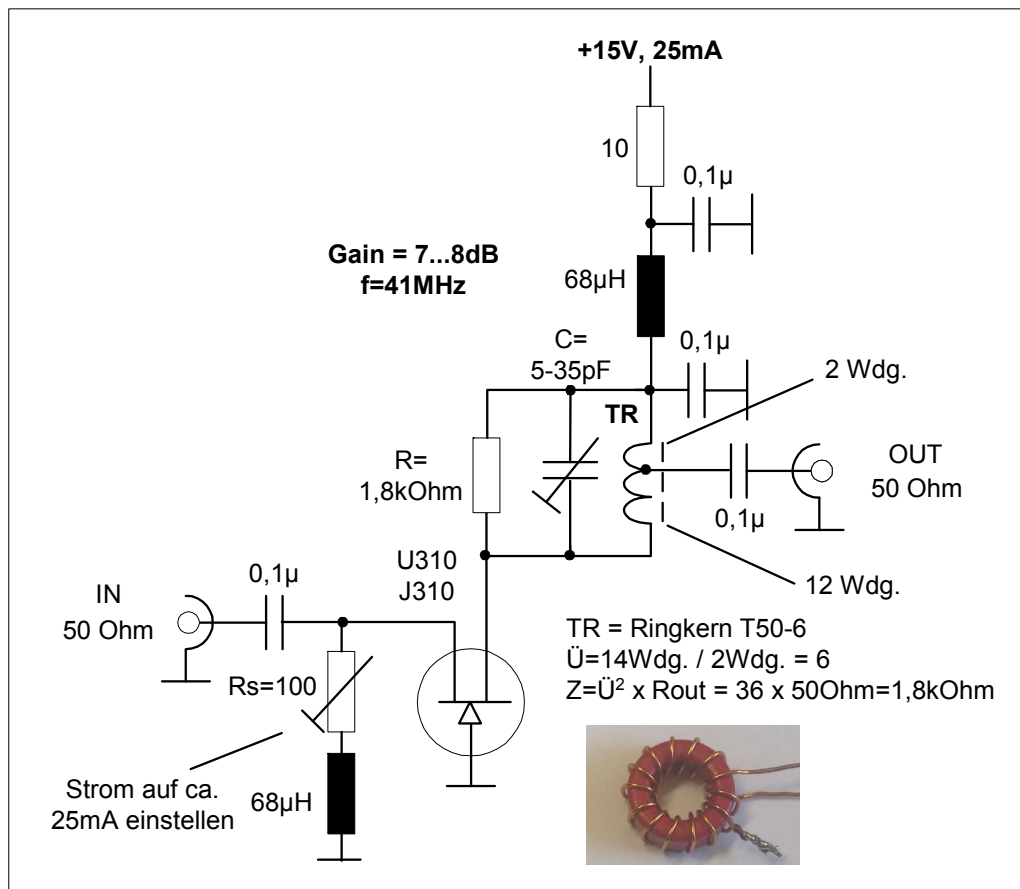


# Großsignalfeste ZF-Verstärkerstufe



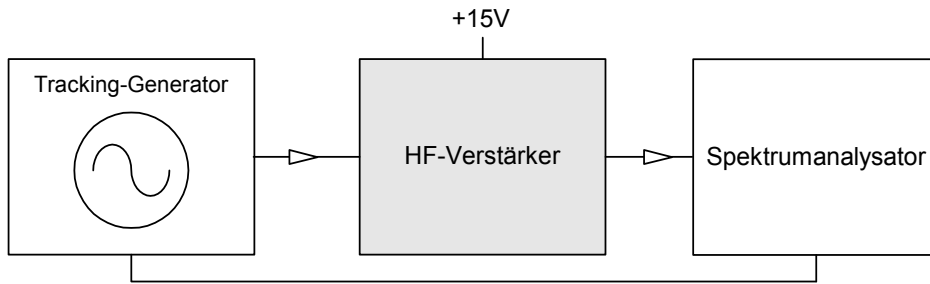
**Bild 1: Großsignalfester HF-Verstärker, im Beispiel für ZF=40,525MHz**

## Daten

- Frequenz: 40,525MHz (1. ZF von KW-Receiver)
- nutzbarer Frequenzbereich: 9-70MHz, abhängig von C
- 3dB-Bandbreite: +/-7,5MHz (gewählte Resonanz bei 41 MHz)
- Verstärkung: 7...8dB
- Rauschen: 1,5dB
- IP3=27,5dBm
- Wickelraten: insgesamt 14 Windungen, L=96µF, C=15..22pF, Anzapfung nach 2 Windungen
- Eingangsimpedanz: Z=50 Ohm
- Ausgangsimpedanz: Z=50 Ohm
- Eingangs-Reflexionsfaktor: 25dB
- Ausgangs-Reflexionsfaktor: >30dB
- Ringkern (TR): T50-2 (rot), Eisenpulverkern
- Ra= 1800 Ohm
- $\dot{U}=14/2=6$ ;  $R=\dot{U}^2 \times Z_{\text{out}} = 6^2 \times 50 \text{ Ohm} = 1,8 \text{ kOhm}$
- Rückwärtsentkopplung: <40dB

