

## Kurzwellen QRP-Linear-Endstufe mit TP-Filter

Nachfolgend wird der Aufbau einer Kurzwellen-QRP-Linear-Endstufe gezeigt. Der TRX (Bild 1) liefert ein SSB-Signal im Frequenzbereich von 0,1-30MHz mit einer konstanten Ausgangsleistung von **1mW** (0dBm). In der nachfolgenden, externen PA wird das Sendesignal um **40dB** verstärkt, auf eine Ausgangsleistung von **10Watt PEP** (40dBm). Bild 2 zeigt die Schaltung der QRP-Endstufe und Bild 3 die schaltbaren Tiefpassfilter der PA für die Bänder 160, 80, 40, 20 und 10m.

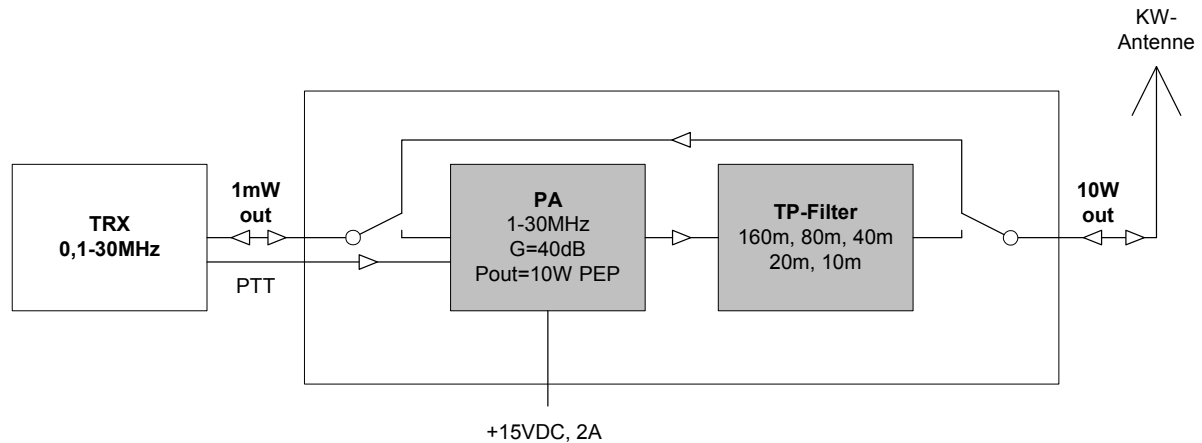


Bild 1: Blockschaltbild der PA und Tiefpassfilter

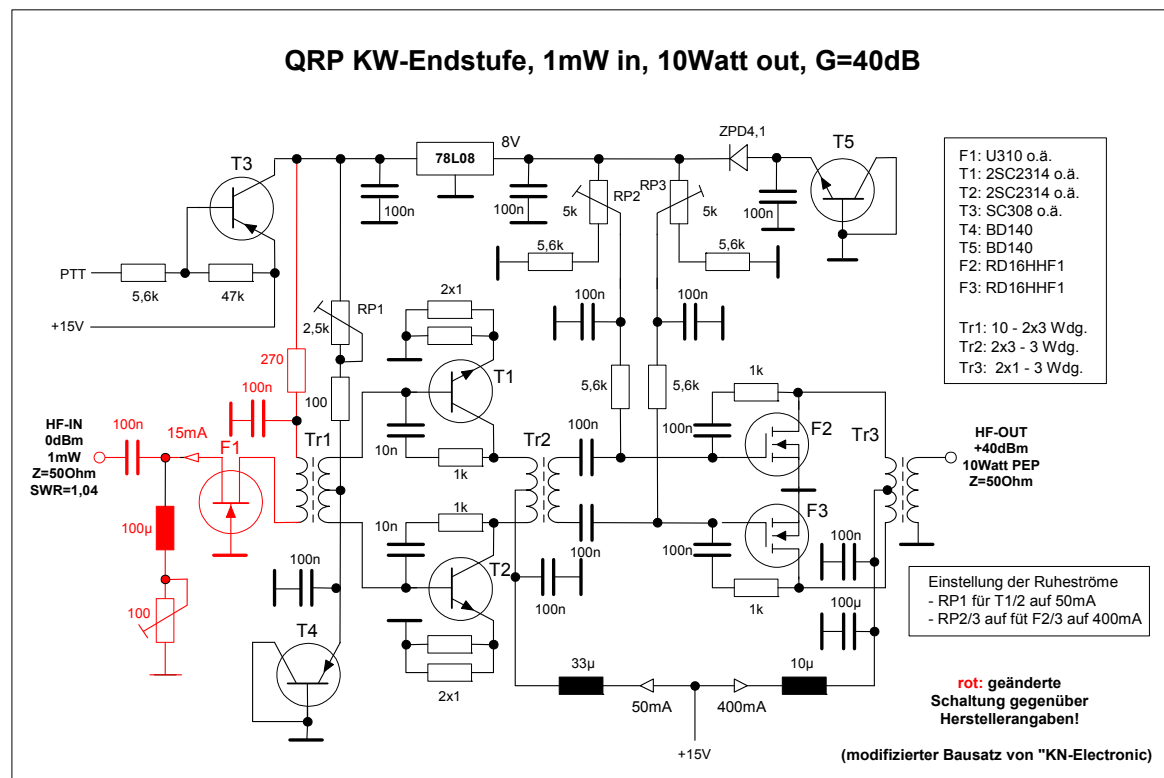


Bild2: QRP-Endstufe, Frequenzbereich 1-30MHz

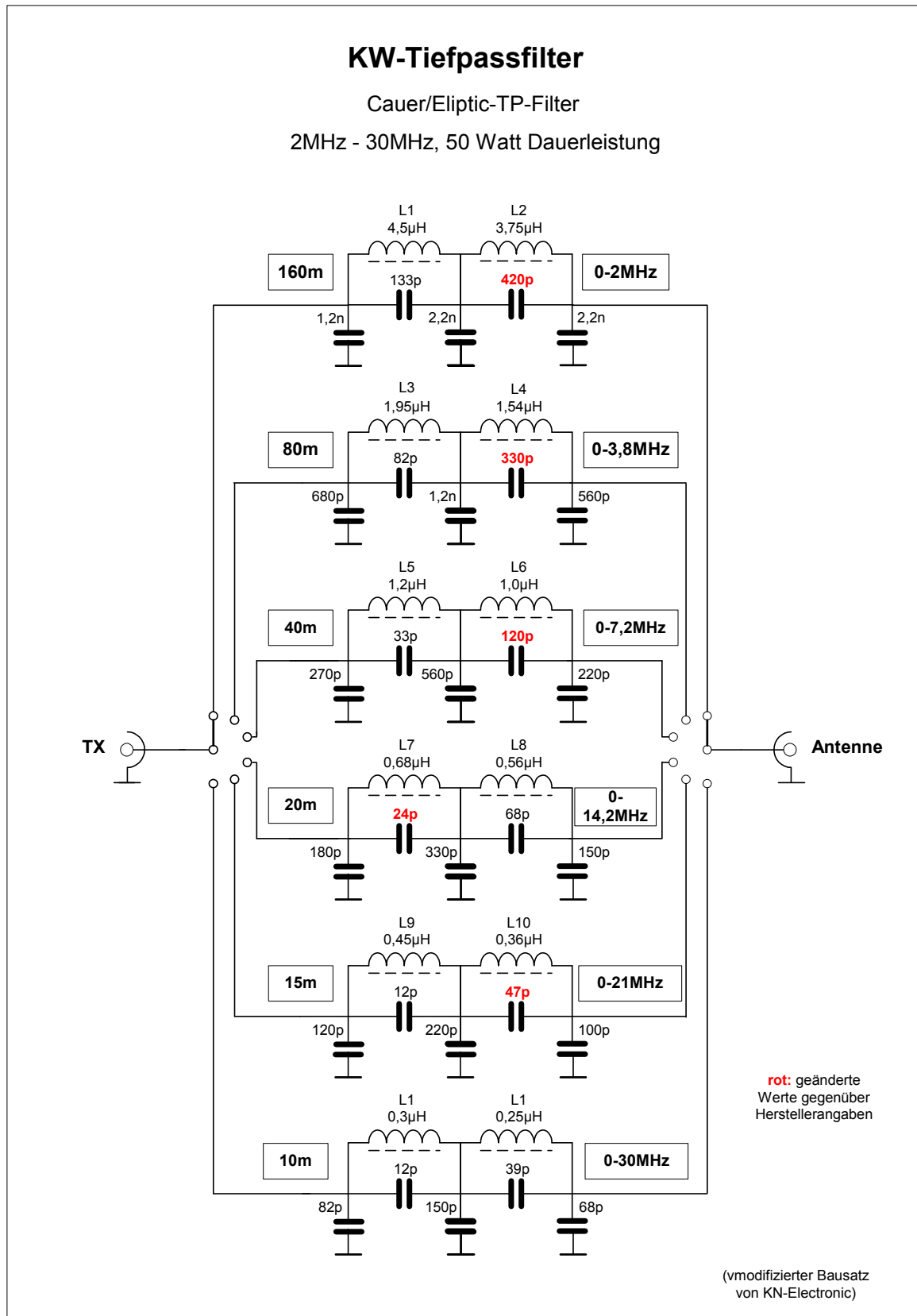


Bild 3: Tiefpass-Filter für die Bänder 160m-10m

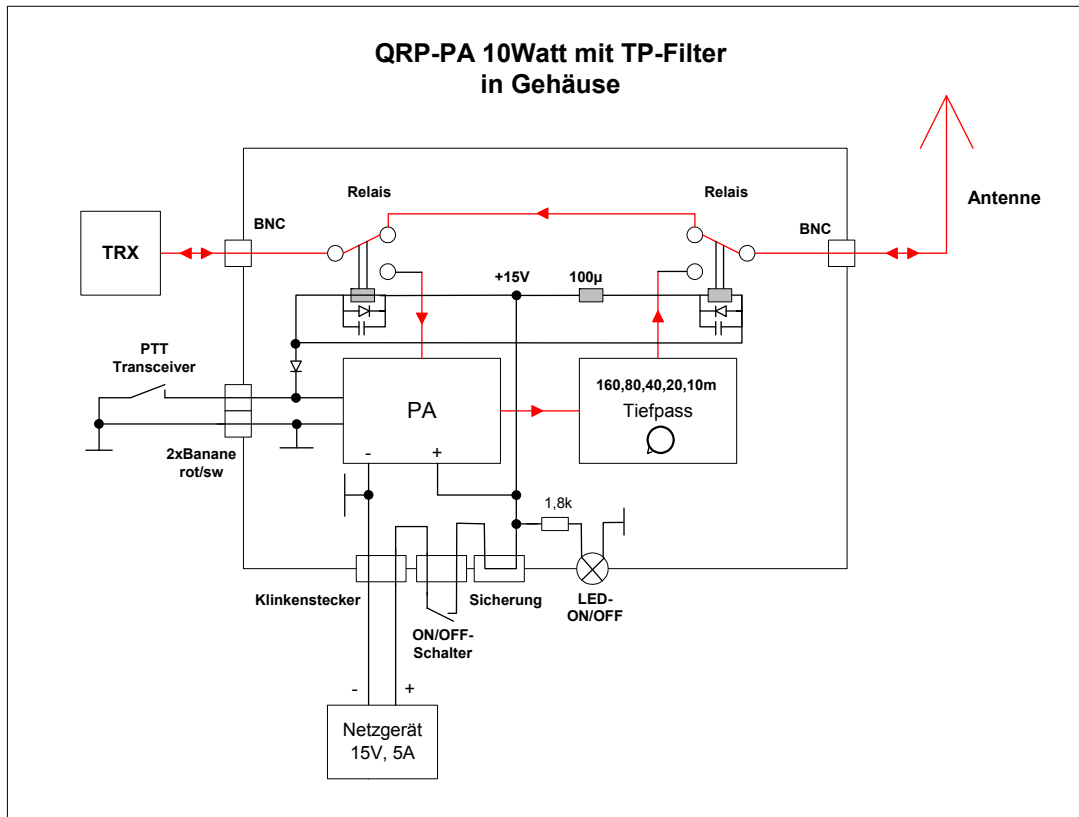


Bild 4: Aufbau der QRP-PA mit schaltbaren Tiefpass-Filtern in einem Gehäuse, s. a. Bild 17-21

### Messwerte der PA:

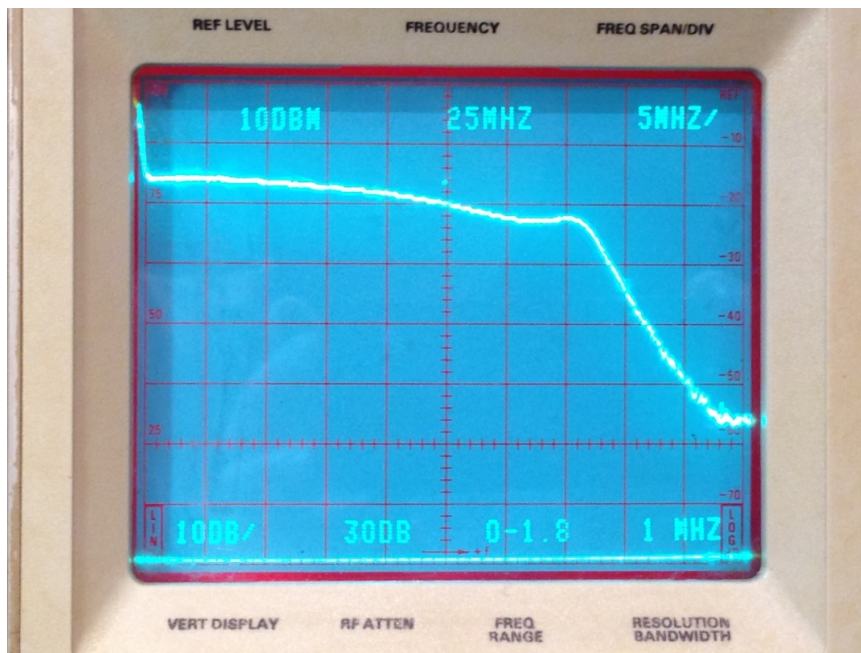
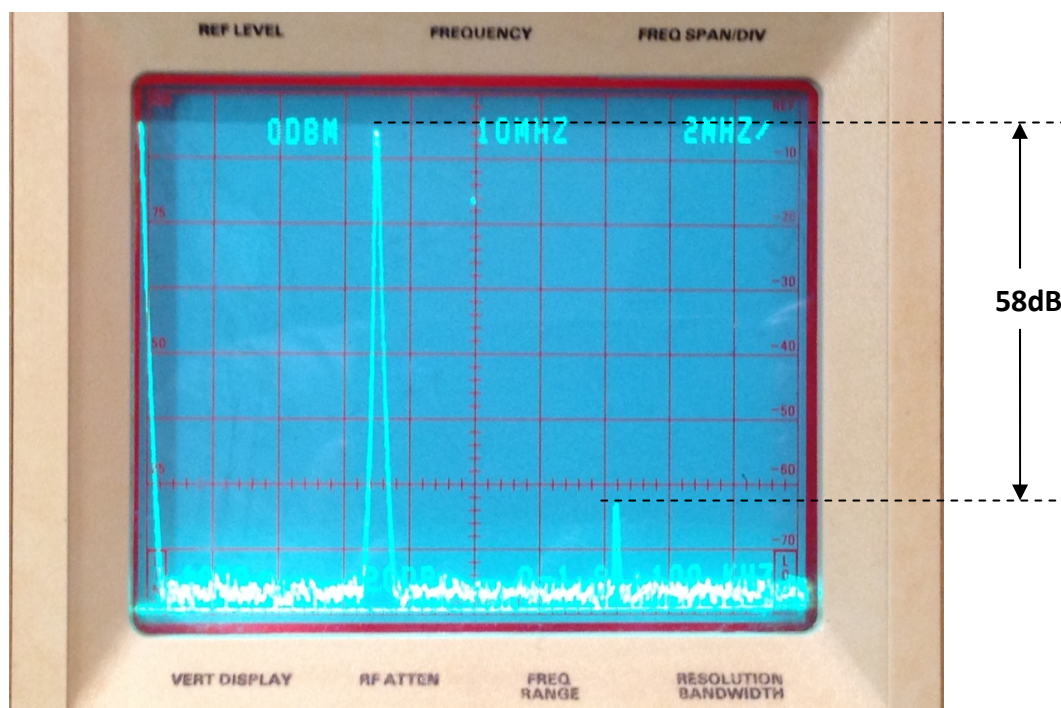
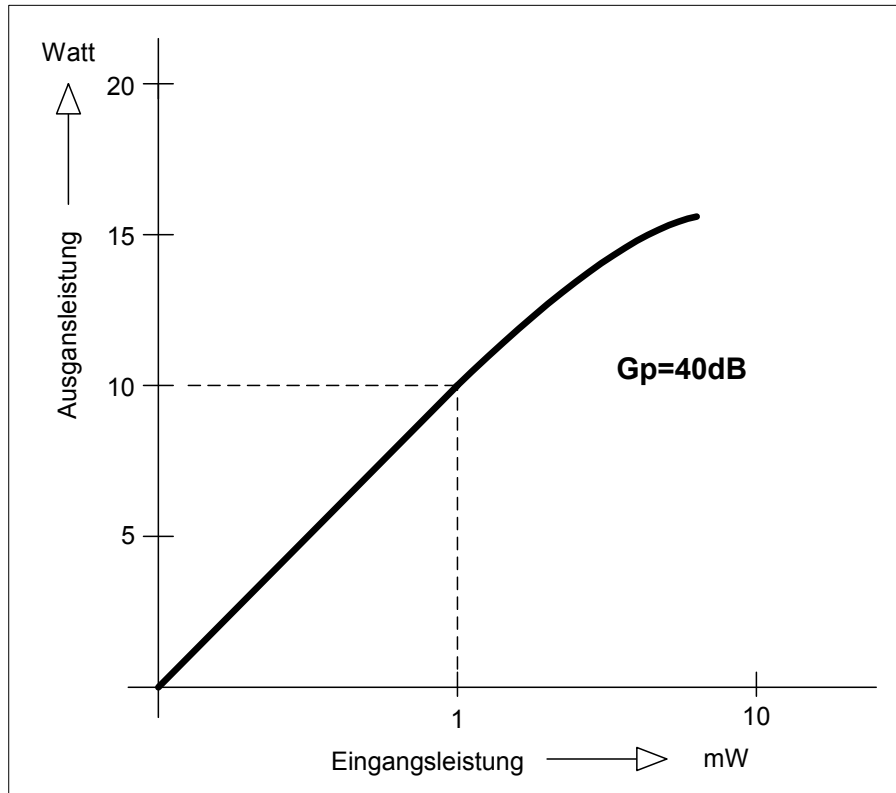


