

Messkopf für das Stationswattmeter

Aufbau und Abgleich

(c) DL4JAL, Andreas Lindenau

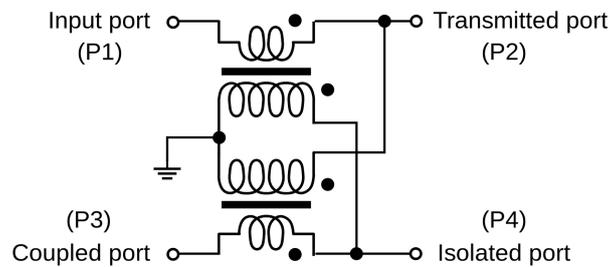
20. März 2023

Zusammenfassung

Für das Stationswattmeter wird ein Messkopf-Richtkoppler benötigt.
Hier folgt die Beschreibung und der Aufbau.

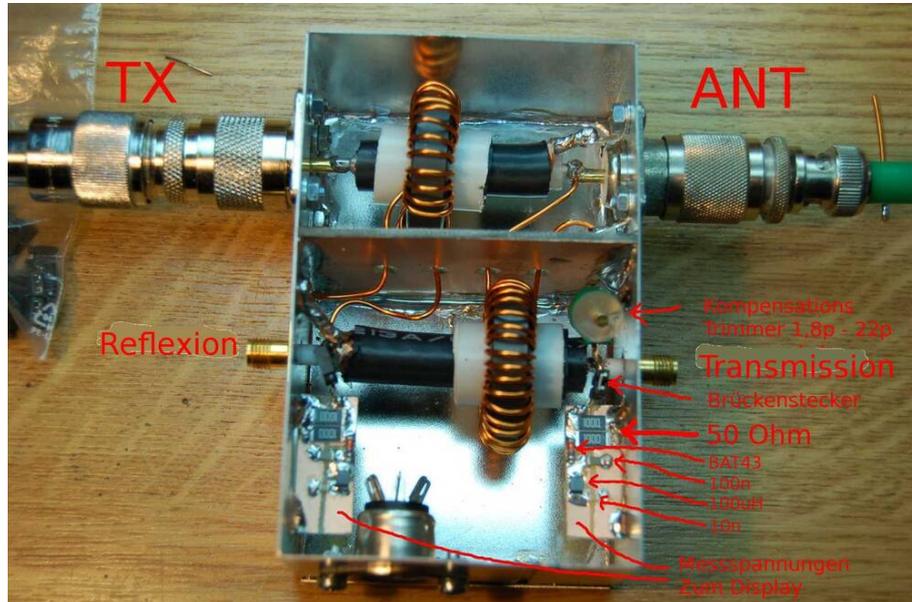
Der Messkopf-Richtkoppler

Für die Messung der Vorlaufspannung und Rücklaufspannung benötigen wir einen Messkopf mit Richtkoppler, der diese beiden Messgrößen möglichst frequenzlinear im Frequenzbereich 1,8 MHz bis mindestens 30MHz, besser 50MHz, in eine Gleichspannung umwandelt. Für die Auskopplung des Vorlaufpegels und der Pegel der Rücklaufleistung verwenden wir einen Richtkoppler nach dem Stockton-Prinzip oder auch Breitbandrichtkopplers nach Sontheimer-Frederick.