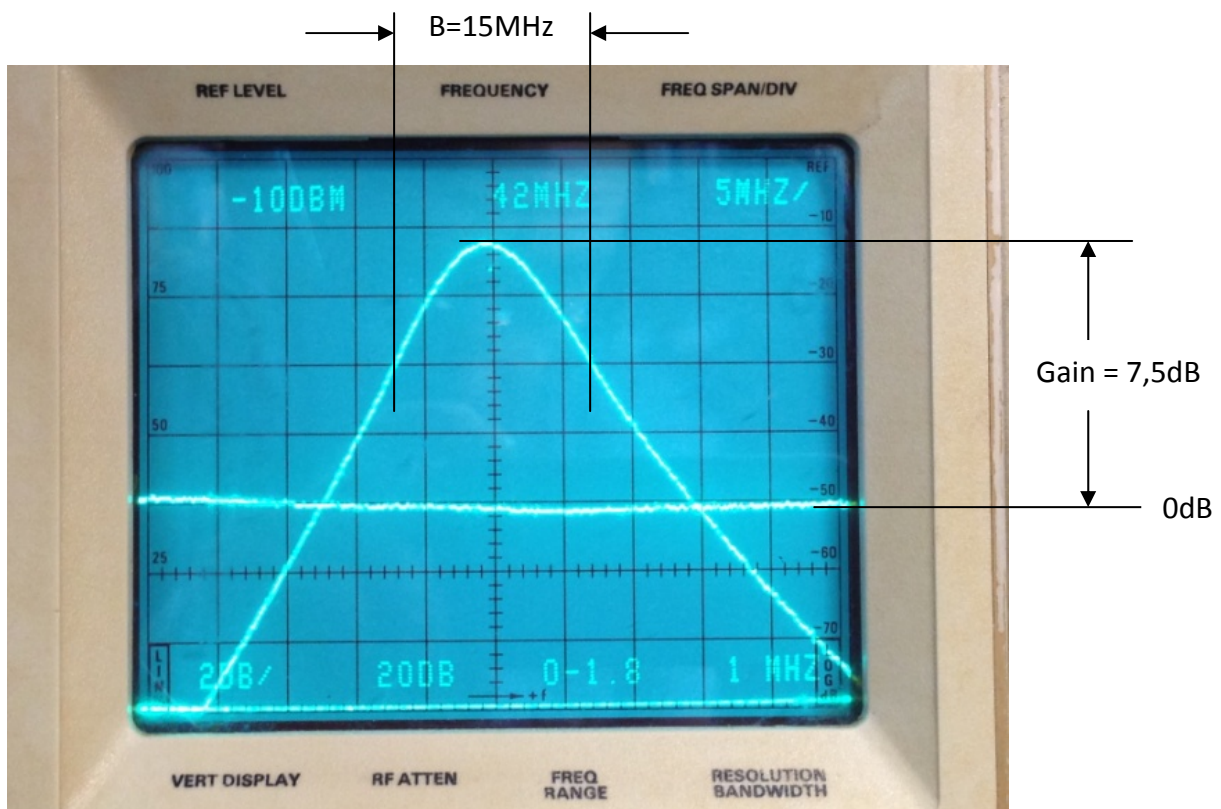
Hinweis: Eine halbe Windung CuL mehr oder weniger hat schon einen Einfluss auf die Impedanz-Transformation des Ringkerns. Für eine gute Ausgangsanpassung muß "R" in den meisten Fällen angepasst, zwischen 1,8...2,2kOhm. Das muß getestet werden, am besten mit einem Trimpoti.

## 1) Messung von Bandbreite und Verstärkung



**Bild2: Messaufbau für Verstärkung und Bandbreite**

Der HF-Verstärker wird zwischen Tracking-Generator (Mitlaufgenerator) und Spektrumanalysator geschaltet und der TR auf z.B. -20dBm eingestellt. Den abgebildeten Frequenzbereich so wählen, dass die 3dB-Bandbreite noch ablesbar ist. Im Beispiel werden 42MHz Mittenfrequenz +/- 25MHz abgebildet. Die gleiche Messung kann man auch schrittweise mit einem HF-Signalgenerator anstelle des Tracking-Generators durchführen.