Bild 5: Gewobbelter Frequenzgang von 0,1-50MHz, gemessen mit 30MHz-TP-Filter (10m-Band)



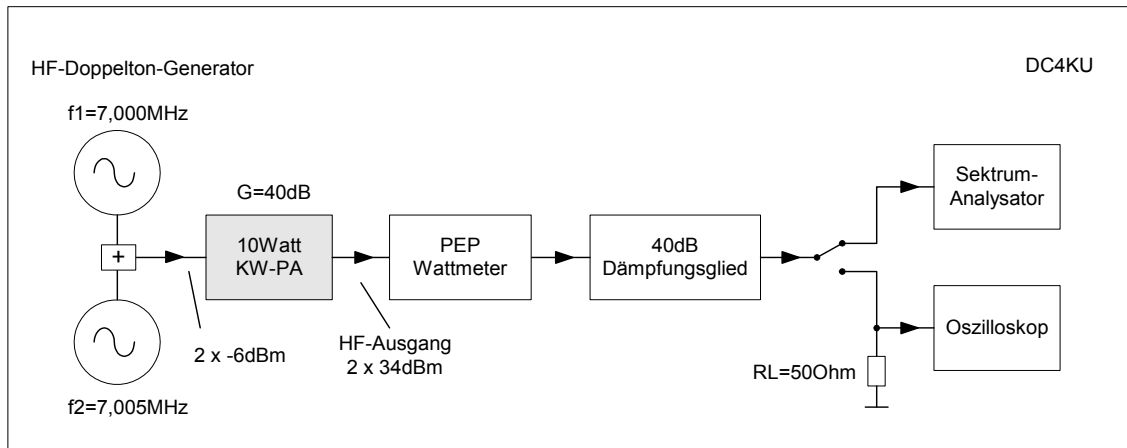
**Bild 6: Oberwellenabstand im 40m-Band**



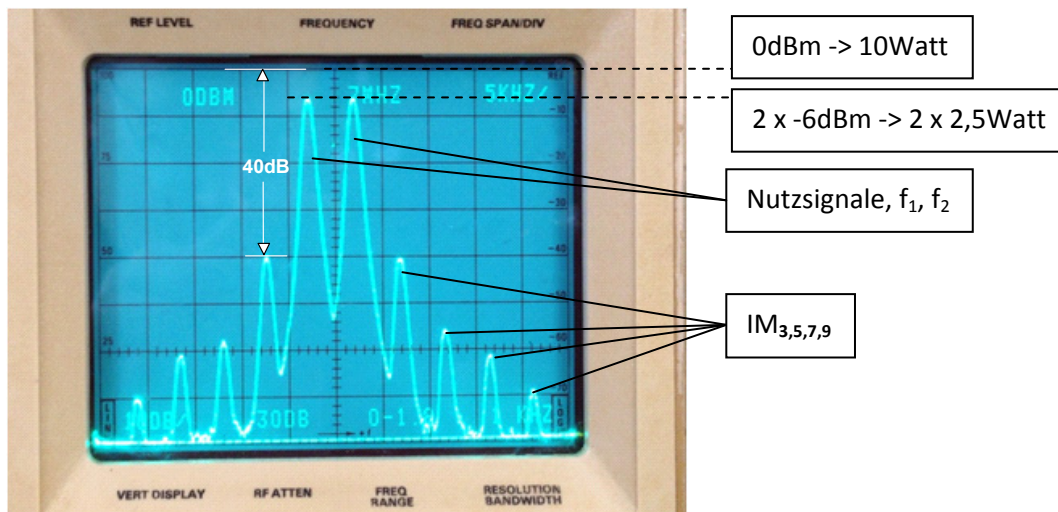
**Bild 7: Verstärkung und Linearität**

## Intermodulation der Endstufe

Den Messaufbau zur Intermodulationsmessung einer Leistungsendstufe (PA) zeigt Bild 8. Die Ansteuerung erfolgt über den HF-Doppelton-Generator aus Bild 10 mit  $2 \times -6\text{dBm}$ . Die verwendete PA verstärkt das Signal um  $40\text{dB}$  auf einen Pegel von  $2 \times 34\text{dBm}$  ( $2 \times 2,5\text{Watt}$ ). Als Messergebnis zeigt Bild 9 das um  $40\text{dB}$  gedämpfte Ausgangssignal der Endstufe am Eingang des Spektrumanalysators.



**Bild 8: Messaufbau der Intermodulationsmessung an einer KW-Endstufe**



**Bild 9: "Sauberes" Doppelton-Spektrum der 10Watt-Endstufe,  $f_1=7,000$  und  $f_2=7,005\text{MHz}$**

Folgende Ergebnisse können vom Schirmbild des Analysators direkt abgelesen werden.

**Nutzsignale:  $f_1$ ,  $f_2$  bei  $-6\text{dBm}$  ( $2 \times 2,5\text{Watt}$ ) -> 10Watt PEP**

**$IM_3$ :  $2f_1-f_2$ ,  $2f_2-f_1$ , Differenz zu den Nutzsignalen  $34\text{dBc}$ , bezogen auf PEP:  $40\text{dBc}$**

**$IM_5$ :  $3f_1-2f_2$ ,  $3f_2-2f_1$  bei  $56\text{dBc}$  bezogen auf PEP**

**$IM_7$ :  $4f_1-3f_2$ ,  $4f_2-3f_1$  bei  $60\text{dBc}$  bezogen auf PEP**

**$IM_9$ :  $5f_1-4f_2$ ,  $5f_2-4f_1$  bei  $70\text{dBc}$  Bezogen auf PEP**

IM-Produkte gerader Ordnung ( $f_1+f_2$ ,  $f_1-f_2$ ,  $3f_1-f_2$ ,  $2f_1$ ,  $2f_2$ ..) tauchen nicht auf, da sie weit außerhalb des Frequenzbandes liegen und durch das Tiefpassfilter der Endstufe unterdrückt werden.

### Intermodulation des Transmitters

Den Messaufbau der Intermodulationsmessung des SSB-Transmitters zusammen mit der QRP-Endstufe zeigt Bild 10. Im Beispiel arbeitet der Sender im 40m-Band bei 7MHz. Dem Ausgang des Senders folgt ein 40dB-Dämpfungsglied, damit der Analysator vor zu hohen Spannungen geschützt ist. Als Leistungsmessgerät kann zusätzlich ein SWR-Wattmeter zwischen geschaltet werden.

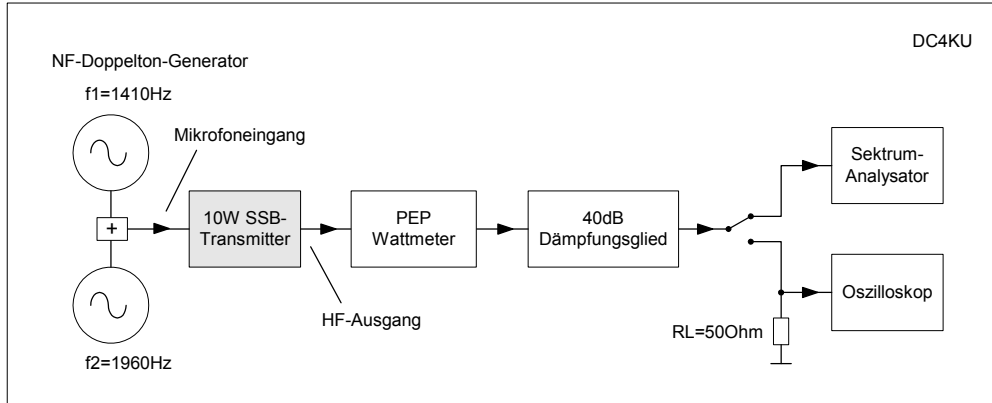


Bild 10: Messaufbau der Intermodulationsmessung an einem SSB-Transmitter

Zunächst stellt man die Pegel beider NF-Töne ( $f_1$ ,  $f_2$ ) nacheinander so ein, dass der Sender jeweils eine Leistung von 2,5Watt pro Signalton abgibt. Die PEP-Leistung beträgt dann genau 10Watt. Anschließend erfolgt die eigentliche Intermodulationsmessung des **Transmitters** (Bild 11), indem beide Töne gleichzeitig in den Mikrofoneingang des Transmitters geleitet werden.

