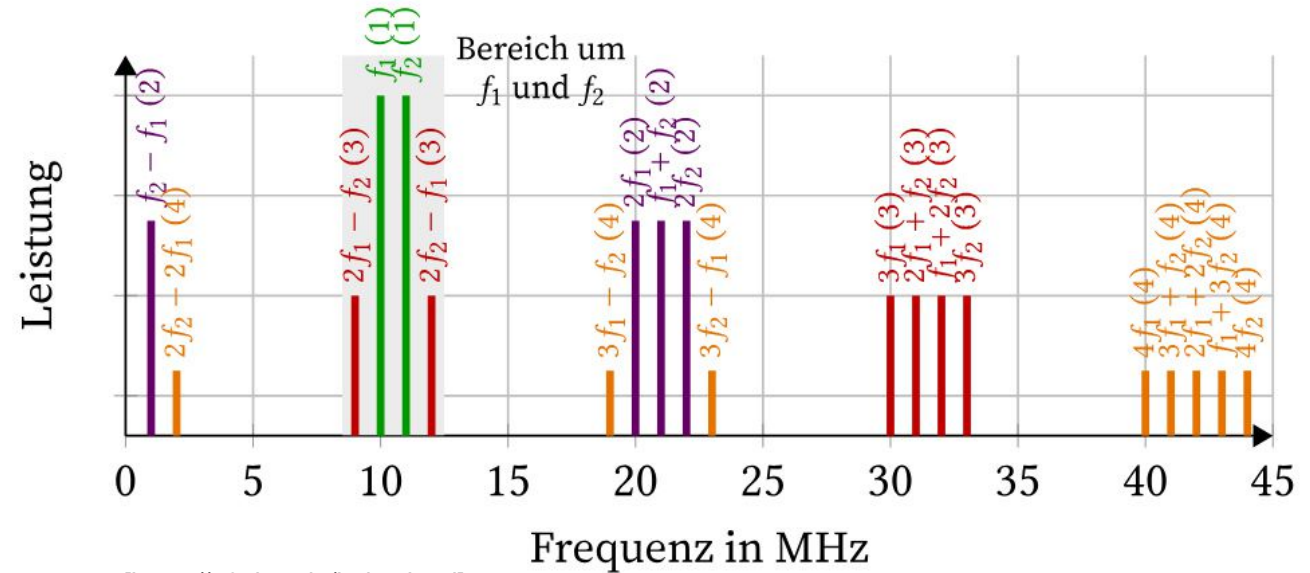


Untersuchung über Billig-Relais für KW:

[https://www.w6pql.com/using_inexpensive_relays.htm]

Intermodulation

Der Pegel der Störprodukte ist
Abhängig von der Qualität der
Kennlinie und der Aussteuerung!

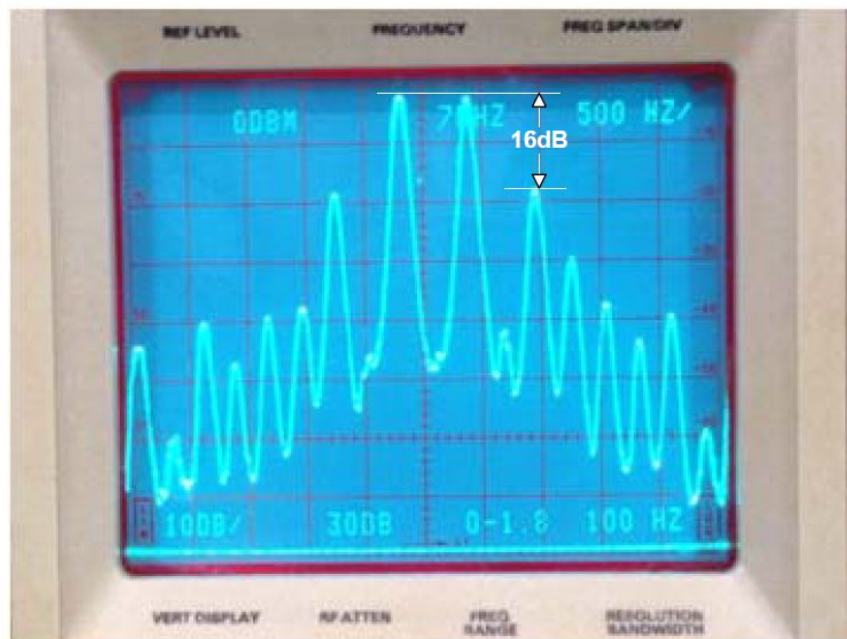


[<https://50ohm.de/index.html>]

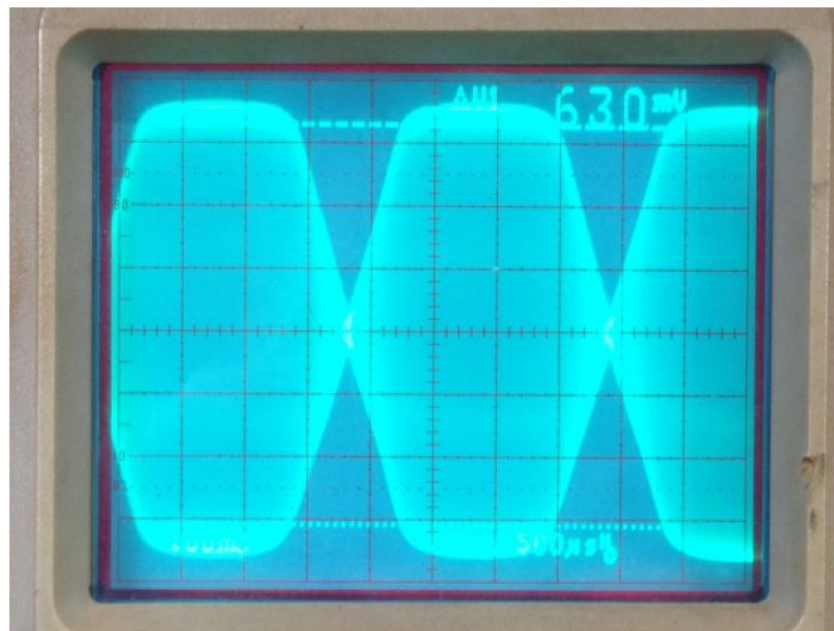
Tips:

- eine Kennlinie nicht zu hoch aussteuern
- Röhren sind linearer als Transistoren

Ein hoffnungslos übersteuerter SSB-Sender



[www.dc4ku.darc.de]

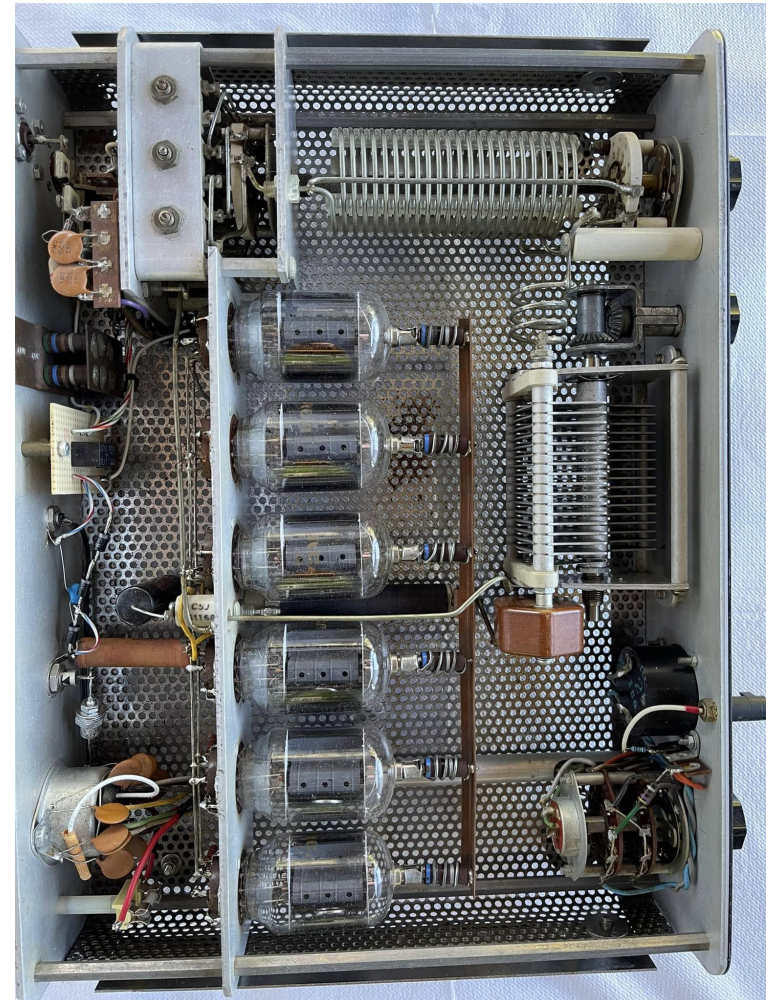


Anodenverlustleistung vs Ausgangsleistung

- **Anodenverlustleistung:** Kennwert der PA-Röhren
→ Billig-Röhren wurden „gequält“ und parallel geschaltet
- **Ausgangsleistung:** unabhängig von der eingesetzten Hardware
→ Leistungsstarke Endstufen werden zurückhaltend betrieben :-))

Harakiri-Endstufen mit minimalem Aufwand:

- Ansteuerung und Abstimmen nach Farbe der Anodenbleche
- Spannungsvervielfachung aus dem Netz ohne Trafo, bei falscher Polung des Netzsteckers 220 V am Gehäuse !!



4. Schutzschaltungen

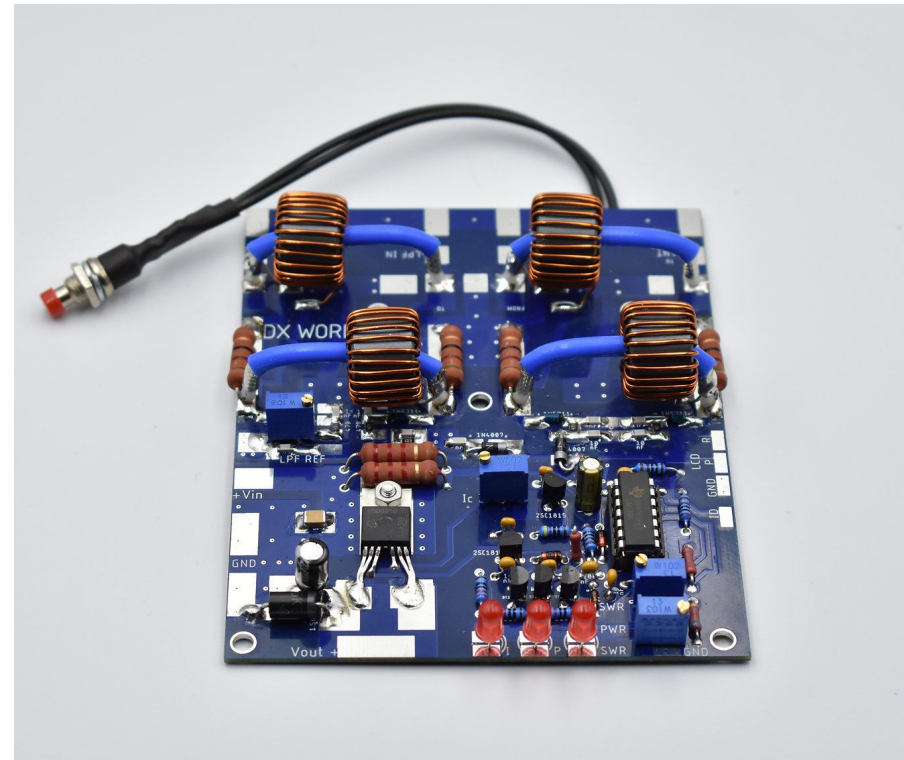
Maßnahmen gegen:

- zu hohes SWR und zu hohe Ausgangsleistung
- Überstrom
- thermische Überlastung durch Thermosensor am Kühlkörper
- Zerstörung der Gates von LDMOS - Transistoren



Zu hohes SWR und Überstrom

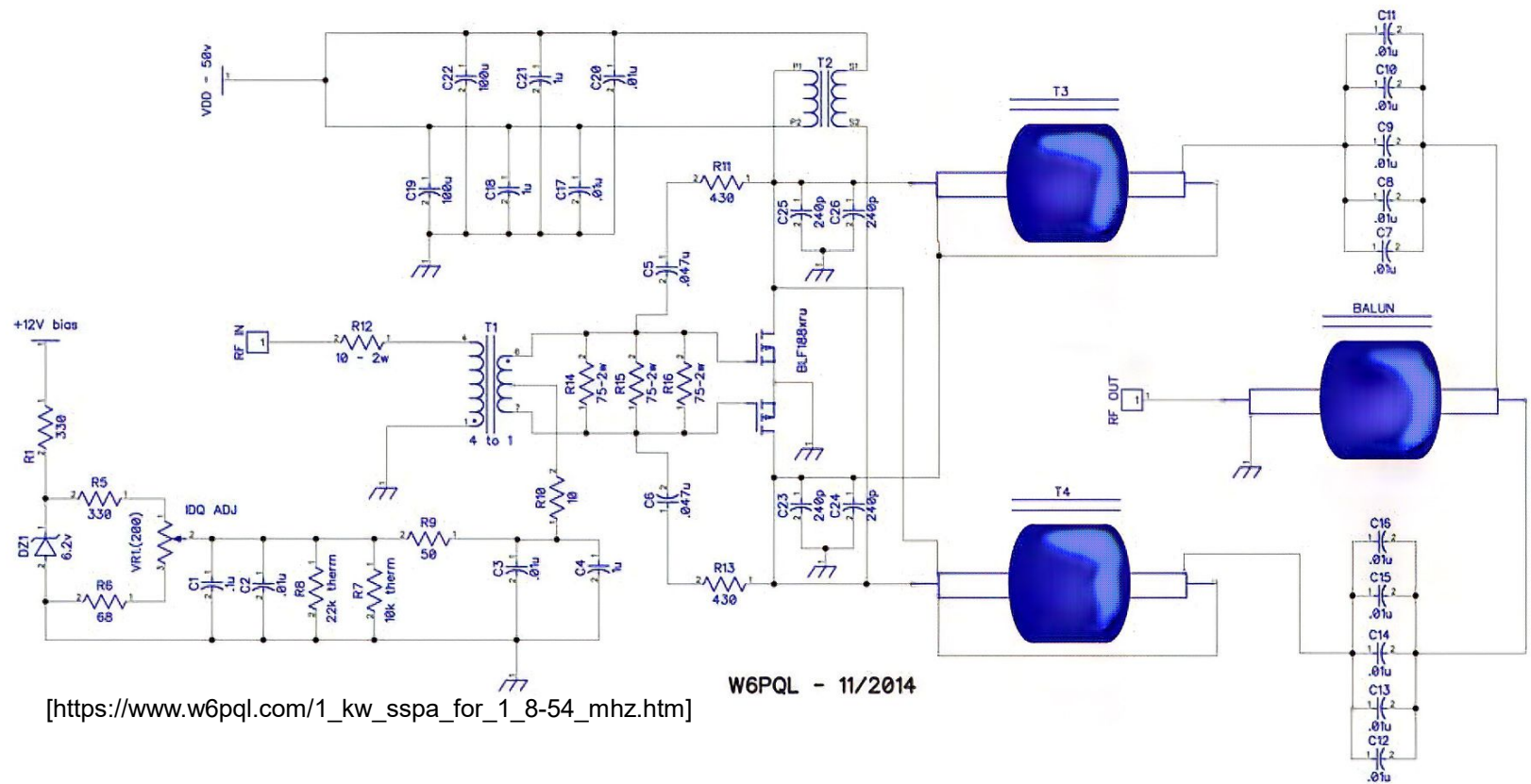
- Sensoren für hin- und rücklaufende Leistung
- Sensor für extreme Fehlanpassung durch falsches Band im TP-Filter
- Stromsensor
- Abschaltung der Betriebsspannung von 50 V
- Reset-Knopf



[<https://www.dxworld-e.com/product-page/protection-board-with-dual-tandem-match-all-in-one>]

Zerstörung der Gates von LDMOS - Transistoren

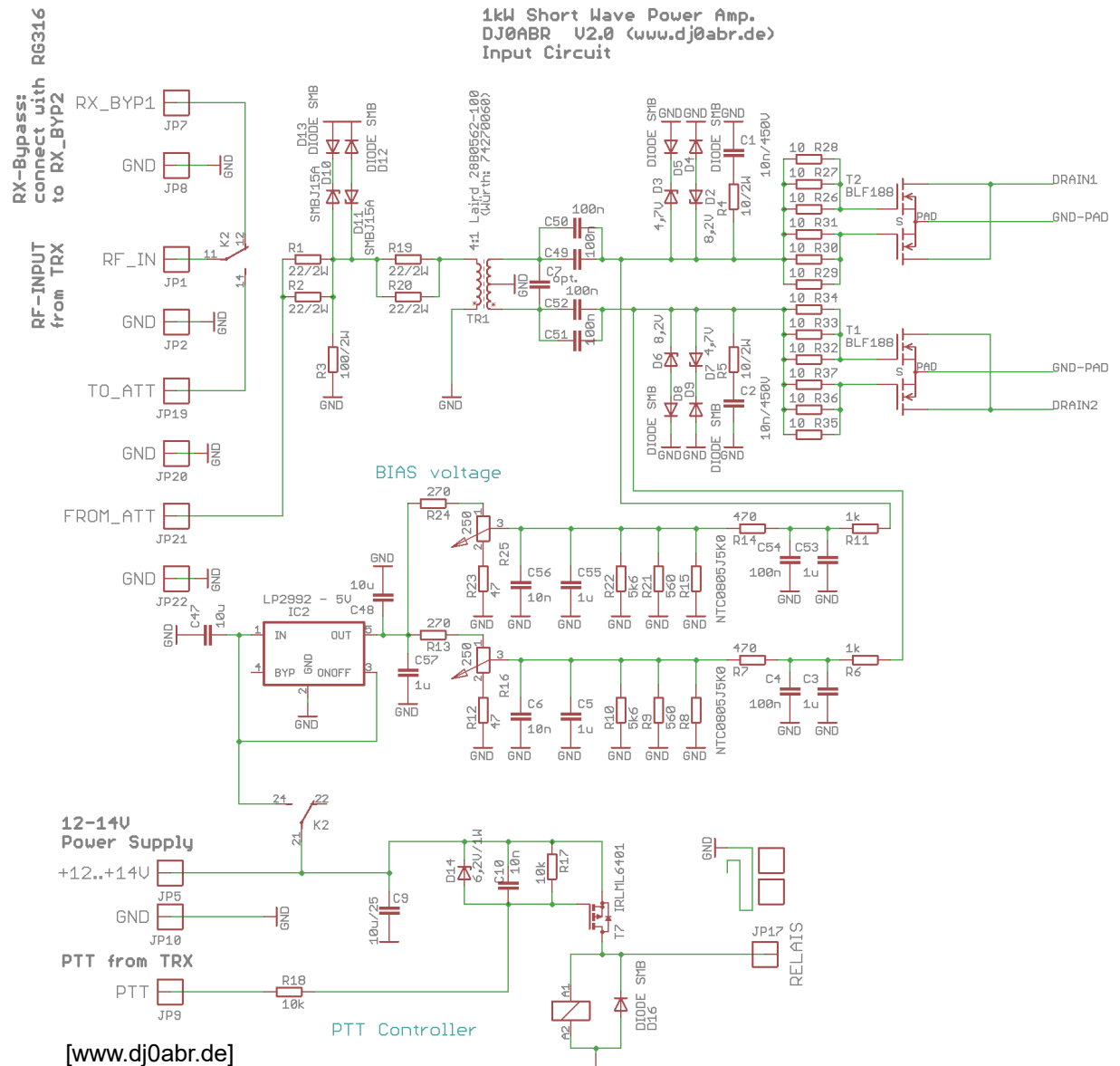
1.8 - 54 MHz Kilowatt Amplifier



Eines der besten Designs für eine KW-PA, jedoch ohne Gate-Schutz!

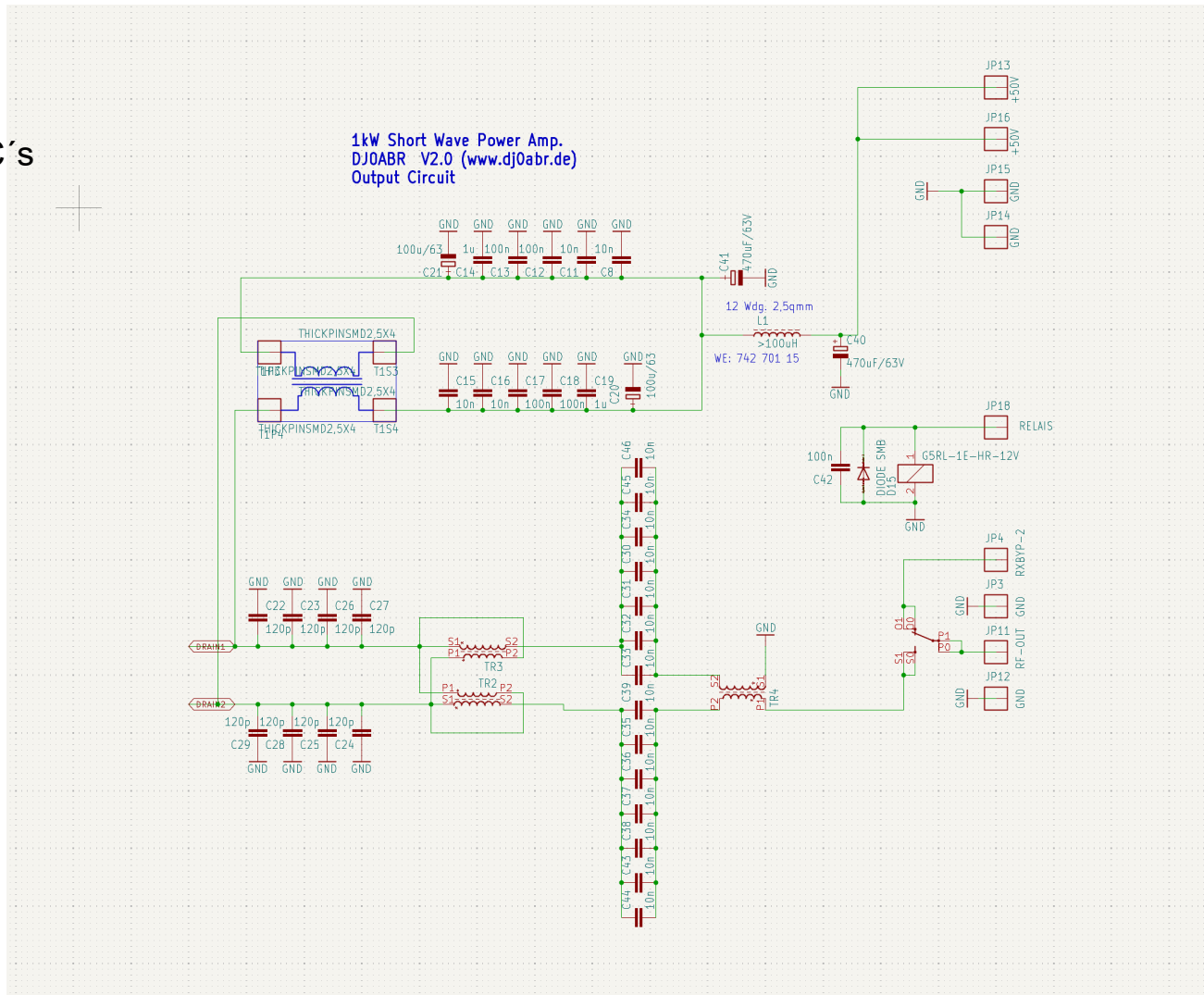
Solide Schutzschaltung nach DJ0ABR

- antiparallele Dioden am Gate
- ohmsche Last am Gate
- getrennt einstellbare Gatespannung
- 2 Transistoren für gutes Intermodulationsverhalten und Robustheit