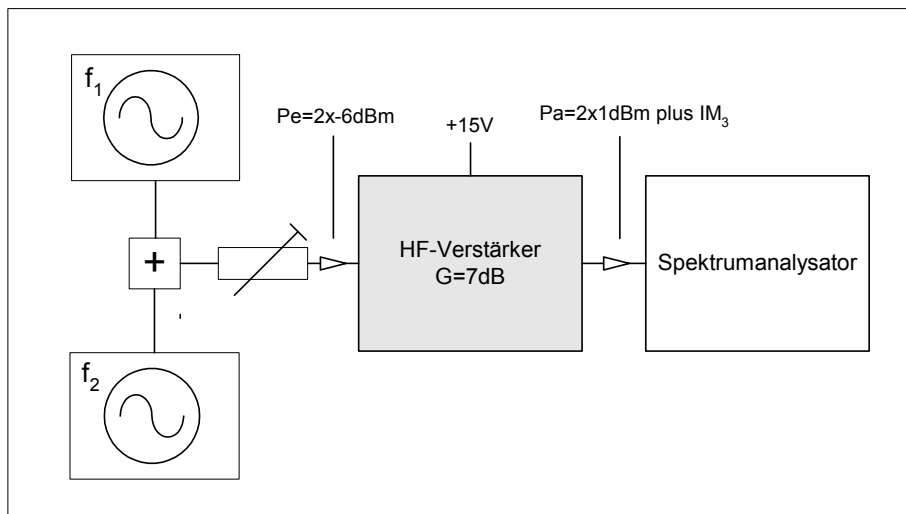


**Bild 3: Messkurve der Verstärkung und Bandbreite (-3dB), vertikal 2dB/Div**

Die gewobbelte Kurve zeigt bei Resonanz eine max. Verstärkung von 7,5dB und eine 3dB-Bandbreite von +/-15MHz. Wird der HF-Verstärker innerhalb einer ZF-Stufe eines Empfängers eingesetzt, ist die Bandbreite unwesentlich.

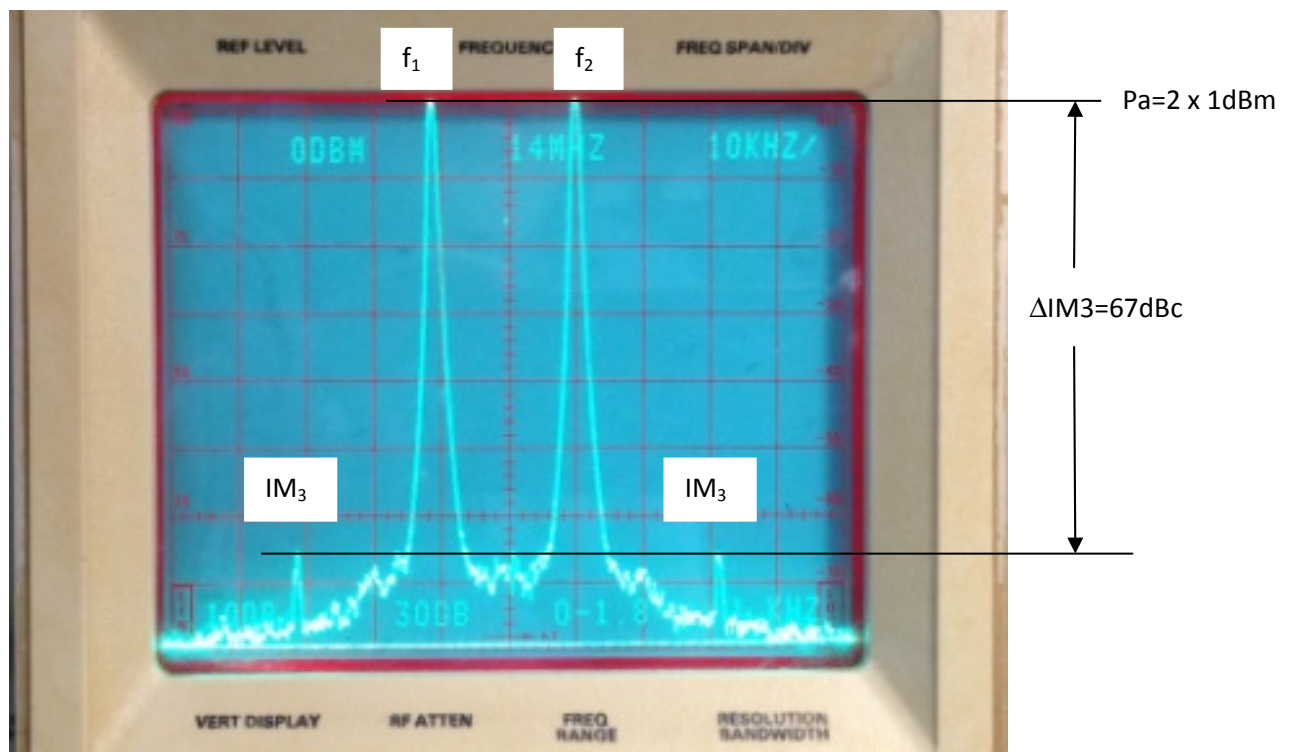
Durch Änderung (Vergrößerung) von C lässt sich bei Bedarf die Resonanzfrequenz des Verstärkers bis auf 9MHz herunter bringen. Die Wicklungen des Ringkerns müssen dabei nicht geändert werden.

## 2) Messung des $IP_3$



**Bild 4: Messaufbau  $IM_3$ - und  $IP_3$ -Messung**

Zur  $IP_3$ -Messung verwendete ich einen 2-Ton HF-Generator mit den Frequenzen 14,255 und 14,275 MHz,  $\Delta f = 20\text{kHz}$ . Die Messung bei 14,2 MHz stellt kein Problem dar, durch Vergrößerung von C (zusätzlich ca.  $100\text{pF}$ ) verschiebt sich die Resonanzfrequenz auf 14,2 MHz und der Verstärker arbeitet bei dieser Frequenz genauso, wie bei 41 MHz.