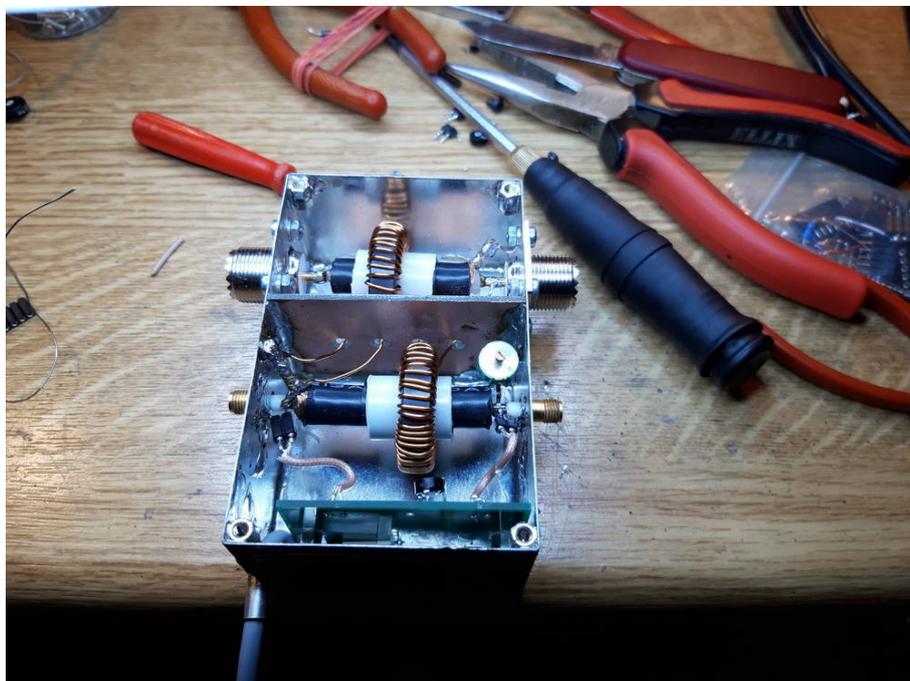


Breitbandrichtkopplers nach Sontheimer-Frederick. Genau nach diesem Prinzip arbeitet unser Richtkoppler.

Aufbau des Messkopfes / Richtkopplers

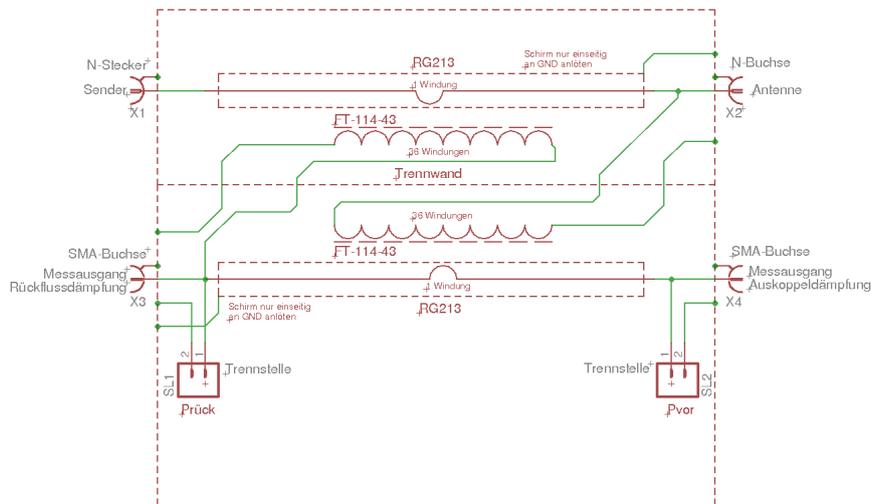


Hier die Ansicht des **alten Richtkopplers mit Dioden** zum Messen der Spannung. Mit 2x FT-114-43 als Auskopplungselemente. Oben links wird der Sender angeschlossen, oben rechts die Antenne. Die beiden SMA-Buchsen dienen als Lötstützpunkt und als Messbuchsen für die Auskoppeldämpfung und Rückflußdämpfung.



So sieht der **neue Richtkoppler** aus. Mit einer Messplatine 2x AD8307 zum Messen der Pegel. Das Prinzip des Richtkopplers ist das Gleiche. Die