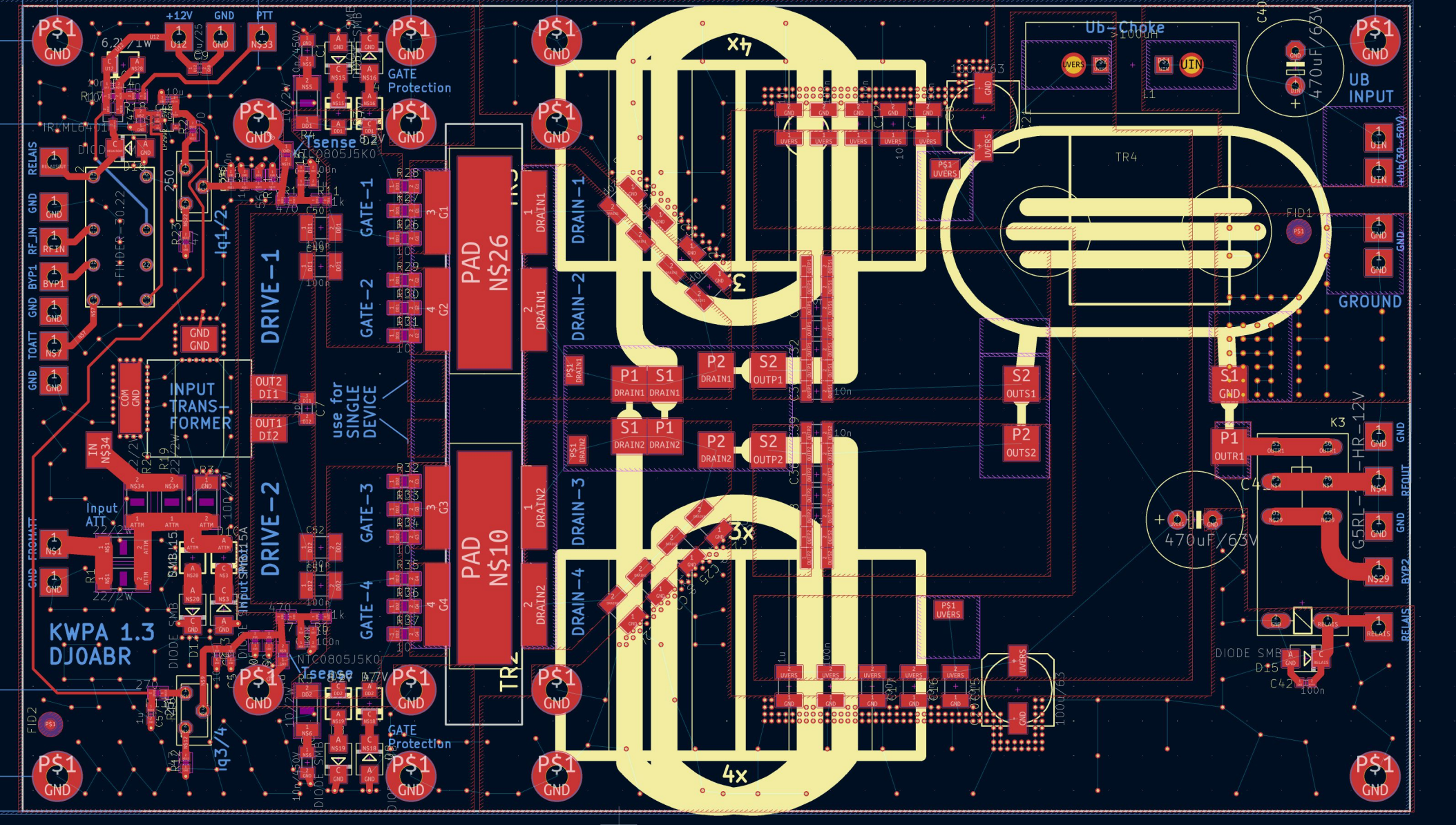


Hinweise:

- abblocken mit unterschiedlichen C's
- Lastverteilung auf mehrere parallele C's



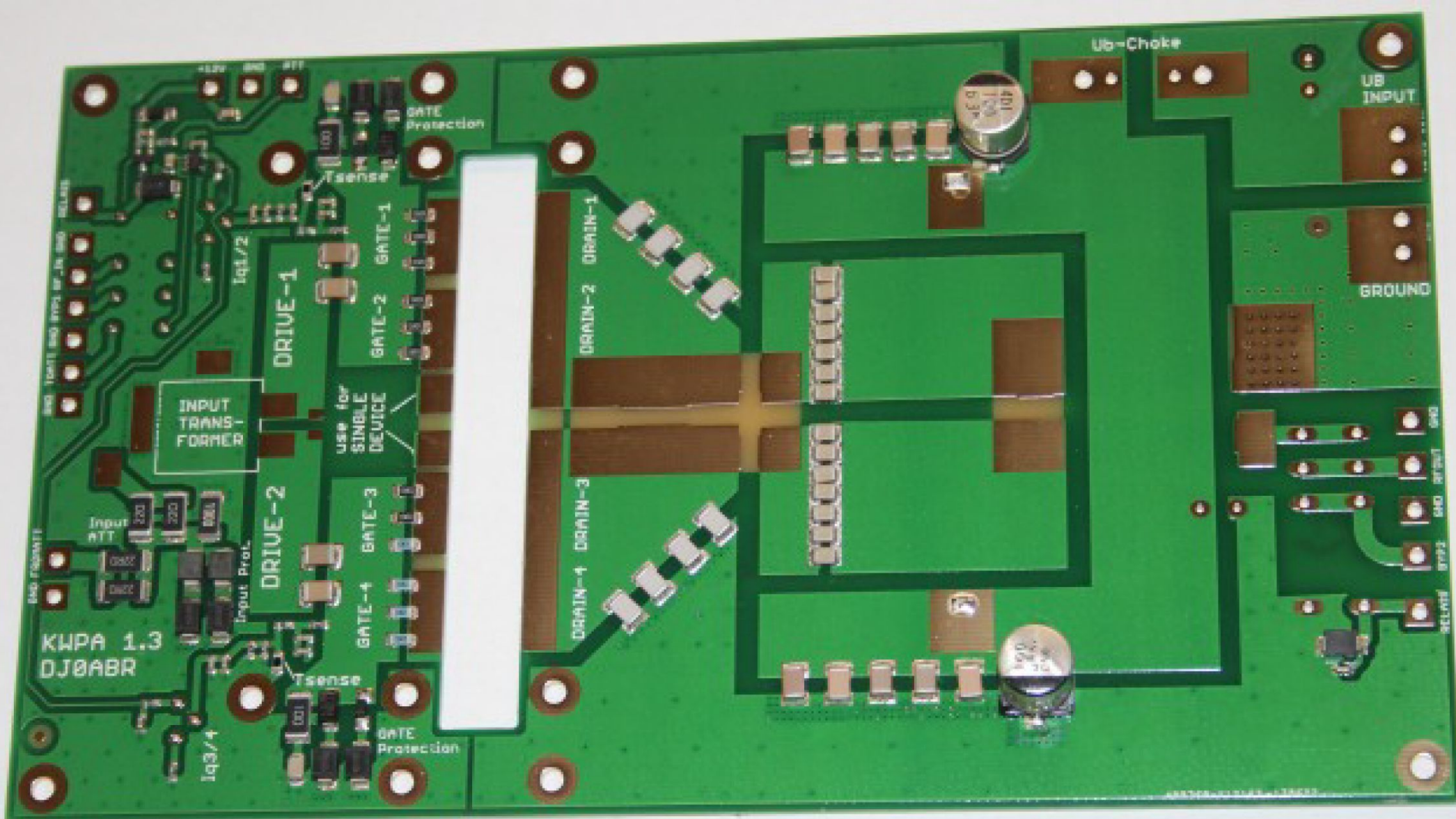
Ausgangsschaltung nach DJ0ABR



[www.dj0abr.de]

Alle Schichten einer Gerber-Datei für Fertigung



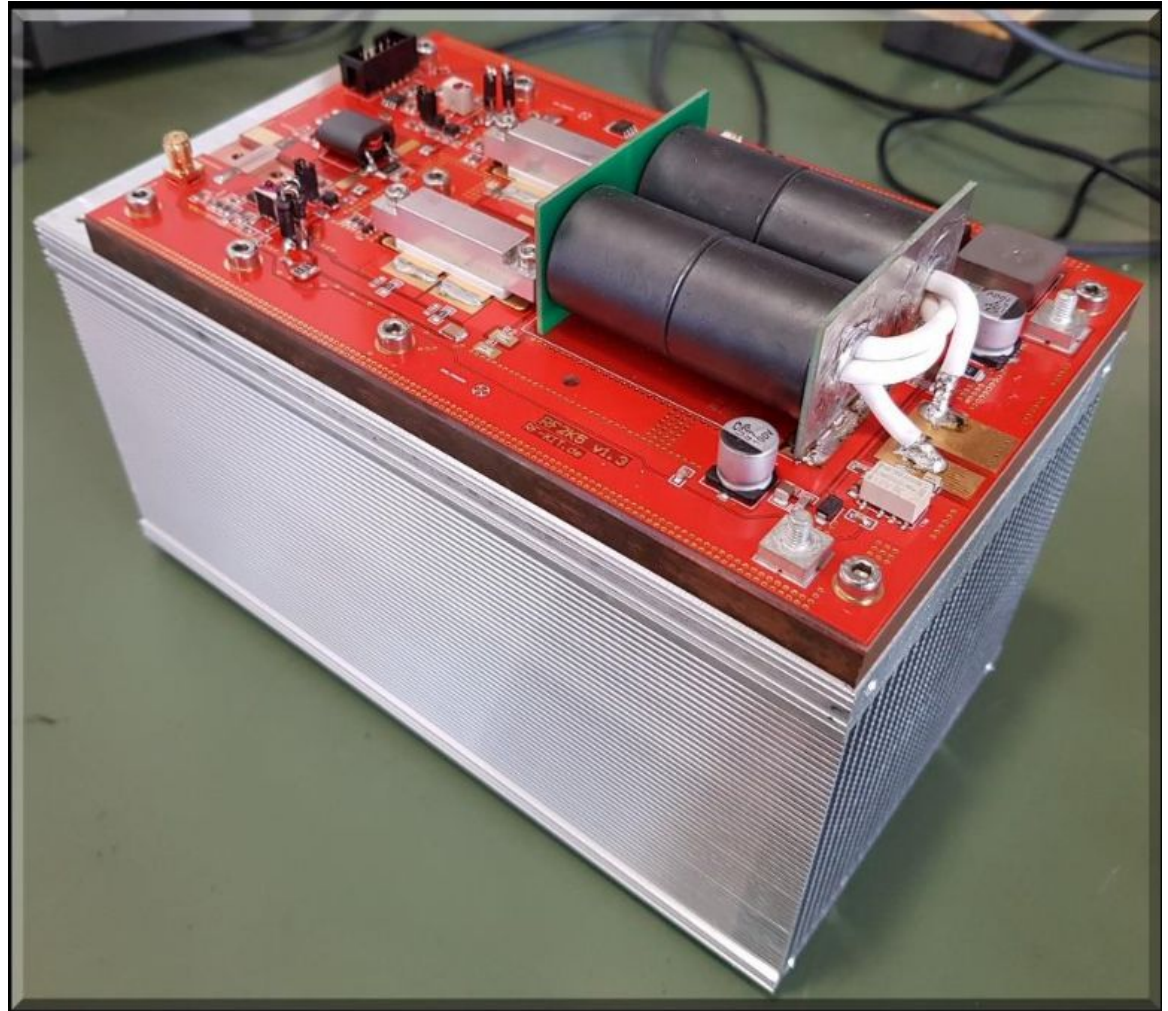


[www.dj0abr.de]

Fertige Platine, teilbestückt: ca. 20 € bei Abnahme von 5 Stk.