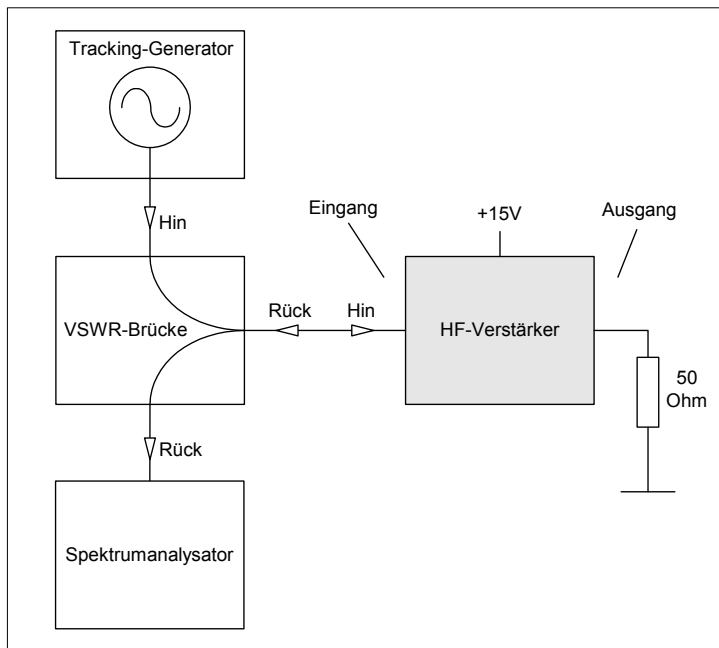


**Bild 5. Messergebnis:  $\Delta IM_3 = 67\text{dBc}$ , bei  $\Delta f = 20\text{kHz}$**

Zwei Eingangssignale ( $f_1, f_2$ ) mit jeweils  $P_e = -6\text{dBm}$  Leistung, erzeugen  $IM_3$ -Produkte mit einem Pegelabstand von  $67\text{dBc}$  (Bild 5). Daraus ergibt sich ein  $IP_3$  von

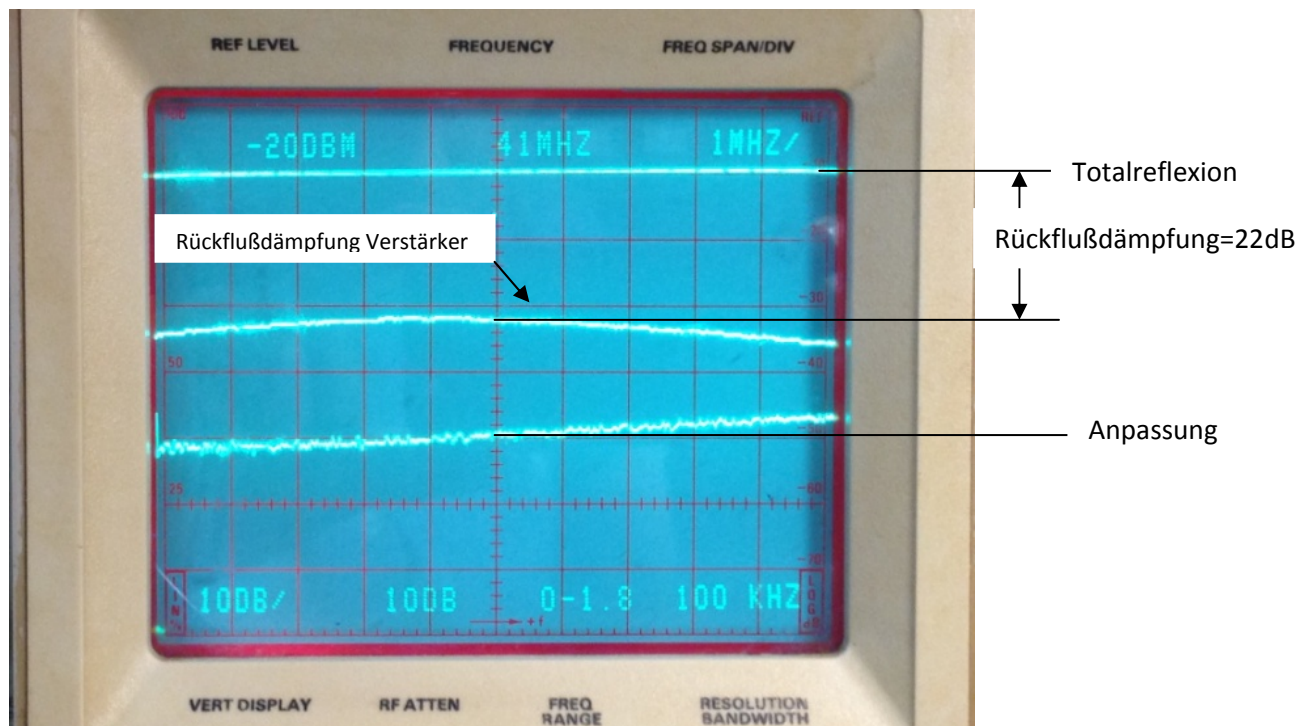
$$IP_3 = \Delta IM_3 / 2 + P_e = 67\text{dB} / 2 - 6\text{dBm} = +27,5\text{dBm}$$