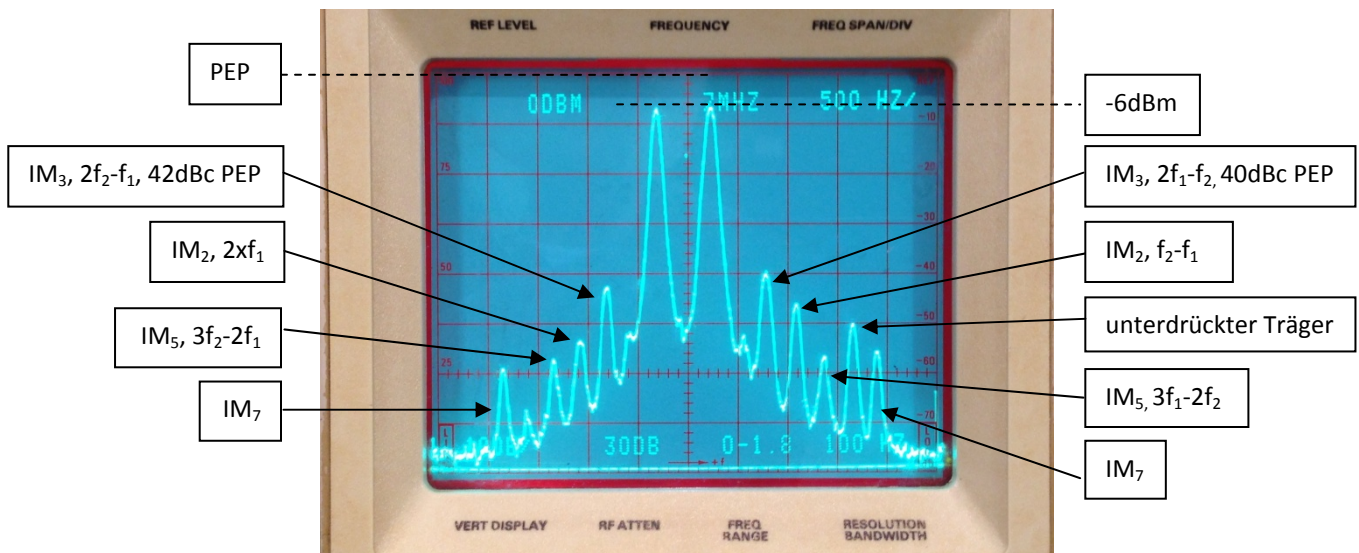
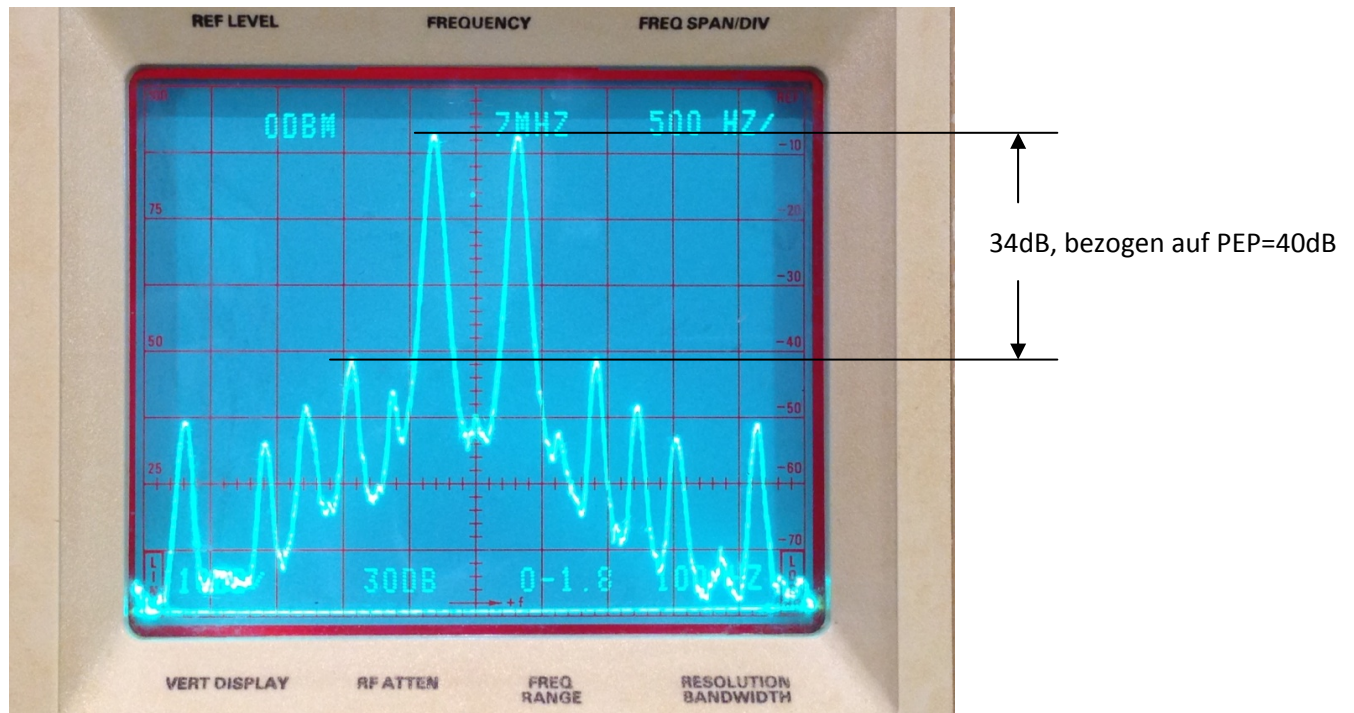


Bild 11: Ausgangsspektrum des SSB-Senders bei 2-Ton-Modulation im 40m-Band

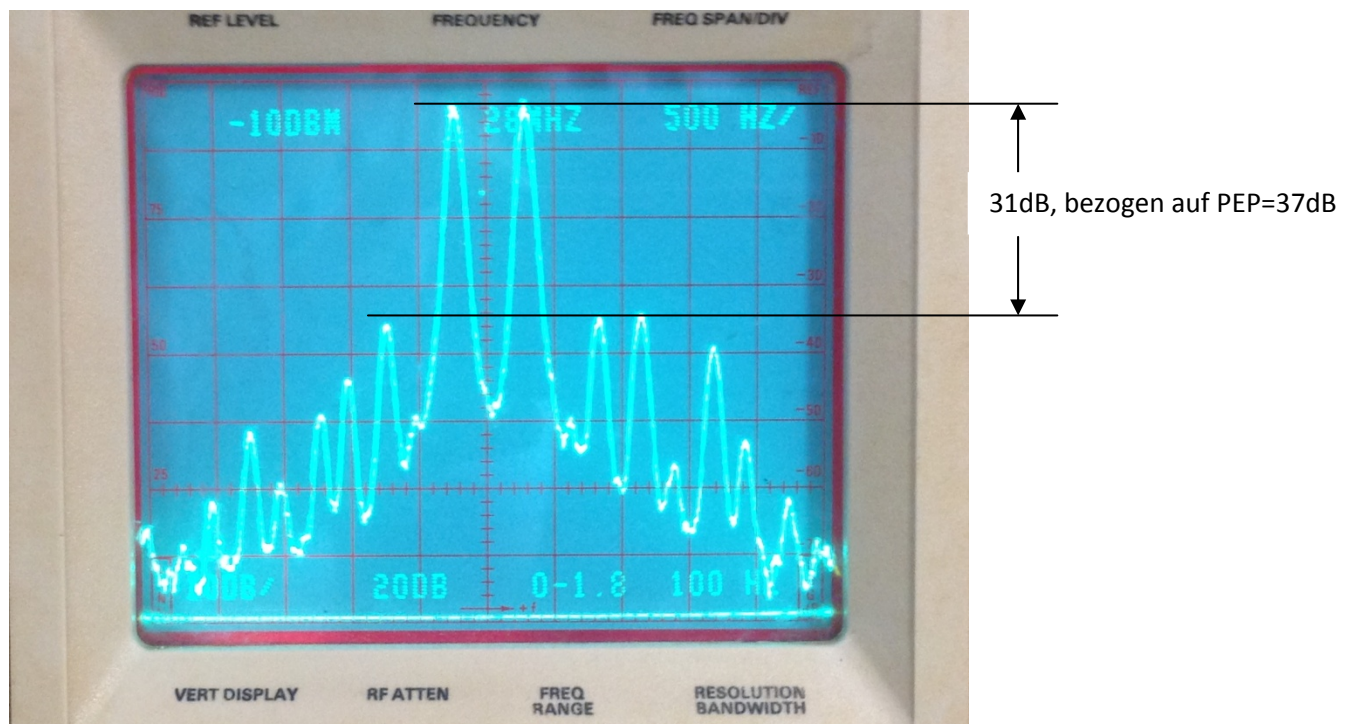
Das Schirmbild zeigt die beiden Nutzsignale ( $f_1$ ,  $f_2$ ) und noch eine ganze Reihe weiterer, unerwünschter "Störprodukte", nämlich IM-Produkte ungerader Ordnung ( $IM_3$ ,  $IM_5$ ,  $IM_7$ ,..) und grader Ordnung ( $IM_2$ , Oberwellen) sowie den Restträger. Der Abstand der Nutzsignale zu den stärksten IM-Produkten (hier  $IM_3$ ) beträgt **34dBc bzw. 40dBc bezogen auf PEP**. Vereinfacht ausgedrückt, der Verzerrungsgrad (Klirrfaktor) des Sendesignals

beträgt bei 10Watt Ausgangsleistung (PEP) ca. 1% und die Qualität des Signals ist als gut zu bezeichnen.