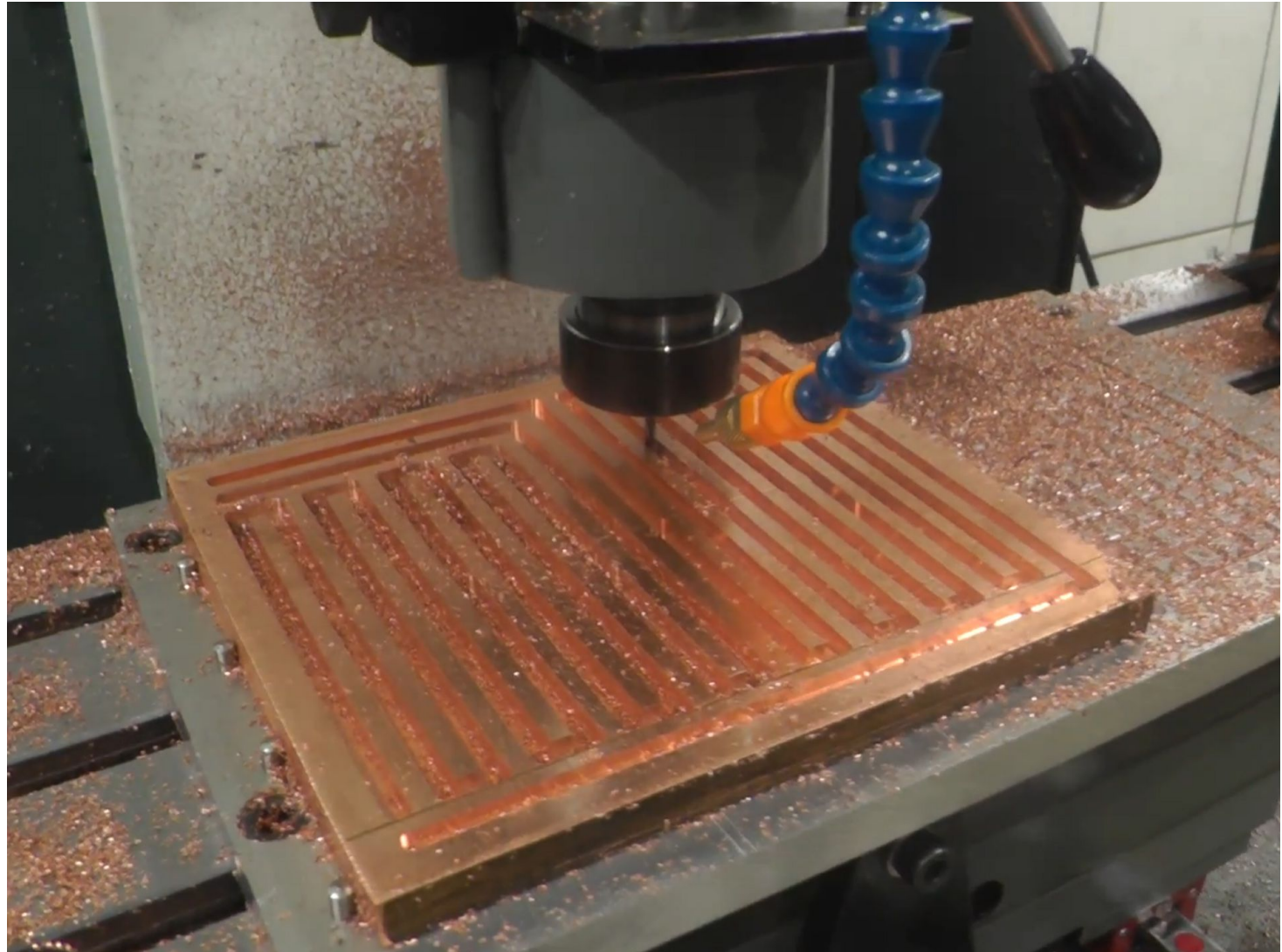
5. Aufbauhinweise (Kühlung etc...)

- Kupferplatte als Zwischenlage
- Transistoren löten statt schrauben
- Wärmewiderstand berechnen
- Betriebsspannung für mehrere Frequenzbereiche abblocken



[https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/p/ortsverbaende/14/Jahr_2022/Monat_03/QRO_PA_design_OV_P14_ver12.pdf]

Wasserkühlung für die Freaks



[dj0abr.de]

6. Verfügbare KW-Module und deren Lieferanten für Selbstbauer

- [https://projects.dj0abr.de/doku.php?id=de:kwldmospa:kwpa_overview]

Komplette Bauunterlagen von DJ0ABR: Schaltpläne, Stücklisten, Gerber - Dateien für PA's mit > 1 kW, 100 W, 10 W Leistung

- [https://www.w6pql.com/1_kw_sspa_for_1_8-54_mhz.htm]

Gut durch entwickelte PA - Module von KW bis 23 cm, lange im Geschäft

- [<https://www.dxworld-e.com/shop>]

Liefern keine Schaltpläne mit ! , PA-Module einfach aufgebaut

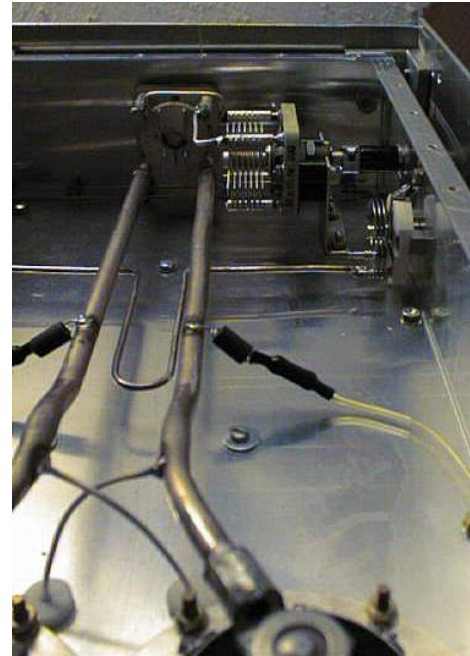
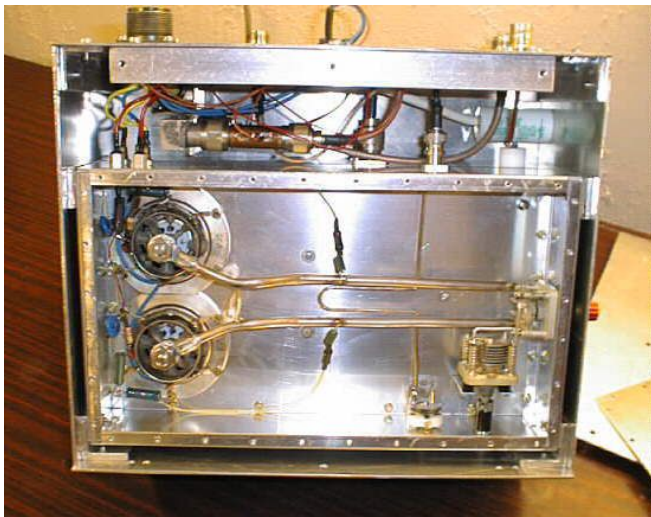
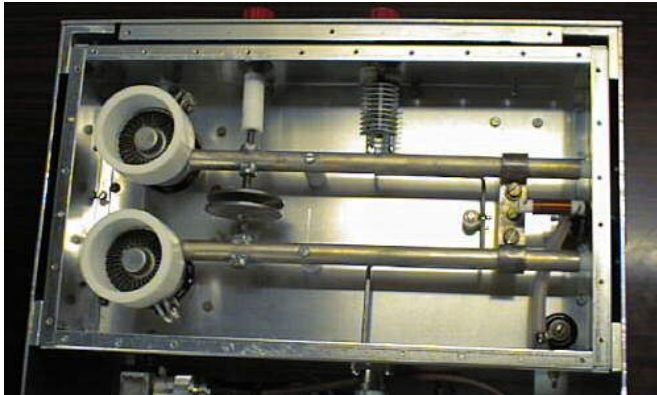
- [<https://www.60dbm.com/>]