### 3) Messung der Eingangs-Anpassung des Verstärkers an 50 Ohm (Rückflußdämpfung)



**Bild 6: Messaufbau für Eingangs-Rückflußdämpfung mit VSWR-Brücke**

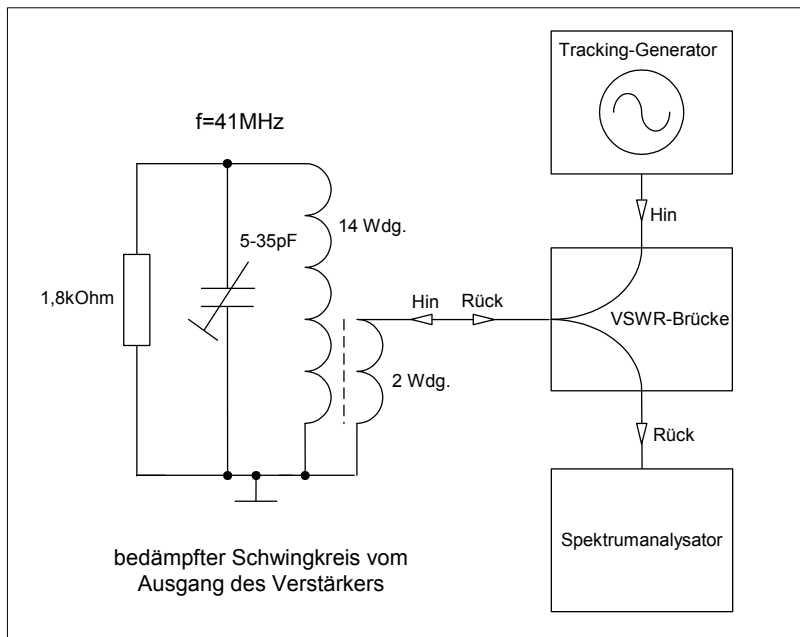
Die Messung des Eingangswiderstands des HF-Verstärkers erfolgt mit Hilfe einer VSWR-Brücke. Zur Festlegung der Maxima wird die Brücke einmal mit 50 Ohm abgeschlossen und einmal im Leerlauf bzw. Kurzschluss betrieben (100% Reflexion). Bild 7 zeigt die gewobbelte Kurve der Eingangs-Rückflußdämpfung von 36...46MHz.



**Bild 7: Messergebnis: Eingangs-Rückflußdämpfung bei Resonanz = 22dB**

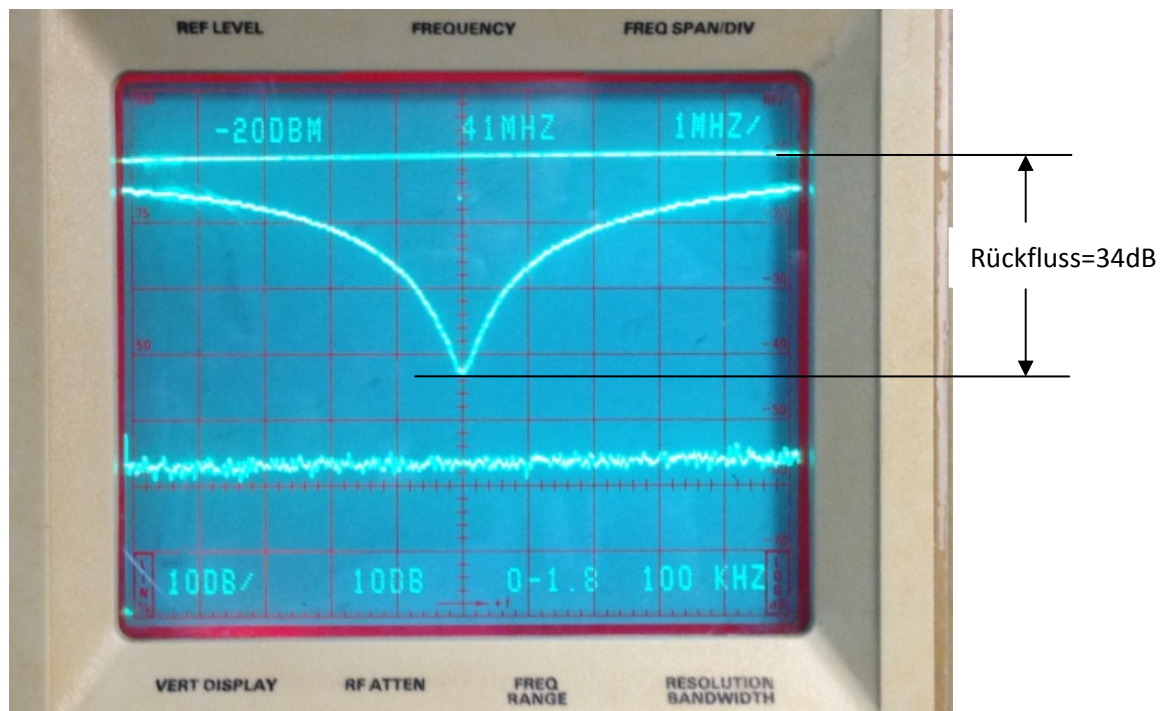
Die Rückflußdämpfung bei Resonanz beträgt 22dB; daraus folgt: Stehwellenverhältnis (VSWR) = 1,17; Reflexionsfaktor = 0,08