**Bild 12: Intermodulation des Transmitters bei 10Watt PEP und 7,1MHz**

Darstellung: 7MHz +/- 2,5kHz, NF-Frequenzen: 990Hz und 1630Hz,  $\Delta f=640\text{Hz}$



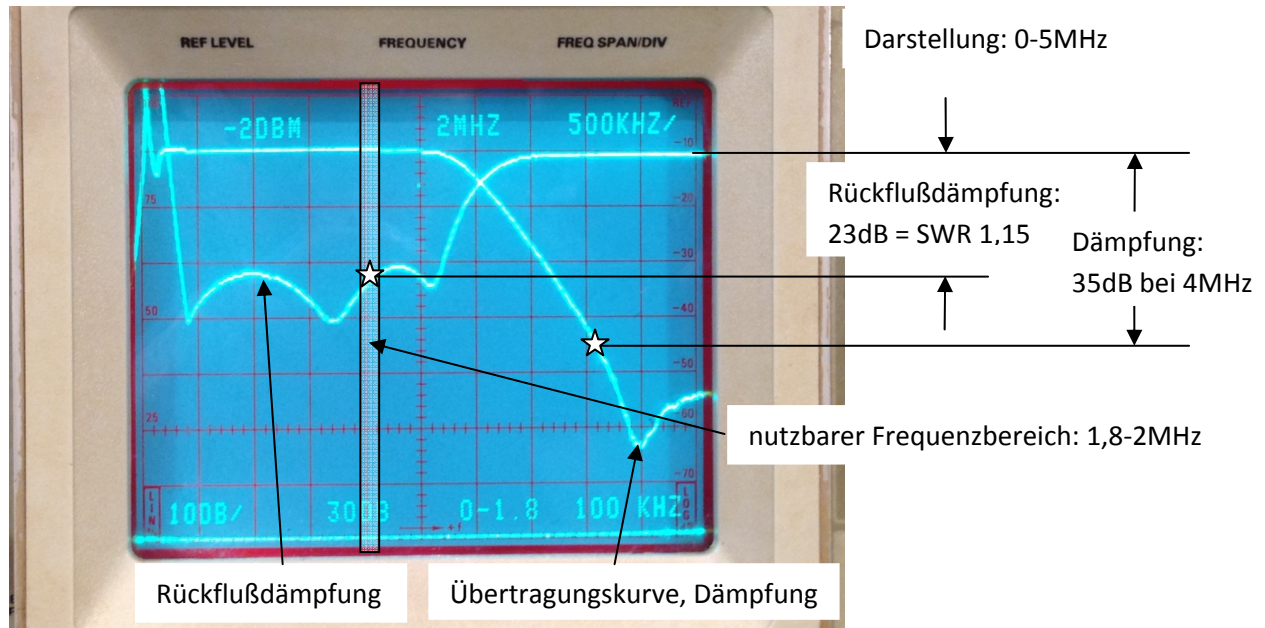
**Bild 13: Intermodulation des Transmitters bei 10Watt PEP und 28,2MHz**

Darstellung: 28,2MHz +/- 5kHz, NF-Frequenzen: 1410Hz und 1960Hz,  $\Delta f=550\text{Hz}$

## Schaltbares Tiefpassfilter

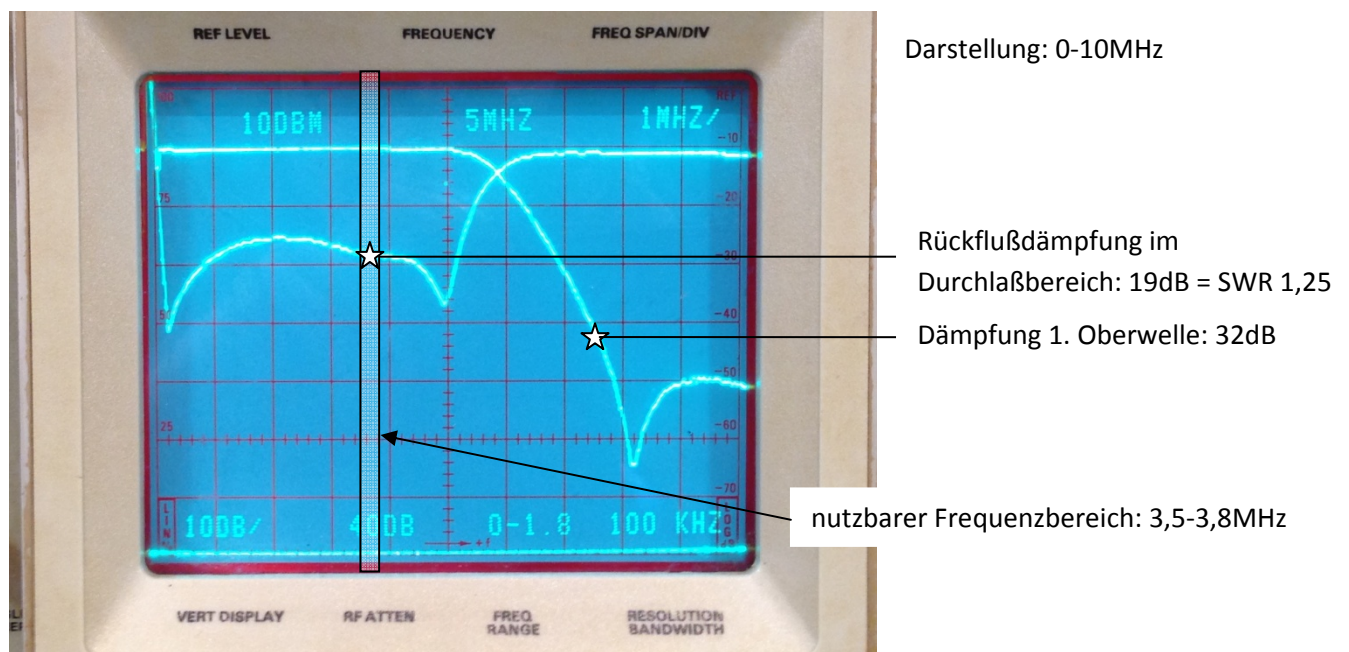
### Tiefpassfilter für das 160m-Band (1,8-2,0 MHz)

Dämpfung: 2 MHz: 0,4dB      Rückflußdämpfung: 23dB  
 4 MHz: 35dB              SWR: 1,15  
 6 MHz: 45dB              fmax: 2,7MHz



### Tiefpassfilter für das 80m-Band (3,5-3,8MHz)

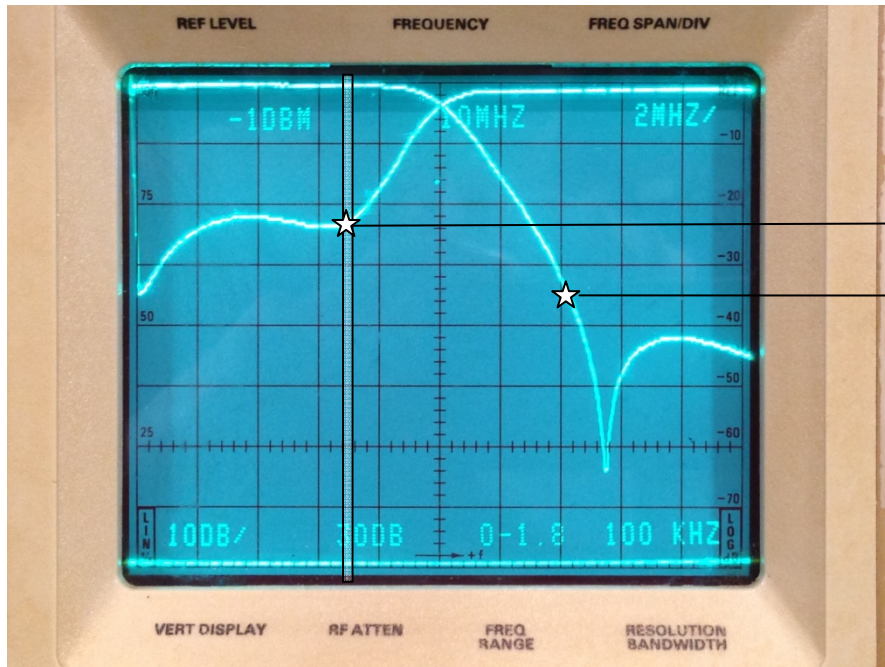
Dämpfung: 3,8 MHz: 0,2dB      Rückflußdämpfung: 19dB  
 7,6 MHz: 32dB              SWR: 1,25  
 11,4 MHz: 48dB              fmax: 5,5 MHz





**Tiefpassfilter für das 40m-Band (7,0-7,2MHz)**

Dämpfung: 7,2 MHz: 0,1dB      Rückflußdämpfung: 24dB  
 14,4 MHz: 35dB              SWR: 1,13  
 21,6 MHz: 50dB              fmax: 8 MHz

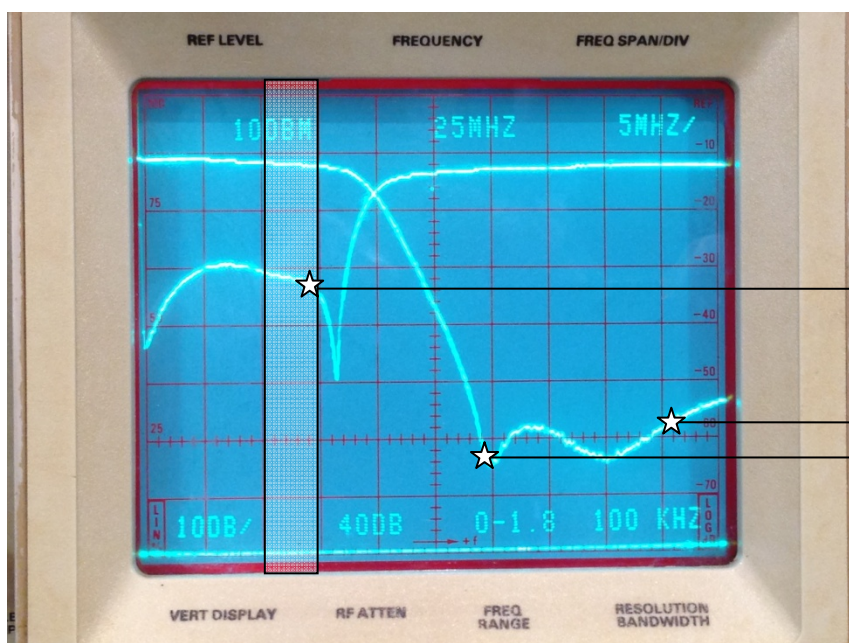


Darstellung: 0-10MHz

Rückflußdämpfung im Durchlaßbereich: 24dB = SWR 1,13  
 Dämpfung 1. Oberwelle: 35dB