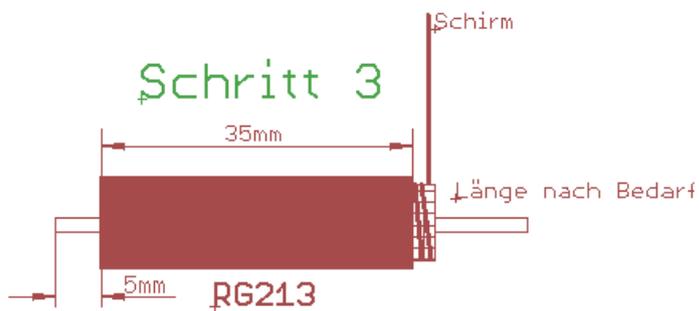
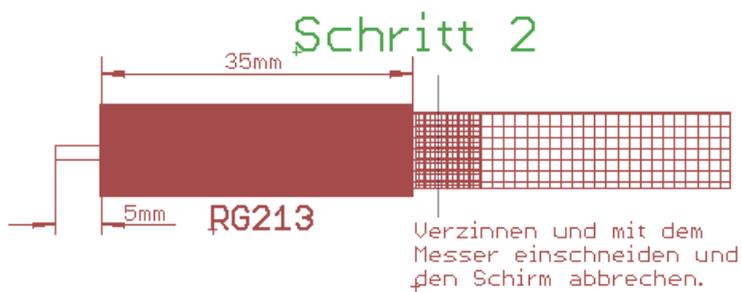
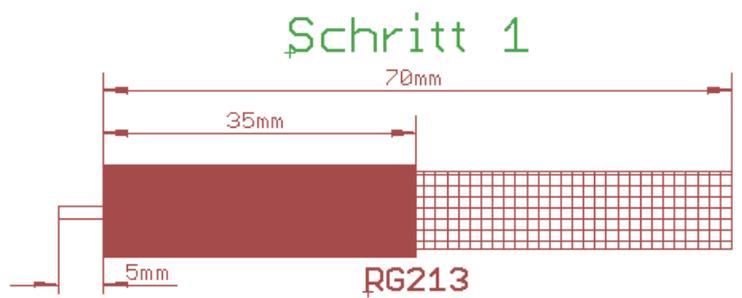
Anzahl der Windungen ist bei diesem Richtkoppler etwas höher, da die beiden AD8307 auf keinen Fall zu viel Pegel abbekommen dürfen. Ich habe 36 Windungen pro Ringkern festgelegt. Zum Messen der Rückflußdämpfung und Auskoppeldämpfung habe ich recht und links je eine SMA-Buchse montiert. Diese SMA Buchsen dienen gleichzeitig als Lötstützpunkte für den Spannungsübertrager.



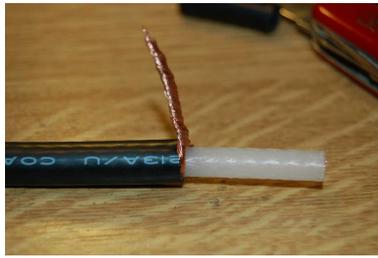
Hier das Schaltbild des neuen Richtkopplers. An „SL2 Pvor“ und „SL1 Prueck“ wird die Platine für die Pegelmessungen angeschlossen. SL1 und SL2 sind die Trennstellen für Messungen. Die SMA Buchsen sind Stützstellen für den Spannungsübertrager und Messausgänge für den Netzwerktester.

Die Anfertigung der beiden Kabel mit Ringkern

Zuerst eine Zeichnung mit den Maßen.



Das Kabel RG213 wird lang abgemantelt. Wir müssen aufpassen dass keine Fasern des Schirmes abstehen und eine Schluss verursachen.



Deshalb wird die Masse lang verdreht damit keine Ader frei herumhängt.



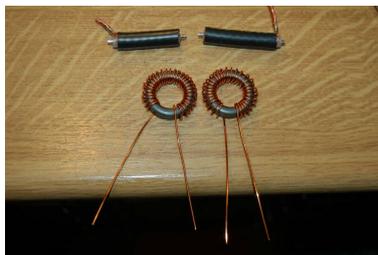
Die Seele wird ganz kurz abgesetzt um eine maximale Schirmung zu erreichen.



Masse und Seele gut verzinnen.



Die 2 Seite auch kurz absetzen und verzinnen. Achtung der Schirm wird hier abgeschnitten und darauf achten dass keine Fasern in Richtung Seele zeigen!!