**4) Messung der Ausgangs-Anpassung des Verstärkers an 50Ohm (Rückflußdämpfung)**



**Bild 8: Messaufbau für Ausgangs-Rückflußdämpfung mit VSWR-Brücke**

Zur Messung der Ausgangs-Rückflußdämpfung müssen wir den Ringkern ausbauen und die Transformation von der Auskoppelspule zum bedämpften Schwingkreis (R) messen (Bild 8). Das Übertragungsverhältnis ist  $\dot{U}=2:14=1:6$ . Daraus folgt  $Z=R= \dot{U}^2 \times 50 \text{ Ohm} = 36 \times 50\text{Ohm} = 1,8\text{kOhm}$ . Ein Drainwiderstand von 1,8kOhm sollte sich demnach verlustarm auf 50 Ohm transformieren lassen. Als Ergebnis zeigt Bild 9 zeigt die gewobbelte Kurve der Eingangs-Rückflußdämpfung von 36...46MHz.



**Bild 9: Messergebnis: Ausgangs-Rückflußdämpfung = 34dBm bei 41 MHz**

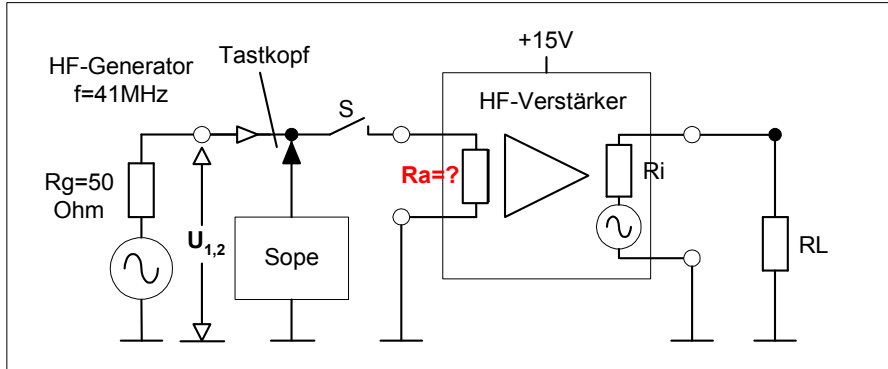
Die Rückflußdämpfung bei Resonanz beträgt 34dB; daraus folgt: Stehwellenverhältnis (VSWR) = 1,04; Reflexionsfaktor = 0,02. Die Anpassung im Ausgang ist sehr gut.



**5) Anpassung messen, ohne Spektrumanalysator und ohne VSWR-Brücke!**

Sehr viel einfacher lässt sich die Eingangs- und Ausgangsanpassung eines HF-Verstärkers über die Signalspannungen kontrollieren. Schließt man den Eingang und den Ausgang mit 50 Ohm ab, dann verkleinert sich die Signalspannung an diesen Stellen um genau 50%, wenn die Eingangs- und Ausgangsimpedanz des Verstärkers ebenfalls 50 Ohm beträgt.

**5.1) Messung der Eingangsimpedanz (Ra) eines HF-Verstärkers**



**Bild 10: Messung der Eingangsimpedanz, Anpassung an 50 Ohm**

$$Ra = Rg * \left( \frac{U_2}{U_1 - U_2} \right)$$

mit:

U<sub>1</sub> = Leerlaufspannung des HF-Generators (Schalter S offen)

R<sub>g</sub> = Innenwiderstand des HF-Generators, 50 Ohm

U<sub>2</sub> = Spannung des Generators mit Eingangswiderstand R<sub>a</sub> (Schalter S geschlossen)

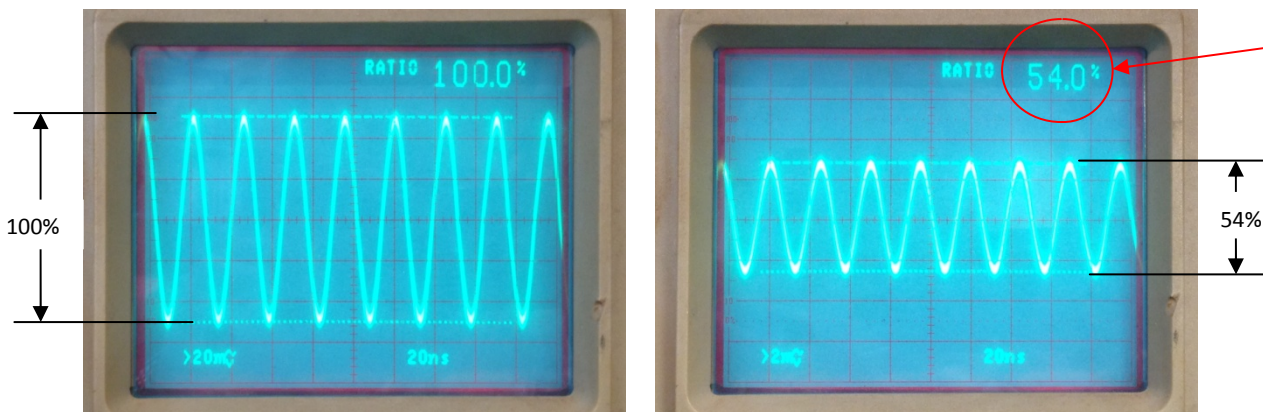
R<sub>a</sub> = Eingangswiderstand des Verstärkers (die Eingangsimpedanz)