**Tiefpassfilter für das 30/20m-Band (10-14,5MHz)**

Dämpfung: 14 MHz: 1,0dB      Rückflußdämpfung: 24dB  
 28 MHz: 54dB              SWR: 1,13  
 42 MHz: 46dB              fmax: 18 MHz



Darstellung: 0-50MHz

Rückflußdämpfung im Durchlaßbereich: 24dB = SWR 1,13  
 Dämpfung 2. Oberwelle: 46dB  
 Dämpfung 1. Oberwelle: 54dB

**Tiefpassfilter für das 17/15m-Band (18-21,5MHz)**

Dämpfung: 21 MHz: 0,2dB

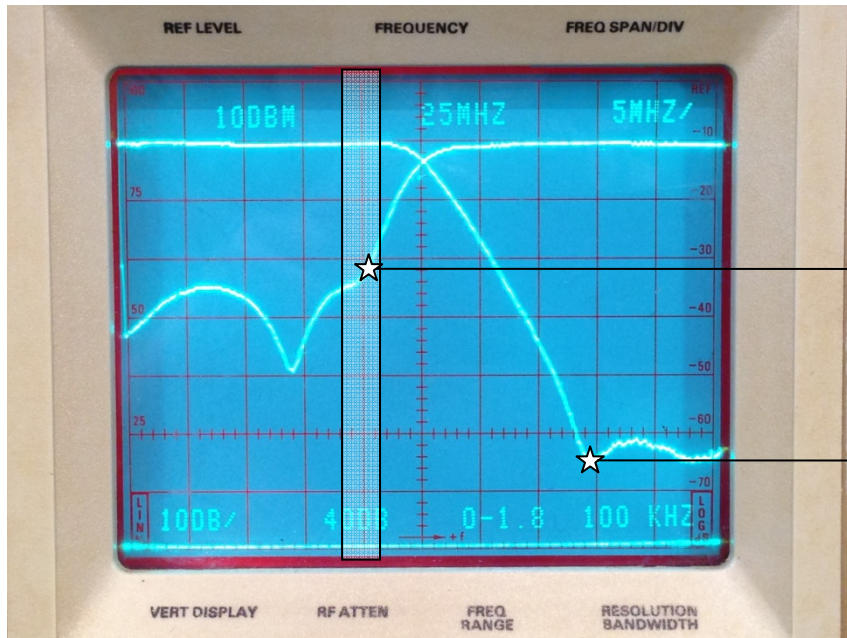
42 MHz: 55dB

63 MHz: 48dB

Rückflußdämpfung: 24dB

SWR: 1,13

fmax: 23 MHz



Darstellung: 0-50MHz

Rückflußdämpfung im  
Durchlaßbereich: 22dB = SWR 1,17

Dämpfung 1. Oberwelle: 55dB

**Tiefpassfilter für das 10m-Band (28-29,7MHz)**

Dämpfung: 28,5 MHz: -0,2dB

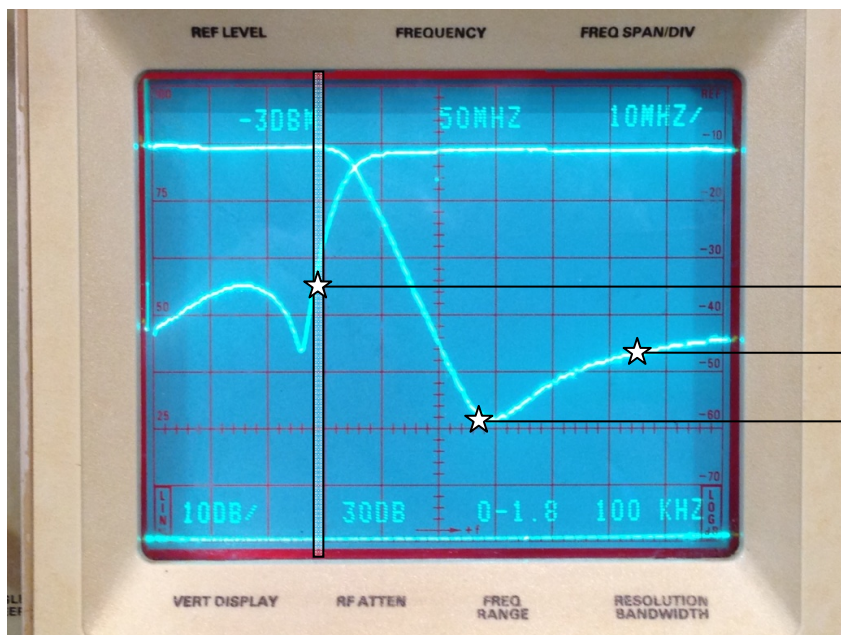
60 MHz: -48dB

90 MHz: -36dB

Rückflußdämpfung: 25dB

SWR: 1,12

fmax: 33 MHz