Gut durch entwickelte Module mit Schaltplänen

7. Verstärker für VHF/UHF/SHF

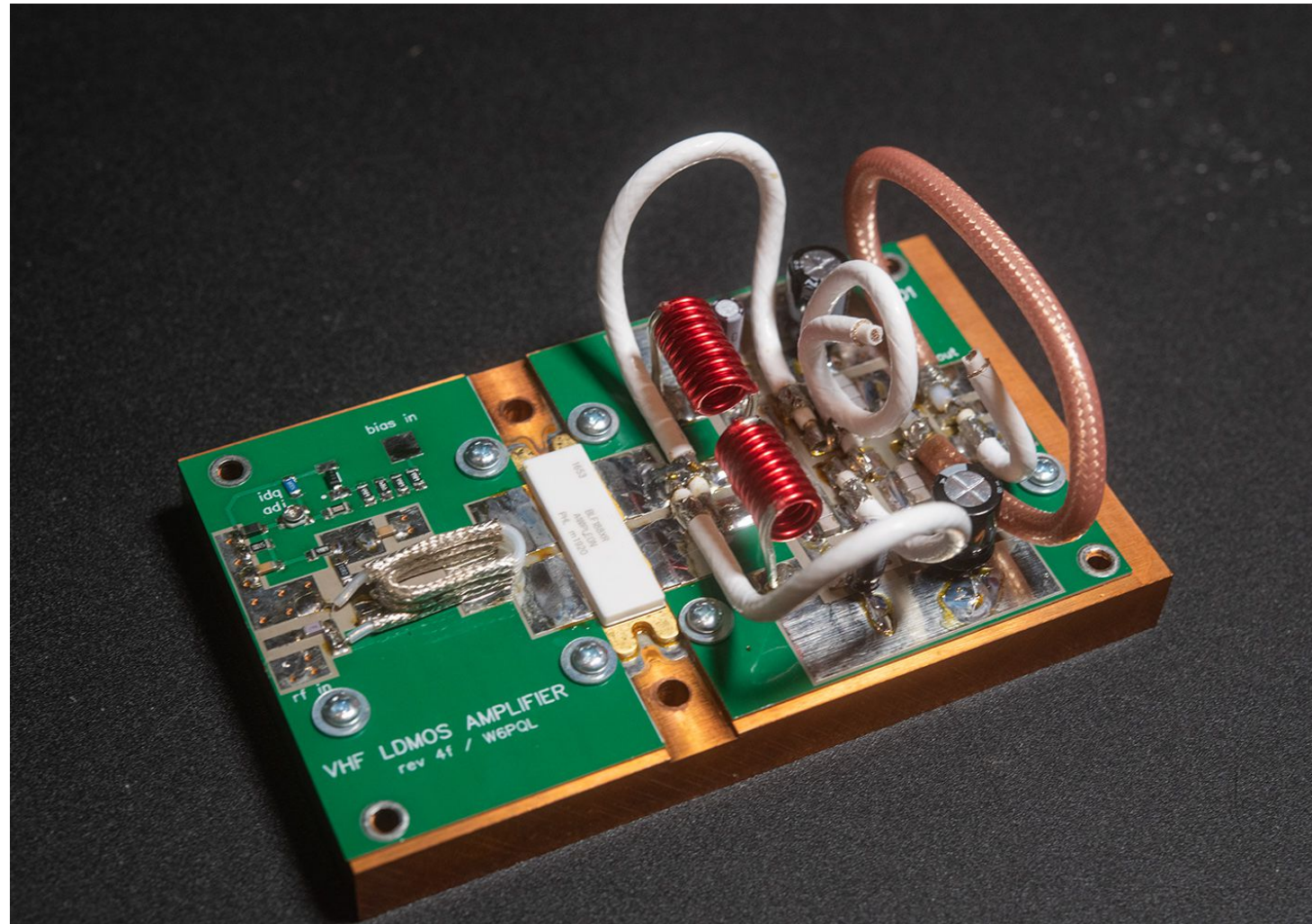
144 MHz, 750 W mit 2 Stk. 4CX250 im Gegentakt

[<https://la0by.darc.de/2m-hpa.htm>]



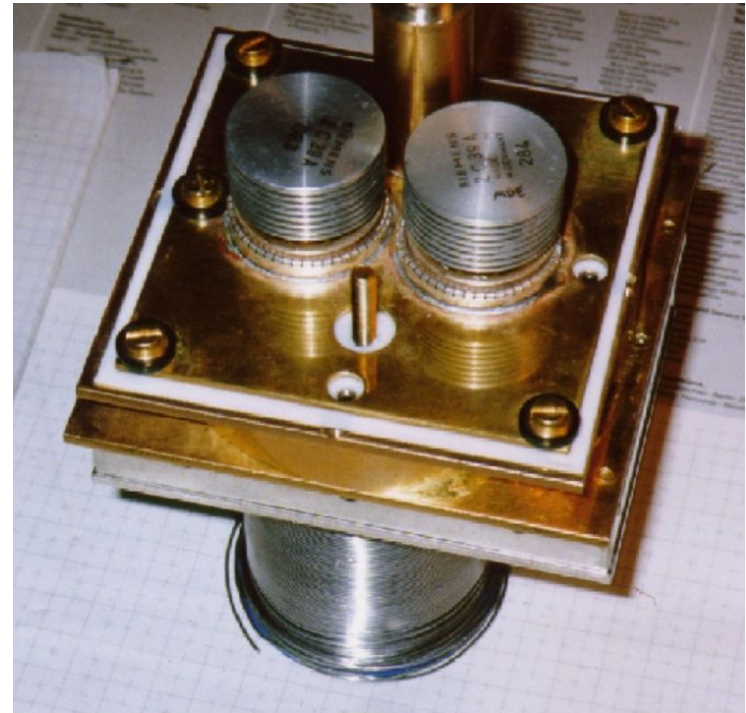
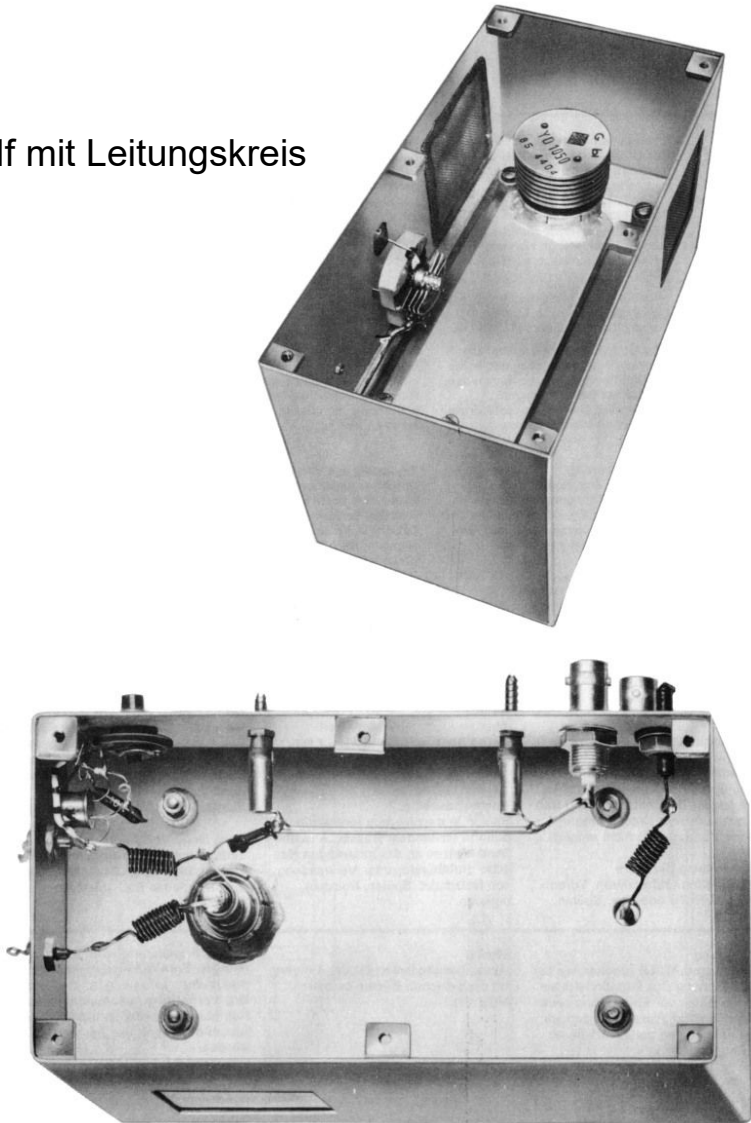
144 MHz, LDMOS, > 1000W

- Transistor: BLF 188XR
- Versorgung: 50 V/30A
- Treiberleistung: 2W



1296 MHz mit 2C39

ca. 100 W Hf mit Leitungskreis

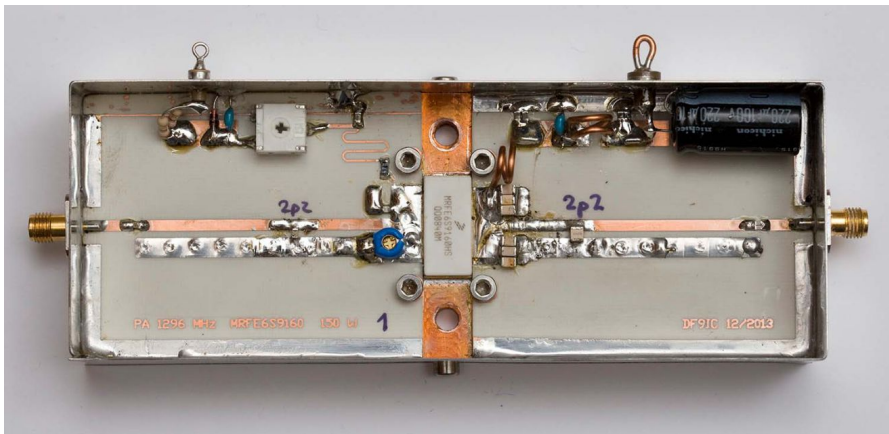


[<https://www.qsl.net/dl4mea/23c39/23c39.htm>]

ca. 200 W Hf im Topfkreis

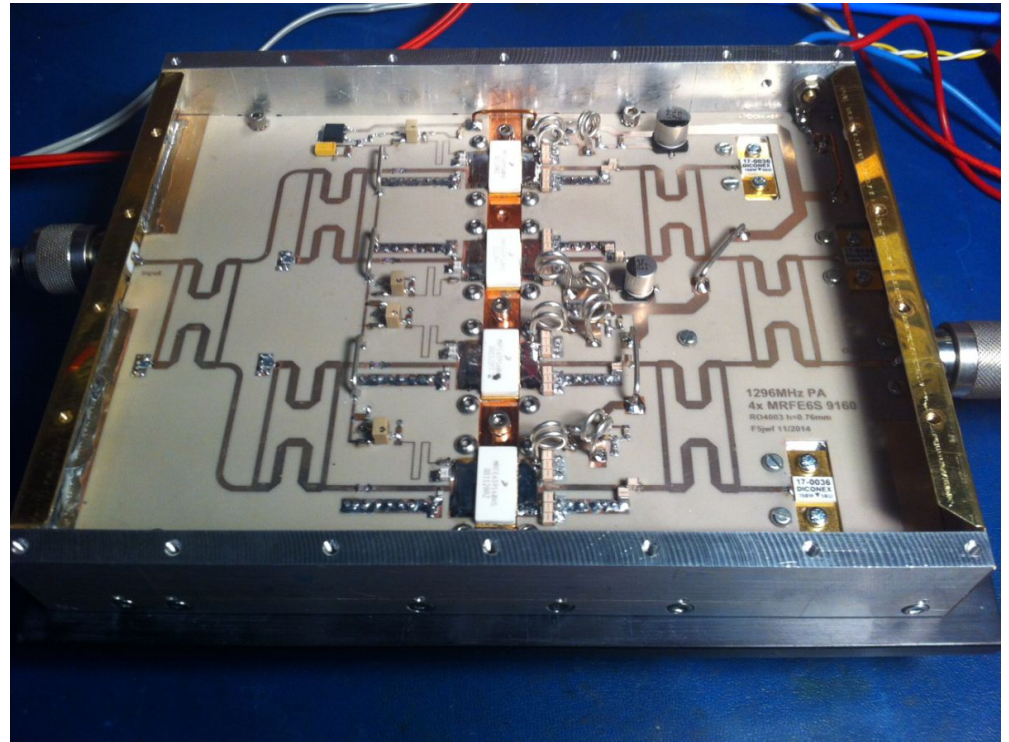
[<https://www.robkalmeijer.nl/techniek/electronica/radiotechniek/hambladen/ukw-berichte/1972/page036/index.html>]