Wir sehen die fertigen Kabel und die bewickelten Ringkerne. Die Ringkerne bekommen 36 Windungen mit Kupferlackdraht. Ich habe 0,8mm Stärke

genommen. Für beide Kerne muss die gleiche Wickelrichtung zu verwenden.
Beachtet man das nicht, kehrt sich die Auskopplung der Reflexion und
Transmission um.



Die Ringkerne werden auf kurze Plasterrohrstücke geschoben. Das Plasterrohr habe ich aus dem Baumarkt. Der Außendurchmesser beträgt 16mm. Zwischen dem Plasterrohr und dem RG213 ist noch Luft. Ich habe den Zwischenraum mit Kabelmantel vom RG213 gefüllt.

Das Gehäuse des Richtkopplers

Die Blechgehäuse waren früher bei „Pollin“ zu bekommen. Ich habe eine wenige Gesucht und die gleichen Gehäuse im Internet gefunden.

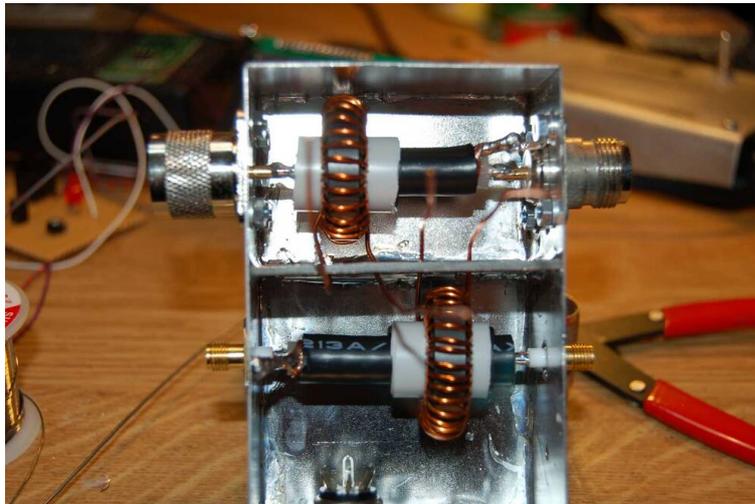
<http://www.schubert-gehaeuse.de/> Artikel-Numer 16: Weißblechgehäuse 64x102x40

Das Gehäuse ist 40mm hoch. Etwa 40mm von oben müssen wir eine Trennwand einlöten. In die Trennwand bohren wir 4 Löcher für die Drahtenden der Ringkernbewicklung. Meine Trennwand besteht aus doppelseitigen Leiterplattenmaterial.

Unten wird mit Abstandsbolzen die Messplatine eingeschraubt. Die Messplatine wird kommt nicht in die Mitte sondern ganz seitlich, so dass das Verbindungskabel zum Wattmeter noch Platz hat. Das sehen wir im Bild auf Seite2.

Zusammenbau des Richtkopplers

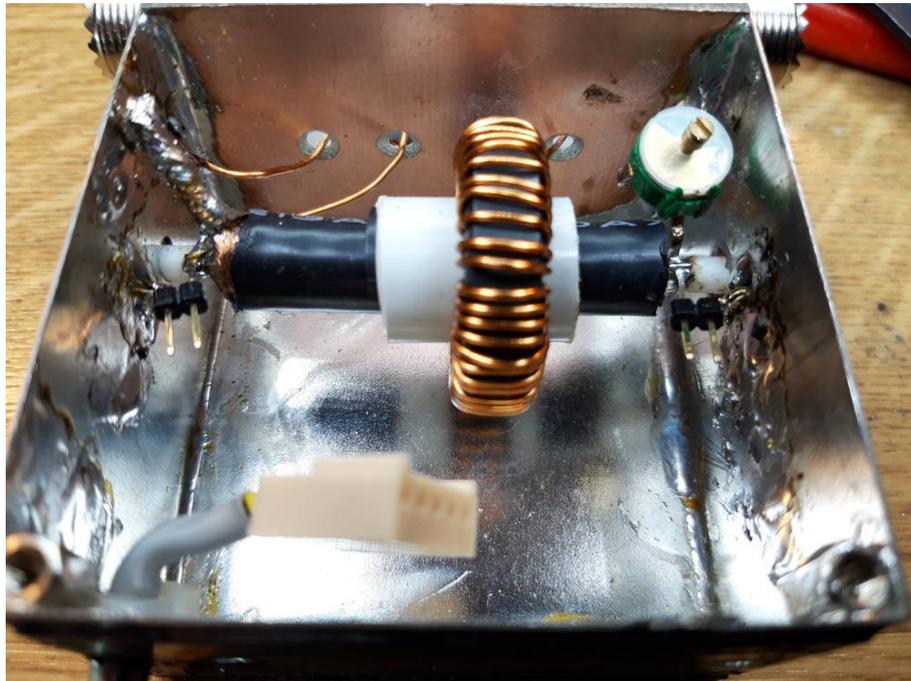
Die beiden Kabel mit den Ringkernen können nun in das Gehäuse eingebaut werden.