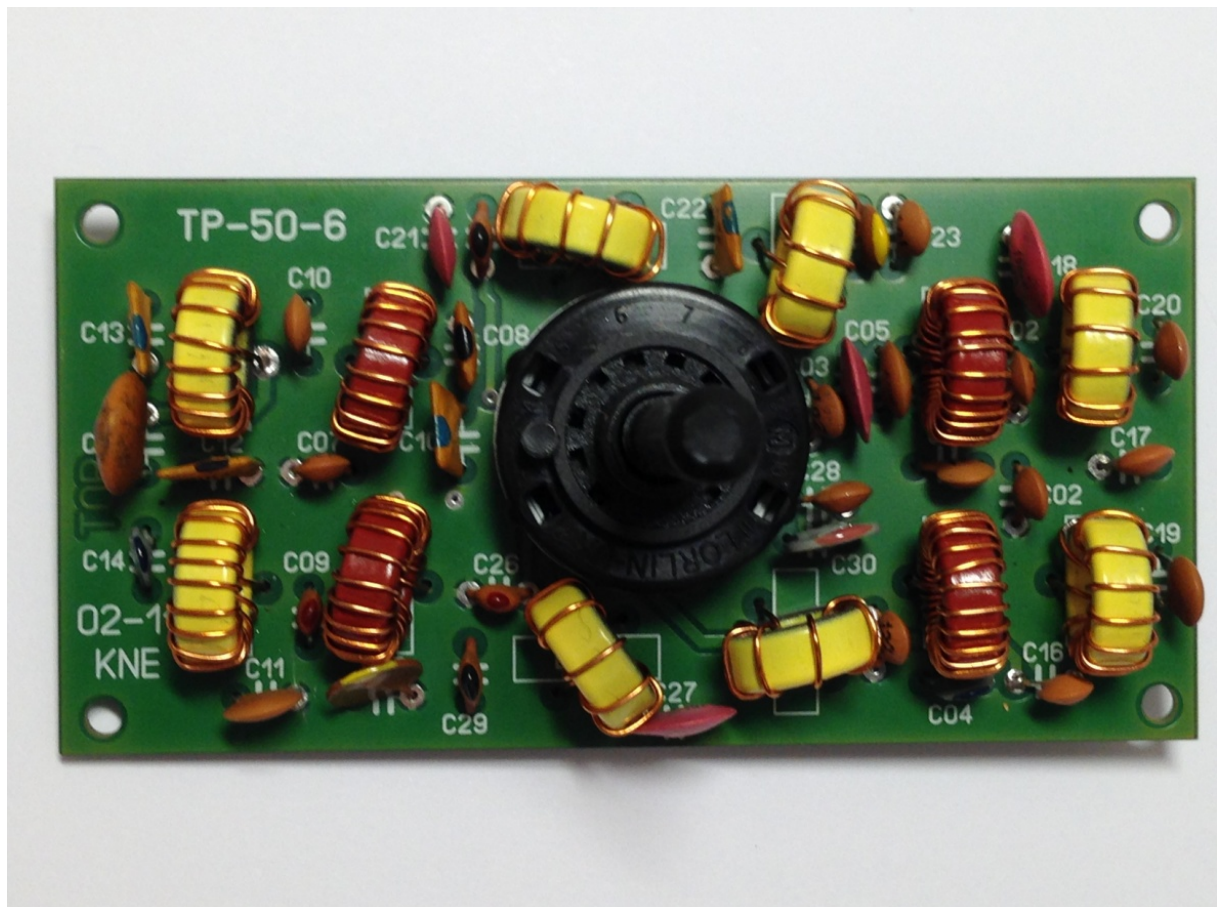


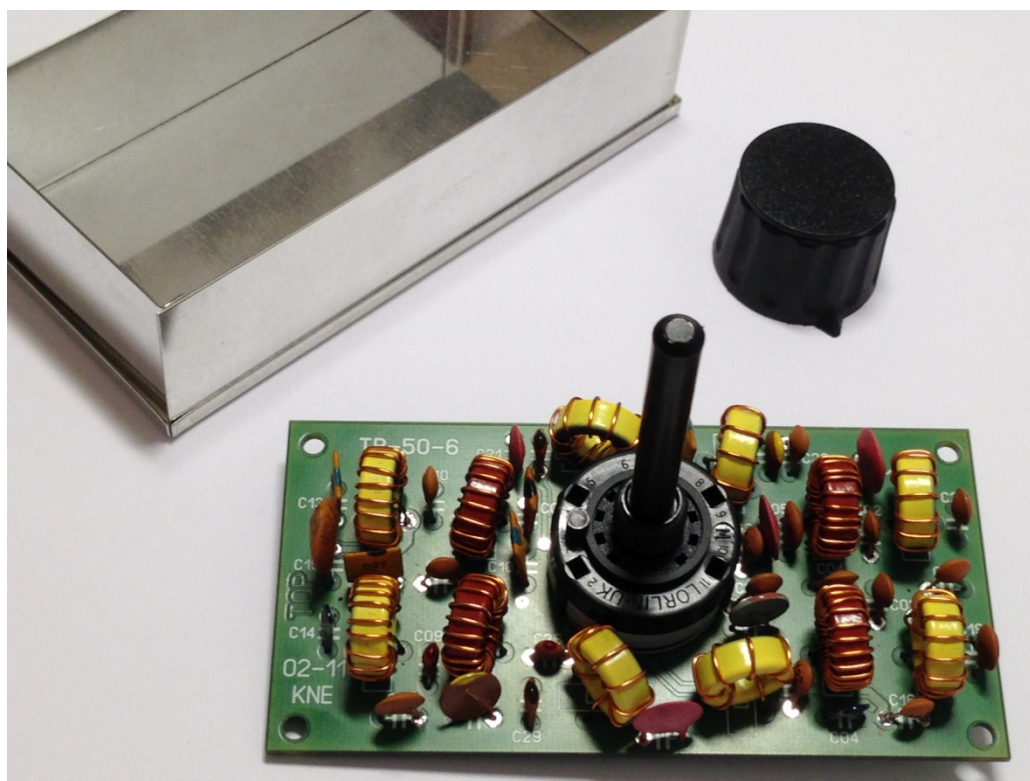
Darstellung: 0-100MHz

Rückflußdämpfung im  
Durchlass: 25dB = SWR 1,12Dämpfung 2. Oberwelle  
90MHz: 36dBDämpfung 1. Oberwelle  
60MHz: 48dB

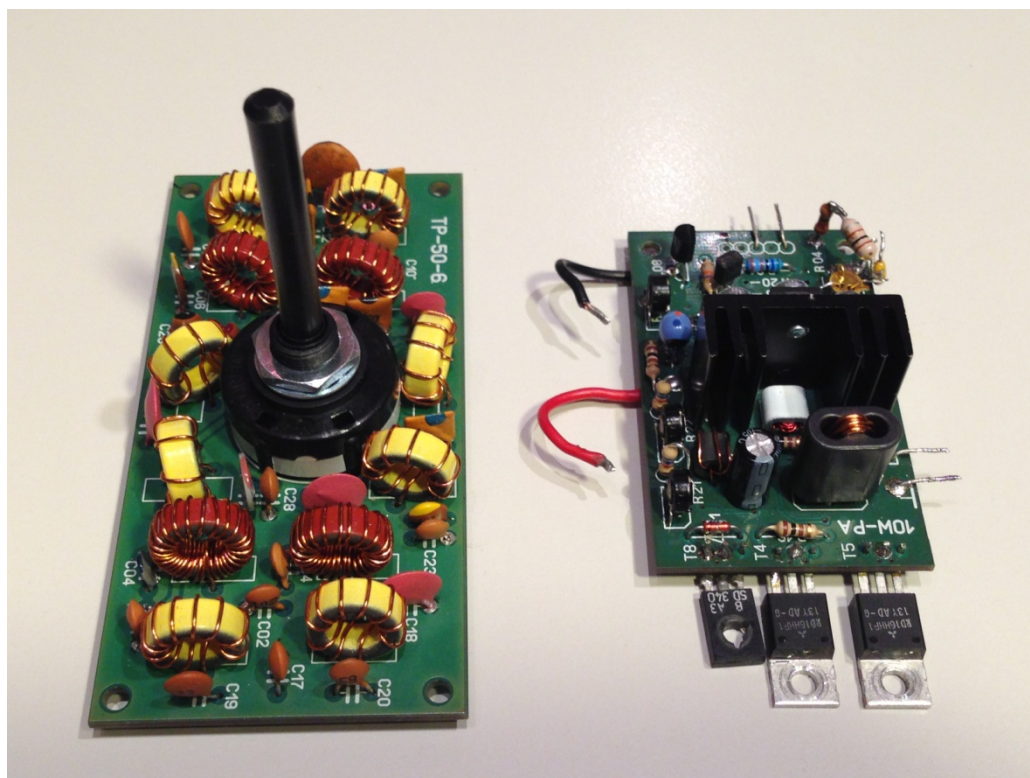
**Messwerte der Tiefpassfilter:**

Band	Frequenz	Oberwellenunterdrückung		Rückflußdämpfung im Durchlaßbereich	SWR
		1. Oberwelle	2. Oberwelle		
160m	1,8-2,0MHz	35dB	45dB	23dB	1,15
80m	3,5-3,8MHz	32dB	48dB	19dB	1,25
40m	7-7,2MHz	35dB	50dB	24dB	1,13
20m	14-14,5MHz	54dB	46dB	24dB	1,13
15m	21-21,45MHz	55dB	48dB	22dB	1,17
10m	28-30MHz	48dB	36dB	25dB	1,12

**Bild 14: 6-Band LC-Tiefpassfilter-Filter für den Frequenzbereich 1,8 - 30 MHz**



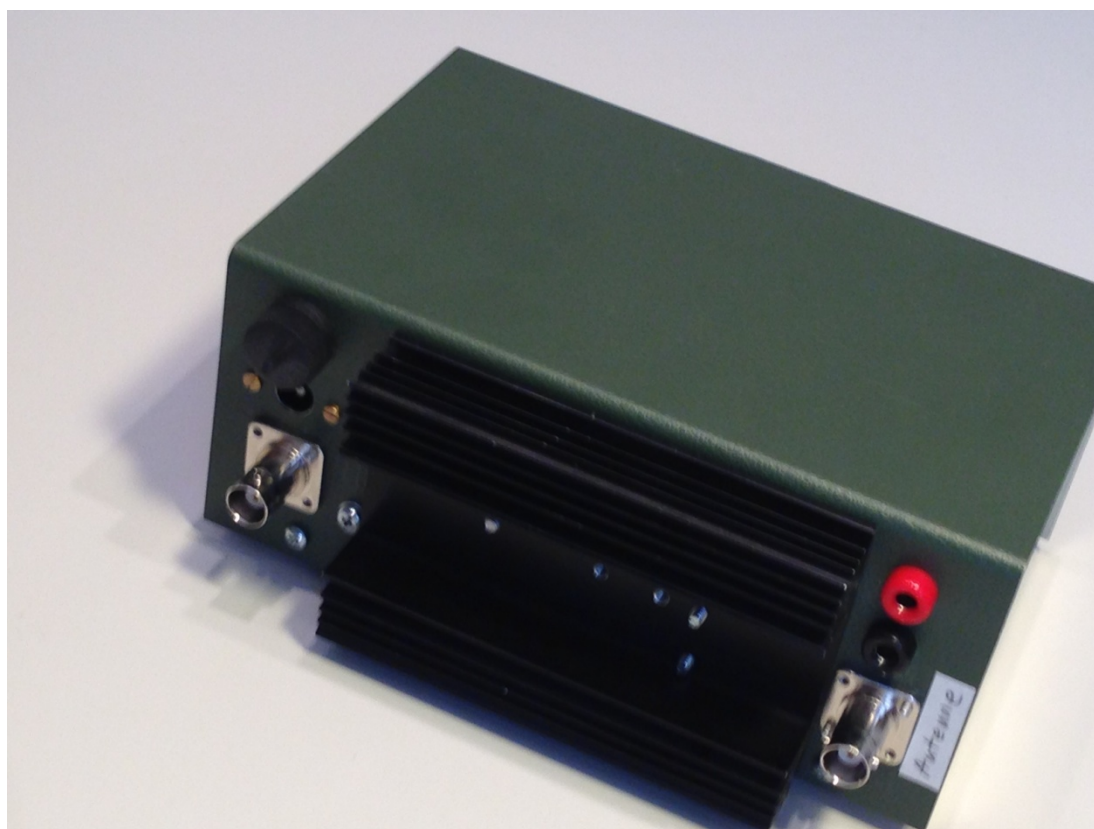
**Bild 15: TP-Filter vor dem Einbau in ein abschirmendes Blechgehäuse**