Transistorverstärker für 1296 MHz mit LDMOS



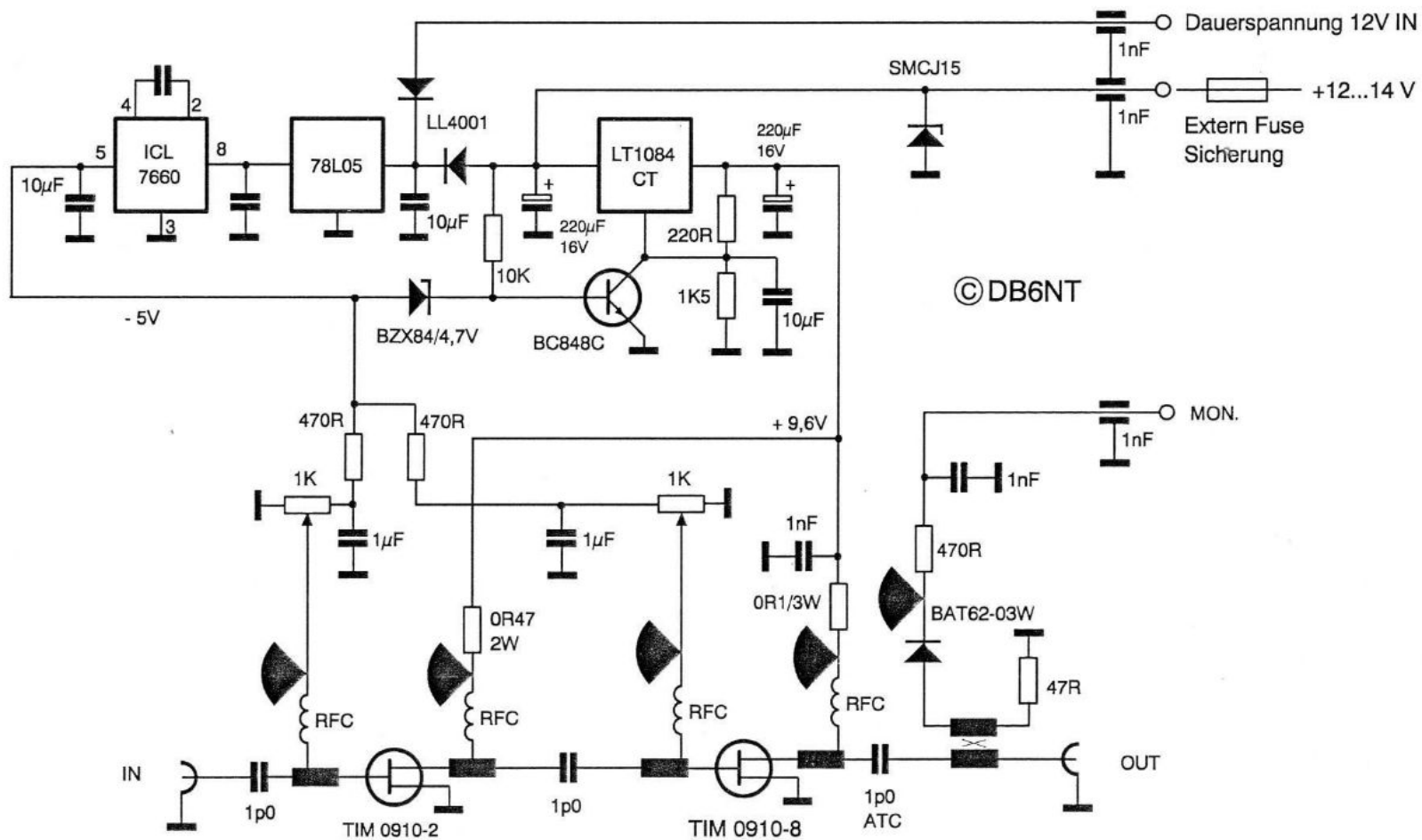
[https://www.df9ic.de/doc/2015/mmrt_2015/mmrt_2015_1296MHz_PAs.pdf]

150 W nach DF9IC mit MRFE6S9160



600W nach F5JWF

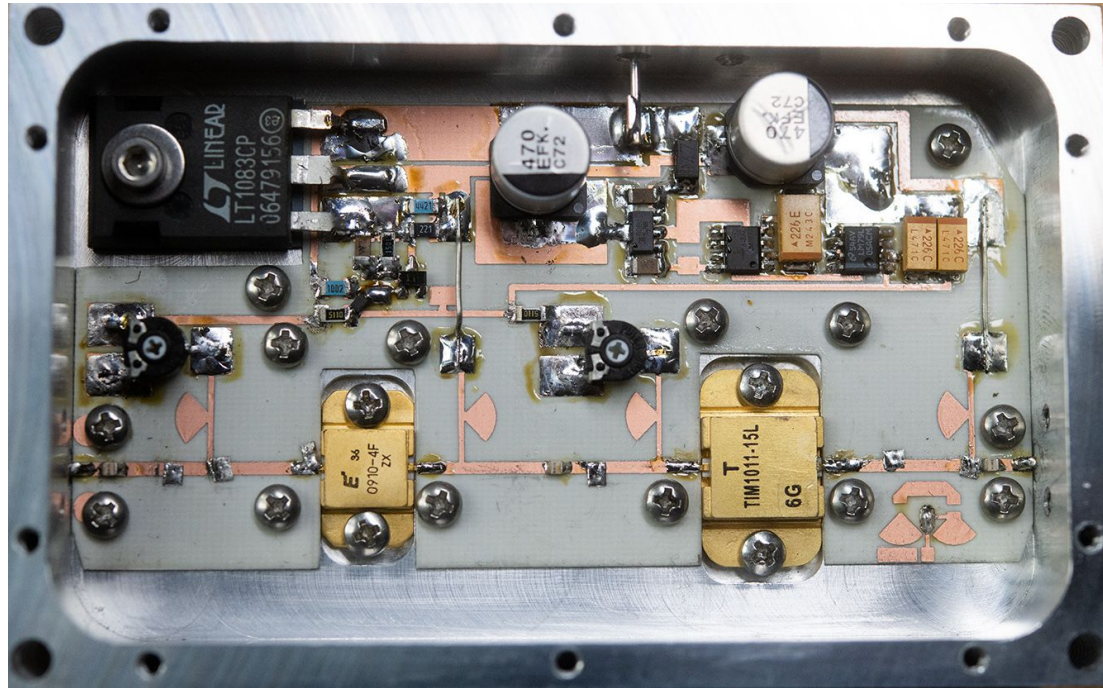
Leistungsverstärker 10 GHz / 8 Watt DB 6 NT 8.2007



10 GHz-Verstärker

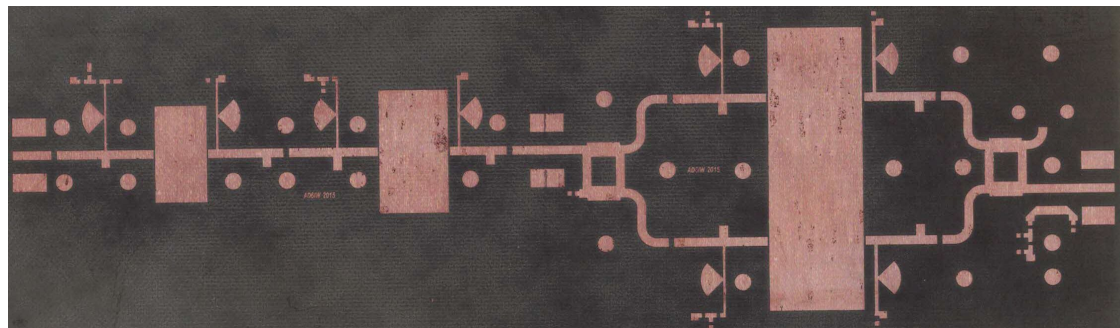
Design: PE1RKI - 2026

P_{out} : 12 W



Design: AD6IW – 2018

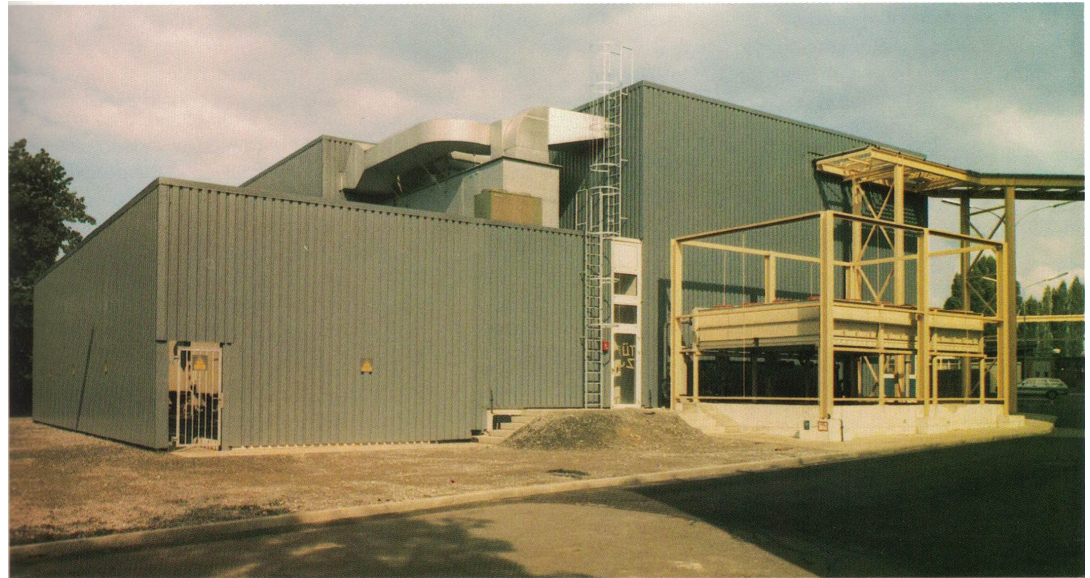
P_{out} : 40 W



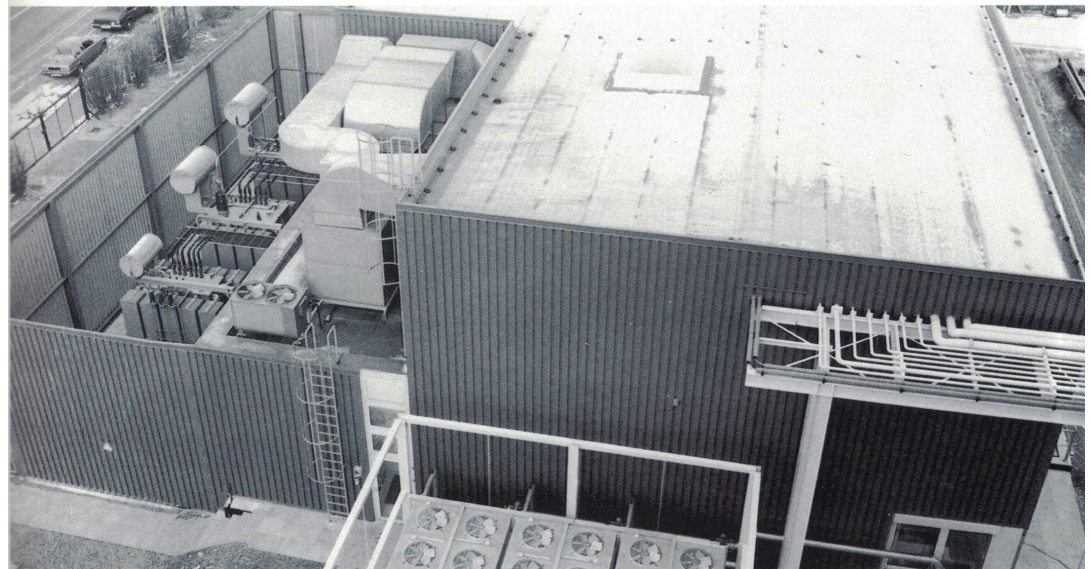
8. Ein Ausflug zu den richtigen Verstärkern

Röhren- und Halbleiterwerke der Philips AG (um 1980)