Sind diese Arbeiten erledigt werden die Kabel eingelötet. Die Drahtenden der Wicklungen durch die Zwischenwandlöcher stecken und die Seelen anlöten. Die verdrehte Masse wird einseitig an Masse gelötet. So wie es im Bild zu sehen ist.

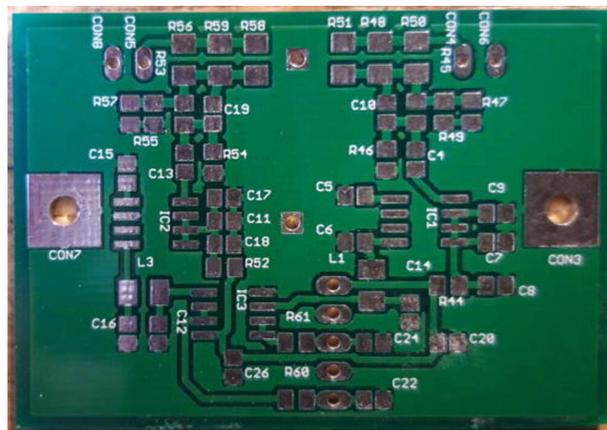


Jetzt werden noch die Drahtenden der Ringkernwicklungen angelötet. Wie, erkennt man im Bild.



Rechts löten wir den Kompensationstrimmer (1,8pF - 22pF) ein. Als Trennstellen für das Koaxkabel zur Messplatine, habe ich abgewinkelte Stifteleisten recht und links eingelötet.

Aufbau der Messplatine

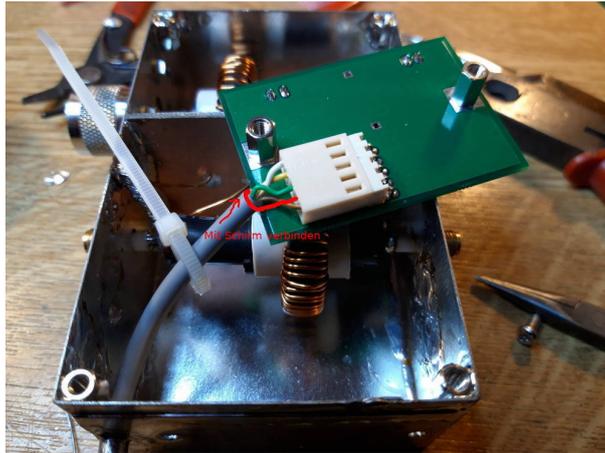


Hier die unbestückte Platine.

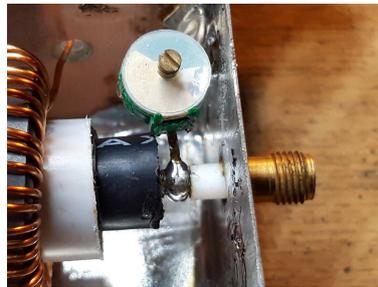
Zum Schluss werden 2 Abstandsbolzen angeschraubt. Von außen wird die Platine mit 2x M3 Schrauben befestigt.