**Wenn die Spannung U<sub>2</sub> der halbe Wert von U<sub>1</sub> ist, dann ist der Widerstand Ra gleich dem Innenwiderstand des Generators Rg**

Beispiel: Messwert U<sub>1</sub>=100mVss, Messwert U<sub>2</sub>=55mVss, Rg=50Ohm, Ra=?

$$Ra = Rg * \left( \frac{U_2}{U_1 - U_2} \right) = 50 \text{ Ohm} * \left( \frac{54\%}{100\% - 54\%} \right) = 50 \text{ Ohm} * 1,173 = 58,7 \text{ Ohm}$$

Daraus folgt:  $VSWR = \frac{Ra}{Rg} = \frac{58,7 \text{ Ohm}}{50 \text{ Ohm}} = 1,174$  entsprechend einer Rückflußdämpfung von 22dB



**Bild 11: Generator offen (links) und mit dem Eingang des Verstärkers abgeschlossen (rechts), die Spannung reduziert sich dabei auf 54%, leichte Fehlanpassung mit 58,7Ohm. Gleiches Ergebnis wie unter 3) gemessen.**

## 5.2) Messung der Ausgangsimpedanz (Ri) eines HF-Verstärkers

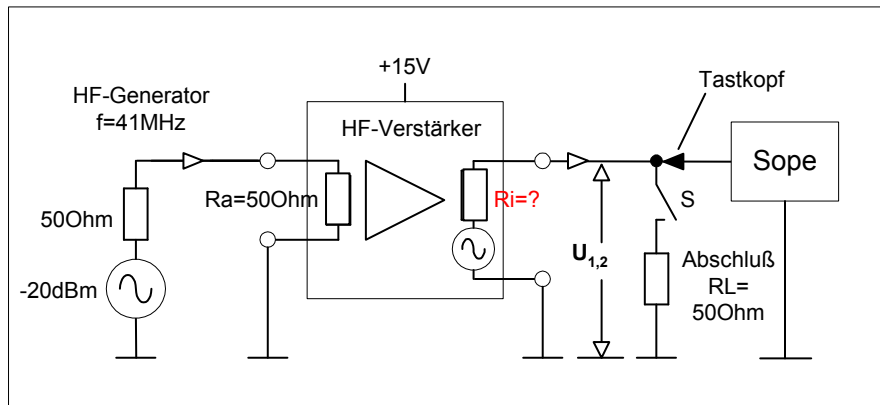


Bild 12: Messung der Ausgangsimpedanz, Anpassung an 50 Ohm

$$R_i = R_L * \left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$$

mit:

$U_1$  = Leerlaufspannung (bei  $R_L = \infty \Omega$ , also ohne  $R_L$ , wenn Schalter S offen)

$R_L$  = Lastwiderstand (Anpassung, 50 Ohm)

$U_2$  = Spannung mit Lastwiderstand  $R_L$

$R_i$  = Ausgangswiderstand des Verstärkers (die Ausgangsimpedanz)

**Wenn die Spannung  $U_2$  der halbe Wert von  $U_1$  ist, dann ist der Ausgangswiderstand  $R_i$  gleich dem Widerstand  $R_L$**

Beispiel:

Messwert  $U_1=100\text{mVss}$ , Messwert  $U_2=50\text{mVss}$ ,  $R_L=50\text{Ohm}$ ,  $R_i=?$

$$R_i = R_L * \left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right) = 50 \text{ Ohm} * \left( \frac{100\%}{50\%} - 1 \right) = 50 \text{ Ohm}$$

Der Ausgangswiderstand ( $R_i$ ) des HF-Verstärkers beträgt 50 Ohm, Rückflußdämpfung >30dB