- Hauptgeschäft waren Klystrons für TV-Sender, weltweite Kunden
- 2. Standbein waren Großröhren für die Hoch-Energie-Forschung

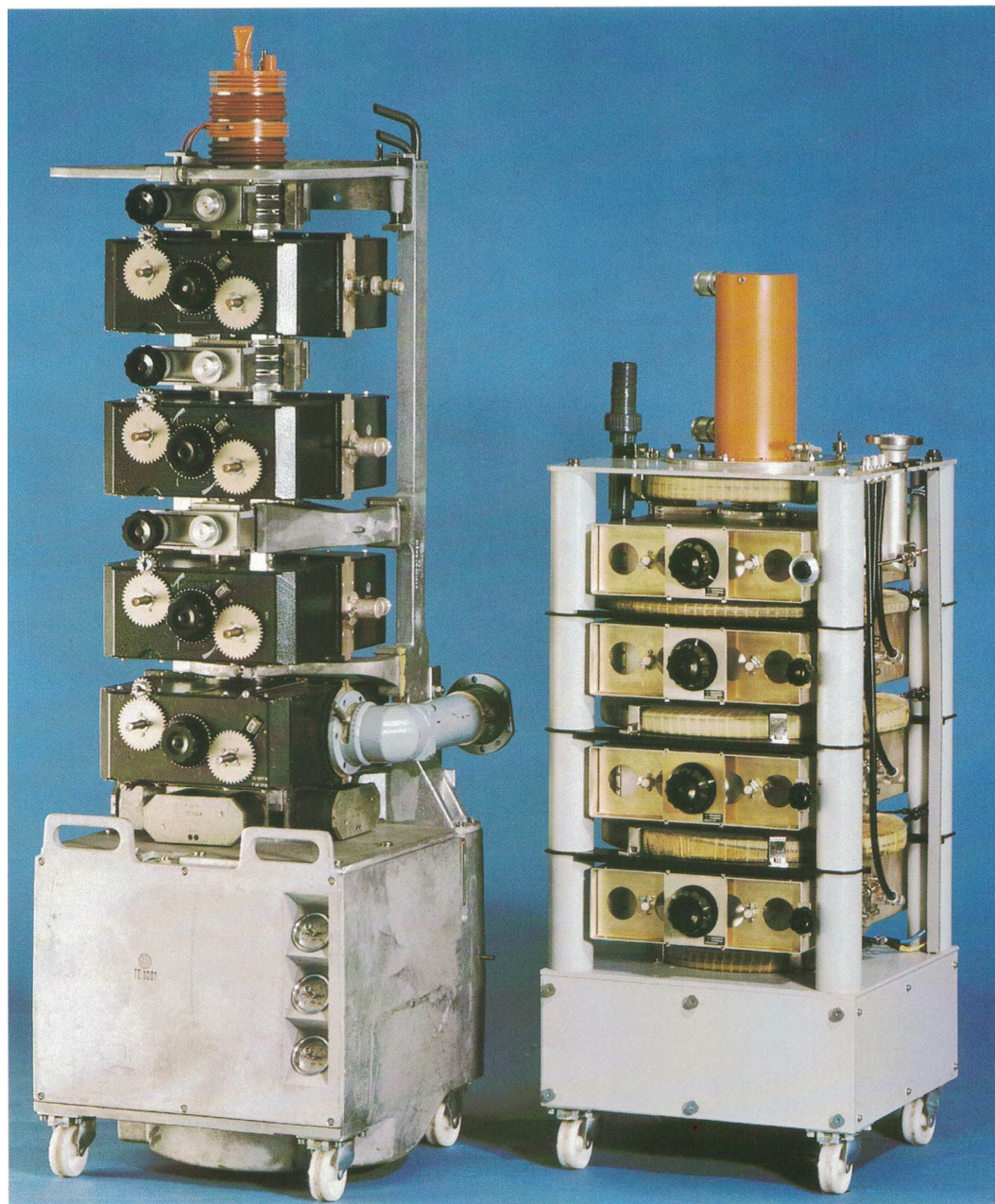


Back and top of the new building (Facility II) in the Valvo plant (Hamburg). In the foreground a cooling arrangement.



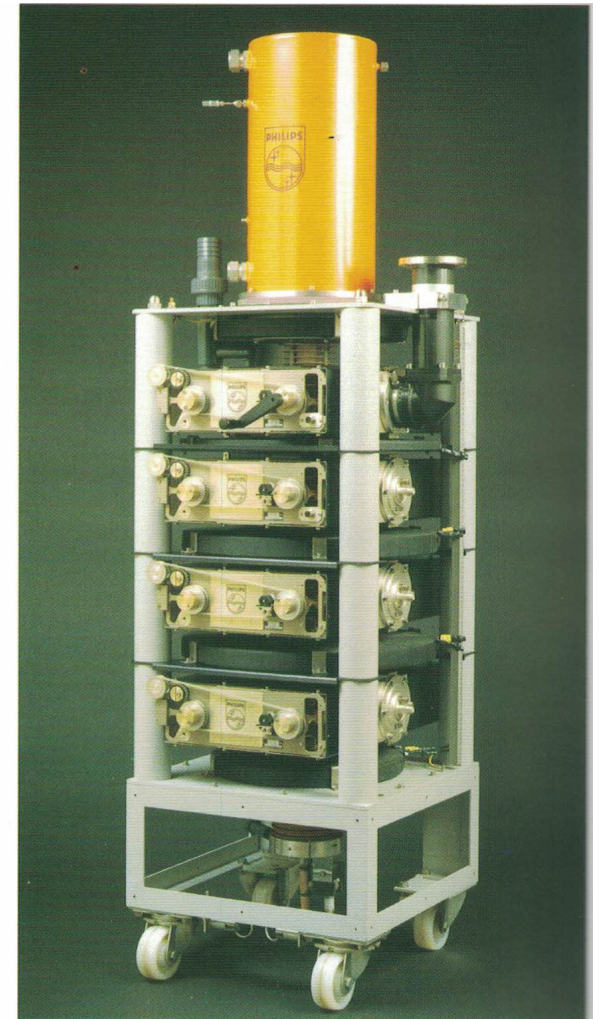
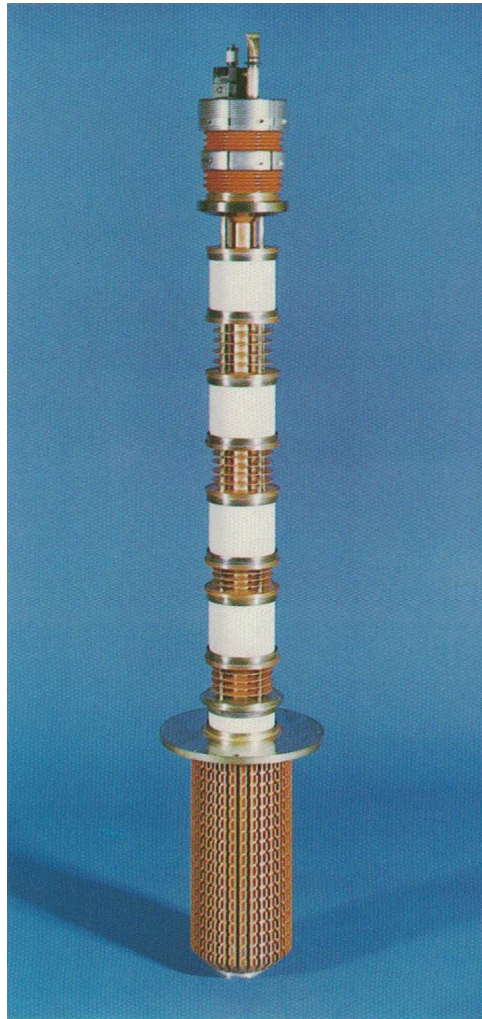
Klystrons der 30-kW-Klasse für den TV-Bereich

- 1. Generation links YK1151
- 2. Generation rechts YK1230
- Leistung: 30 kW bei einem Wirkungsgrad von 50%
- Frequenzbereich 470 – 860 MHz