Einbau der Messplatine

Bevor die Platine in das Gehäuse geschraubt wird, fertigen wir das Verbindungskabel zum Wattmeter an. Ich habe 4-poliges Steuerkabel mit Schirm genommen. Der Kabeltyp steht in der Stückliste.



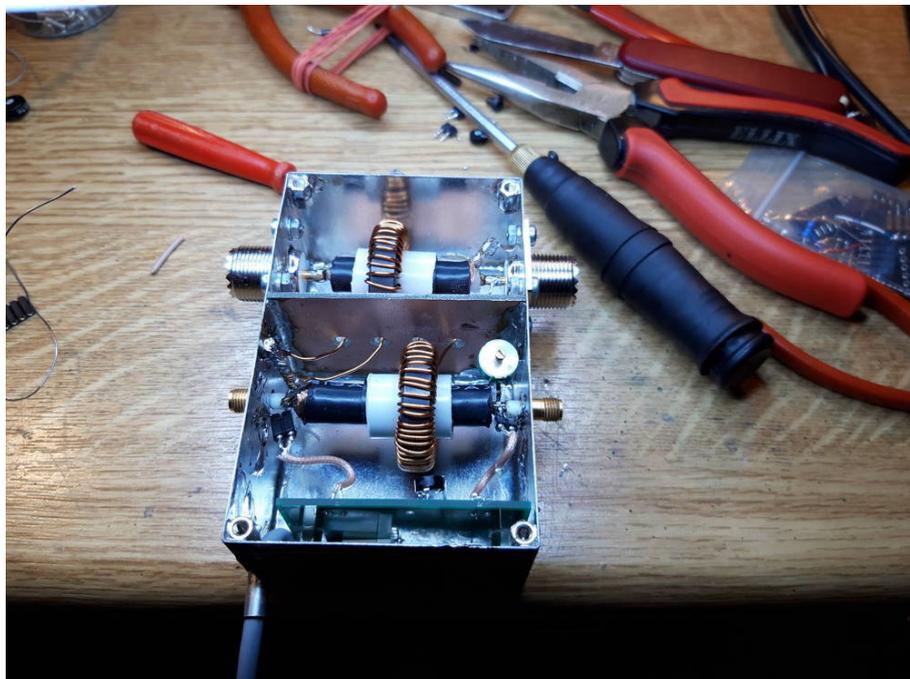
Messplatine mit angestecktem Verbindungskabel zum Wattmeter. **Die neusten Erkenntnisse sind: Der Schirm wird auf dieser Seite des Kabels auch mit angeschlossen.** Ich habe 2 Litzen 0,14mm mit dem Schirm verdrillt und an den Stecker angeschlossen. Ich habe das im Bild rot eingezeichnet.



Hier noch ein Bild vom Einbau des Kompensationstrimmers im Messkopf #2.



Auf beiden Seiten werden an das Koaxkabel RG178 die kleinen Buchsen für die Stiftleisten angelötet. Diese Trennstellen brauchen wir für die Messungen der Auskoppeldämpfung und Rückflußdämpfung.



Jetzt ist der Messkopf mechanisch fertig und die Messungen können beginnen.

Messungen am Richtkoppler

Am Richtkoppler befinden sich 3 Abgleichelemente. Einmal 2 Einstellregler R19 und R20 jeweils 5 kOhm auf der Messplatine und ein Trimmer 2,5 bis 22 pF. Es gibt 2 Möglichkeiten das Optimum der Rückflußdämpfung einzustellen. Der Messeingang *Vorwärts* muss möglichst genau auf eine Impedanz von 50,0 Ohm getrimmt werden.

R19, Messplatine Abgleich auf beste Richtschärfe (maximales Return Loss) bei einer niedrigen Sendefrequenz (3,6 MHz).