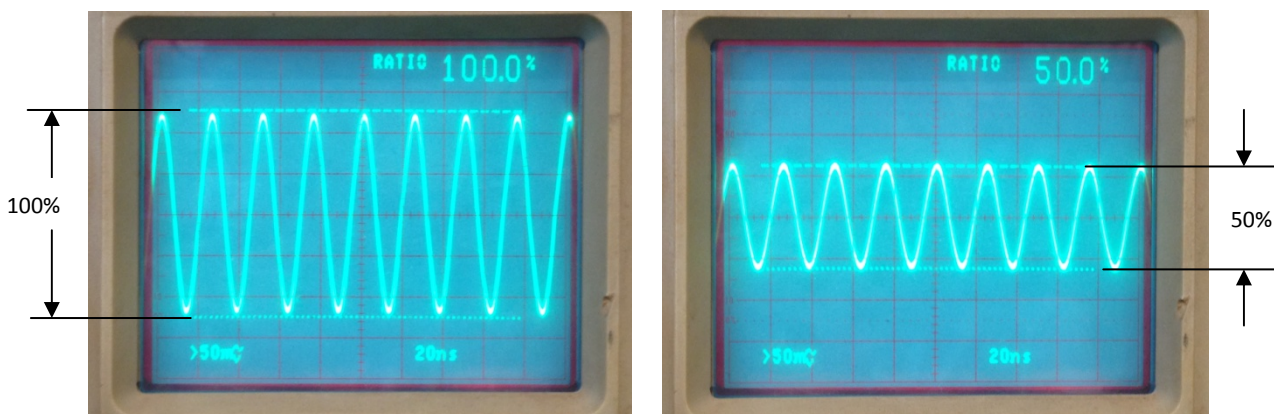
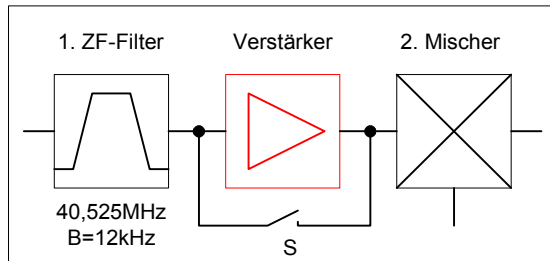


Bild 13: Ausgang offen (links) und mit 50 Ohm abgeschlossen (rechts), Spannung reduziert sich auf 50%

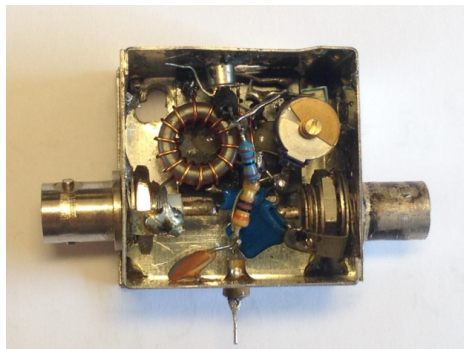
Hinweis: Bei den Anpassungsmessungen darauf achten, dass die Spannungen nicht zu groß werden und der Verstärker dadurch in Begrenzung kommt! ( $224\text{mVeff} = 0\text{dBm}$ !)

## 6) Einsatz des linearen HF-Verstärkers

Der HF-Verstärker wurde von mir in einem KW-Empfänger zwischen dem Ausgang des breitbandigen 1. ZF-Filters bei 40,525MHz (B=12kHz) und dem Eingang des 2. Mixers eingesetzt, er kann zu- und abgeschaltet werden und dient lediglich zur Verbesserung der Rauschzahl in den höheren Bändern. Der HF-Verstärker muß an dieser Stelle großsignalfest sein, damit die In-Band-Intermodulation innerhalb der 1. ZF-Bandbreite von 12 kHz nicht verschlechtert wird.



**Bild 14: Einsatz des großsignalfesten ZF-Verstärkers in einem KW-Receiver**



**Bild 15: Verstärker im Blechgehäuse inklusive zwei Relais, viel Platz bleibt da nicht mehr**

### Vorteile eines FET-Verstärkers in Gate-Schaltung:

- großsignalfest
- empfindlich
- breitbandig (ohne Schwingkreis im Ausgang)
- hohe Entkopplung zwischen Ausgang und Eingang (rückwirkungsfrei)
- sehr stabil, frei von parasitären Schwingungen
- 50 Ohm Eingang einfach zu realisieren
- einfacher und unkritischer Aufbau, wenig Bauteile

### Nachteile:

- relativ geringe Verstärkung (6...10dB)

### Literatur:

#### (1) Ringkerne

<http://toroids.info/T50-2.php>

#### (2) Roofing Filters, Transmitted BW & Receiver Performance,

Rob Sherwood, 2008 Dayton Contest University 2008

<http://www.sherweng.com/documents/NC0B-Contest-U-2008-9.pdf>



**(3) Receiver Test Data, Rob Sherwood NCØB**

<http://www.sherweng.com/table.html>

**(4) Intermodulations-Messgenerator**

DJ8IL, CQ/DL 12/07

**(5) Inband IMD Immunity Testing**

<http://www.ab4oj.com/test/imdtest/main.html>

**(6) Regelbarer ZF-Verstärker mit hoher IM-Festigkeit**

[https://dc4ku.darc.de/Regelbarer\\_ZF-Verstaerker\\_mit\\_hoher\\_IM-Festigkeit.pdf](https://dc4ku.darc.de/Regelbarer_ZF-Verstaerker_mit_hoher_IM-Festigkeit.pdf)

**(7) Inband-Intermodulationsfestigkeit von HF-Empfängern**

[https://dc4ku.darc.de/Inband\\_Intermodulation.pdf](https://dc4ku.darc.de/Inband_Intermodulation.pdf)