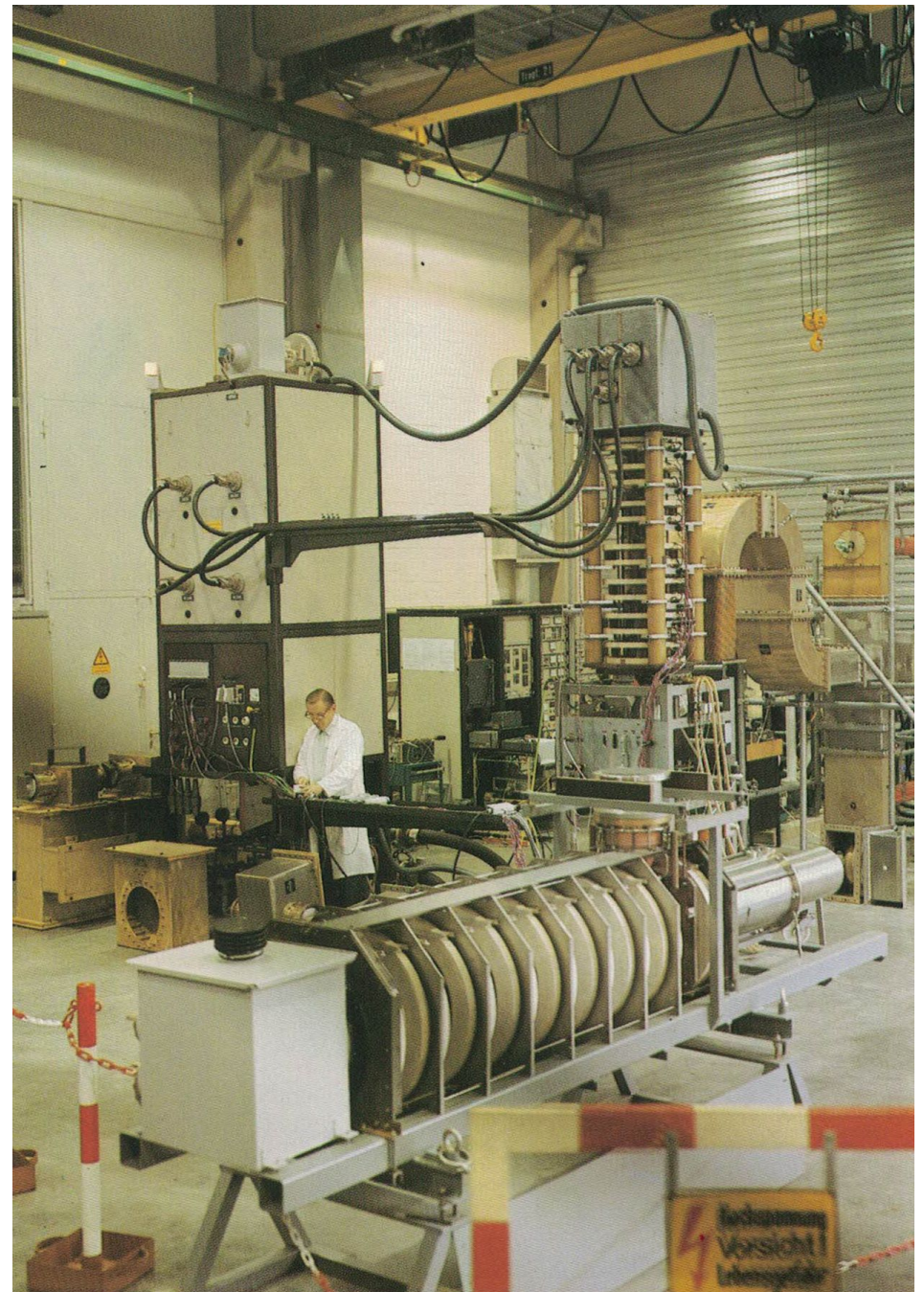
Klystrons für den TV-Bereich

- YK 1265, 65 kW, 470 – 860 MHz
- 65% Wirkungsgrad
- Katoden wurden recycled



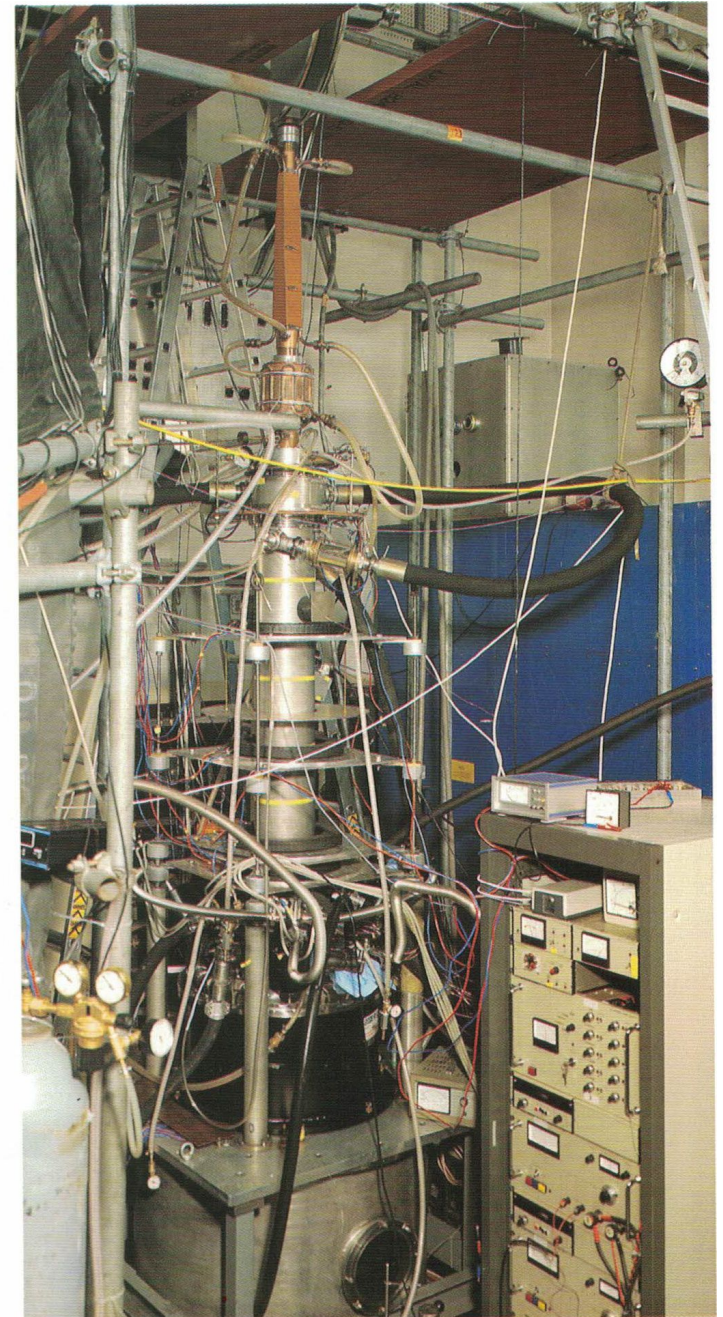
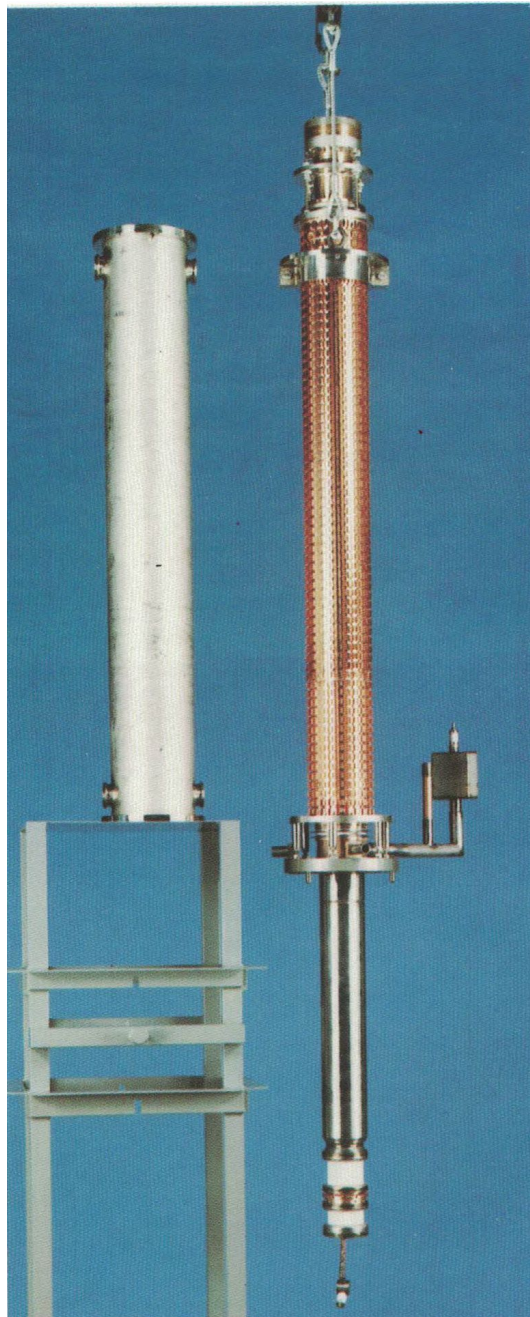
Leistungsklystron YK 1350 für CERN

- Ausgangsleistung: 1,1 MW
- Frequenz: 352 MHz
- U_a : 90 kV
- I_a : 16,6 A
- V: 40 dB



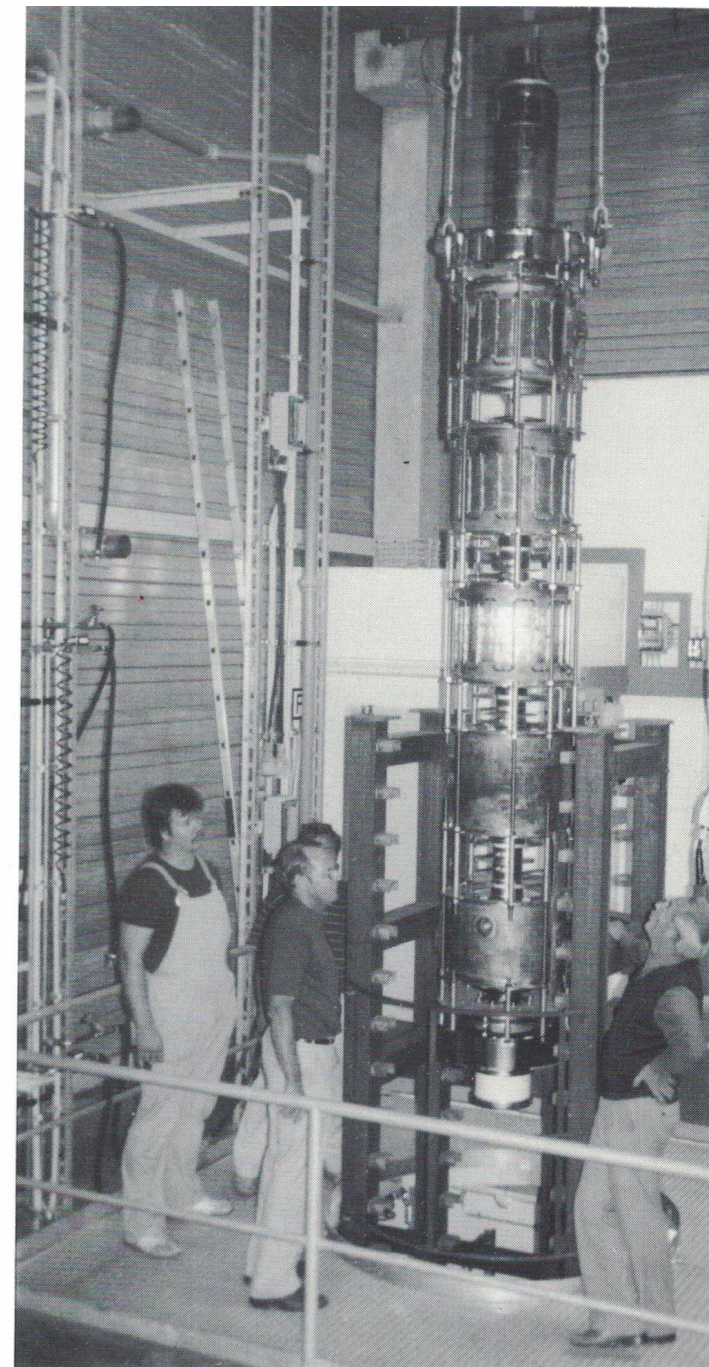
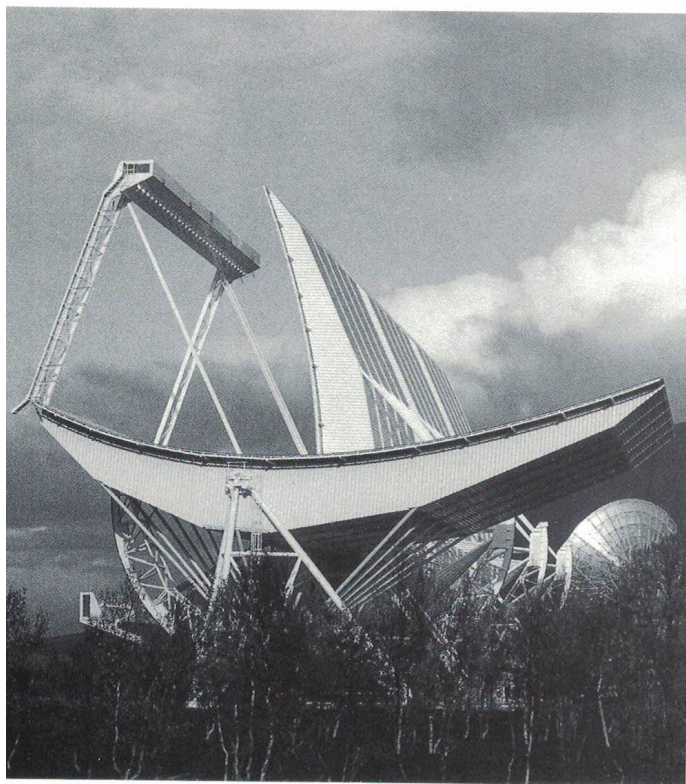
Gyrotron für KFK in Karlsruhe

- Frequenz: 70/140 GHz
- Leistung: 200 kW
- Supraleitender Magnet zur Strahlfokussierung



Leistungsklystron YK 1320 für EISCAT

- Frequenz: 224 MHz
- Leistung: 3 MW Longpulse



EISCAT: European Ionosphere Scattering Experiment



Ziel des multinationalen Projektes 1975.....

- Untersuchung der Ionosphäre
- Vorhersage von Störungen an Satelliten Orbits, GPS, und Kommunikations-Systemen
- Untersuchung von Meteor-Scatter- und Meteoriten- Phänomenen
- ab 2015 Aufbau von EISCAT 3D mit Phased Arrays



EISCAT 3D Phased Arrays