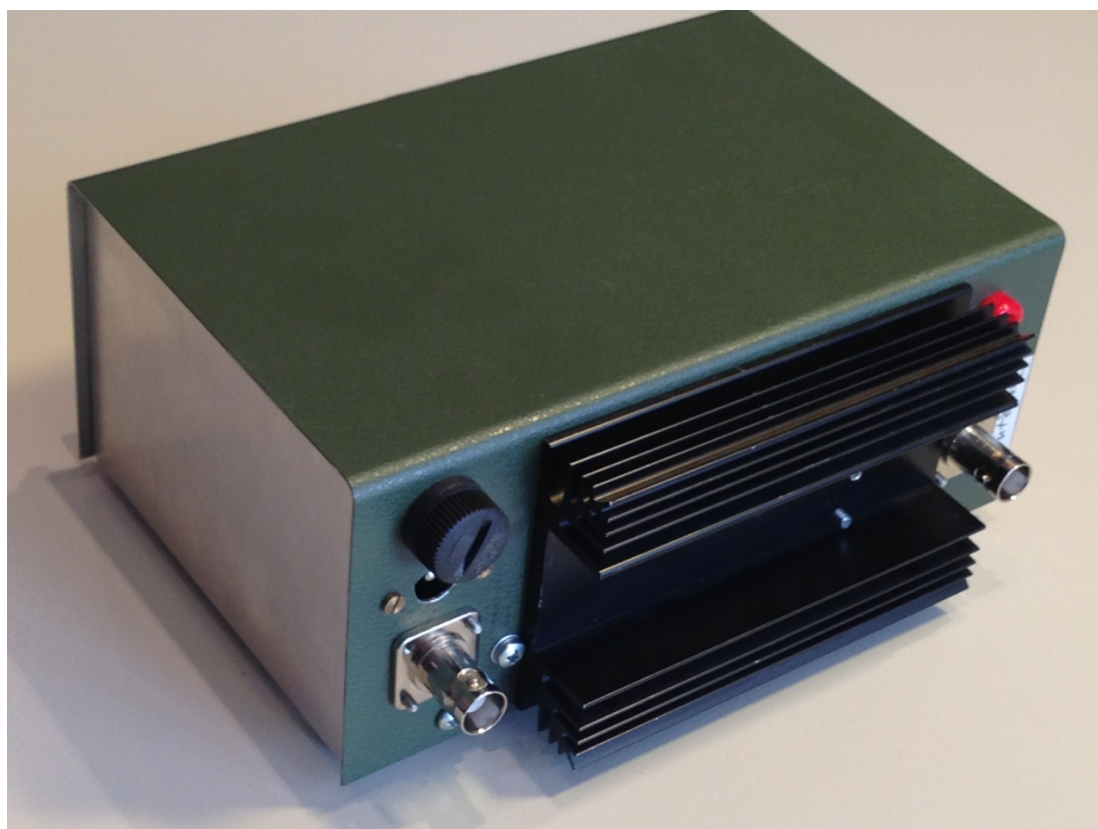
**Bild 16: TP-Filter und 10Watt Kurzwellen QRP-PA**



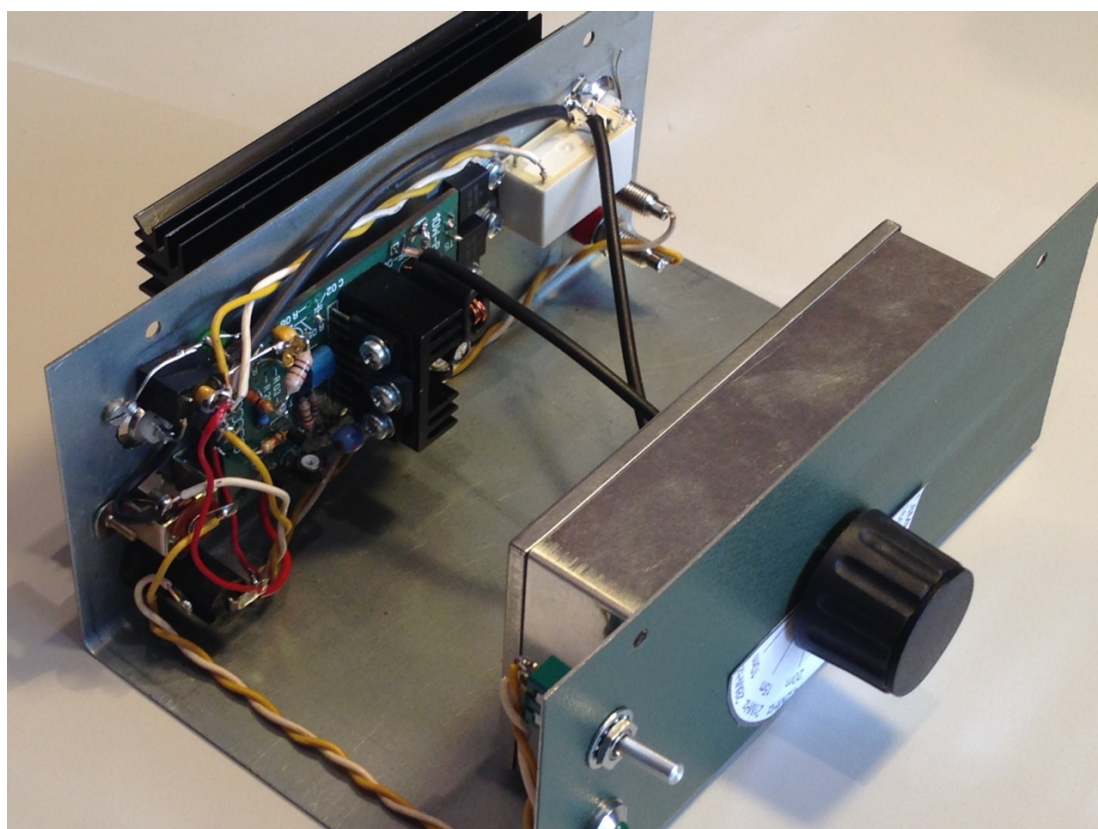
**Bild 17: PA Gehäuse**



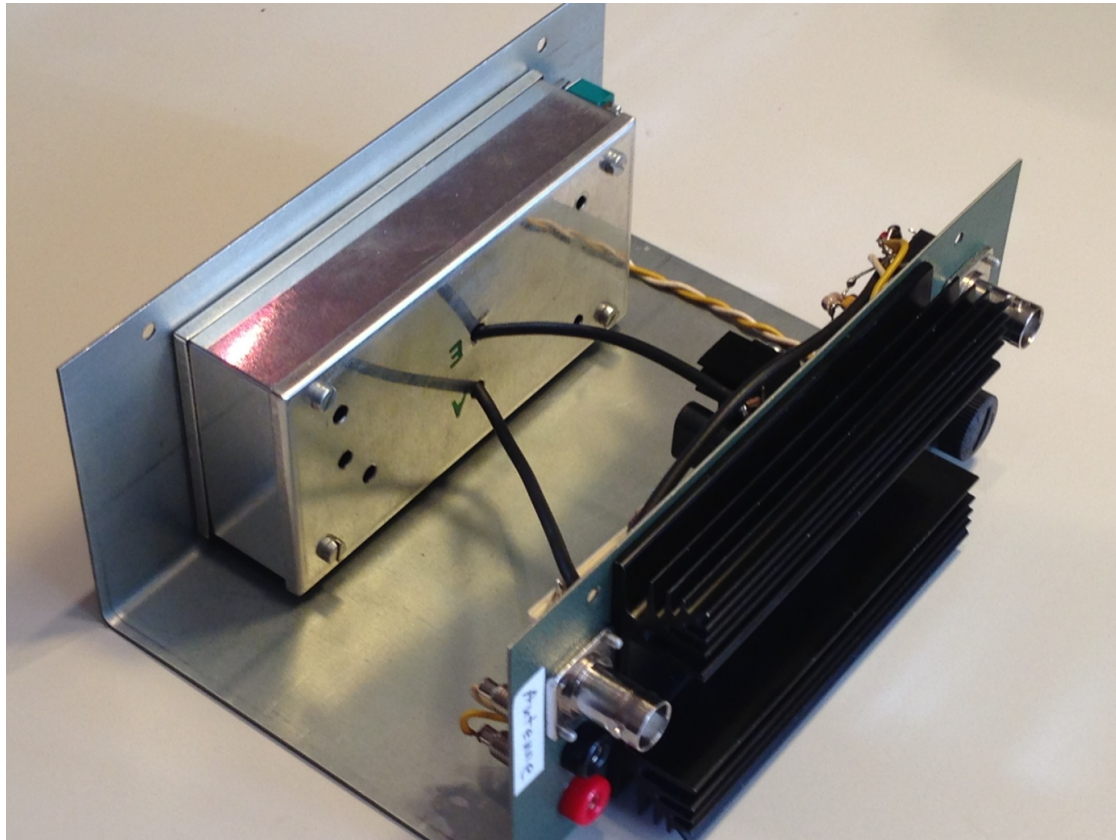
**Bild 18: PA Gehäuse, Rückseite**



**Bild 19: PA-Gehäuse, Rückseite**



**Bild 20: Blick auf PA mit Relais**



**Bild 21:** Blick auf TP-Filter in Weißblechgehäuse

#### Literatur:

**- KW-Tiefpassfilter**

<https://dc4ku.darc.de/KW-Tiefpassfilter.pdf>

**- Intermodulationsmessung an KW-Sendern und KW-Endstufen**

[https://dc4ku.darc.de/Intermodulationsmessung\\_an\\_HF-Sendern.pdf](https://dc4ku.darc.de/Intermodulationsmessung_an_HF-Sendern.pdf)

**- NF-Doppelton-Generator für IM3-Messungen an SSB-Sendern**

<https://dc4ku.darc.de/NF-Doppelton-Generator.pdf>

**- HF-Doppelton-Generator für IM3-Messungen an SSB-Endstufen und -Empfängern**

<https://dc4ku.darc.de/HF-Doppelton-Generator.pdf>

**- SWR Power-Meter und PEP-Anzeige**

[https://dc4ku.darc.de/SWR-Powermeter\\_PEP-Anzeige.pdf](https://dc4ku.darc.de/SWR-Powermeter_PEP-Anzeige.pdf)

Werner Schnorrenberg,  
DC4KU, [dc4ku@darc.de](mailto:dc4ku@darc.de)  
02. Dez. 2014

Rev.: 25.08.2015, 25.05.2016, 19.08.2016