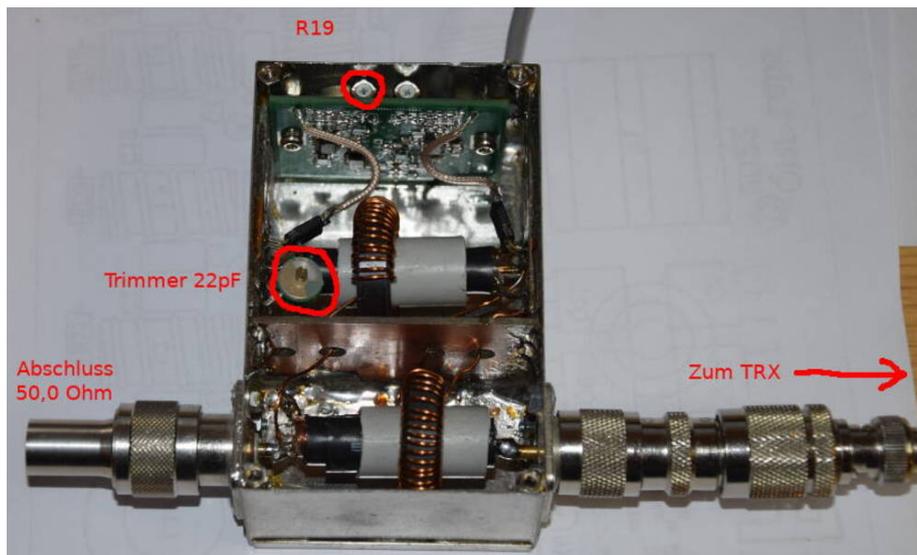
Trimmer, im Richtkoppler Abgleich auf beste Richtschärfe (maximales Return Loss) bei einer niedrigen Sendefrequenz (28 MHz).

Abgleich der Rückflußdämpfung mit dem Stationswattmeter selbst

ab FW 1.22 mit Funktion *SETUP[23] MK-Return Loss* Ich habe eine neue SETUP-Funktion[23] geschrieben für den Abgleich von R19(Messplatine) und Trimmer 22pF(Richtkoppler). Das ist die beste und einfachste Variante den Messkopf auf die höchste Rückflußdämpfung zu trimmen. Es gibt keine negativen Einflüsse durch Messkabel usw...

Was benötige ich zum Messaufbau

- einen TRX mit 80m, 30m und 10m Band. Sendeleistung mindestens 25dBm (etwa 300mW). Die Sendeleistung richtet sich nach dem Abschlusswiderstand, was der maximal verträgt.
- Einen guten Abschlusswiderstand oder Dummyload. Ich habe mir einen guten Widerstand von *HUBER & SUHNER* geleistet (Ebay etwa 40 €). Der Abschlusswiderstand funktioniert bestens.



Messaufbau zum Abgleich der Richtschärfe. Links der 50 Ohm Abschlusswiderstand von *HUBER & SUHNER*.

```
-- MK-Messwerte --  
ADCv: 353 dBmv: -29,7  
ADCr: 453 dBmr: -29,1  
RL: + 0,01 SWV: 37,178
```

SETUP[23]-Funktion ohne Signal, Leerlauf.

```
-- MK-Messwerte --  
ADCv: 3816 dBmv: +25,7  
ADCr: 566 dBmr: -27,3  
RL: +52,96 SWV: 1,005
```

Abgleich mit R19 (Messplatine) auf höchstes RL (Return Loss). 52,96dB entspricht SWV 1,005.

```
-- MK-Messwerte --  
ADCv: 3759 dBmv: +24,8  
ADCr: 1784 dBmr: - 7,7  
RL: +32,49 SWV: 1,049
```

Abgleich mit Trimmer 22pF (Richtkoppler) auf höchstes RL (Return Loss). 32,49dB entspricht SWV 1,049

```

-- MK-Messwerte --
ADCv: 3808 dBmv: +25,5
ADCr: 511 dBmr: -28,2
RL: +53,72 SWV: 1,004

```

Kontrollmessung bei 10 MHz. 53,72dB entspricht SWV 1,004.

Besser geht es kaum. Bei allen Messungen ist die Sendeleistung etwa 300mW. Das sind sehr gute Messwerte. Bei diesem Abgleich benötigt man kein zusätzliches Messgerät.

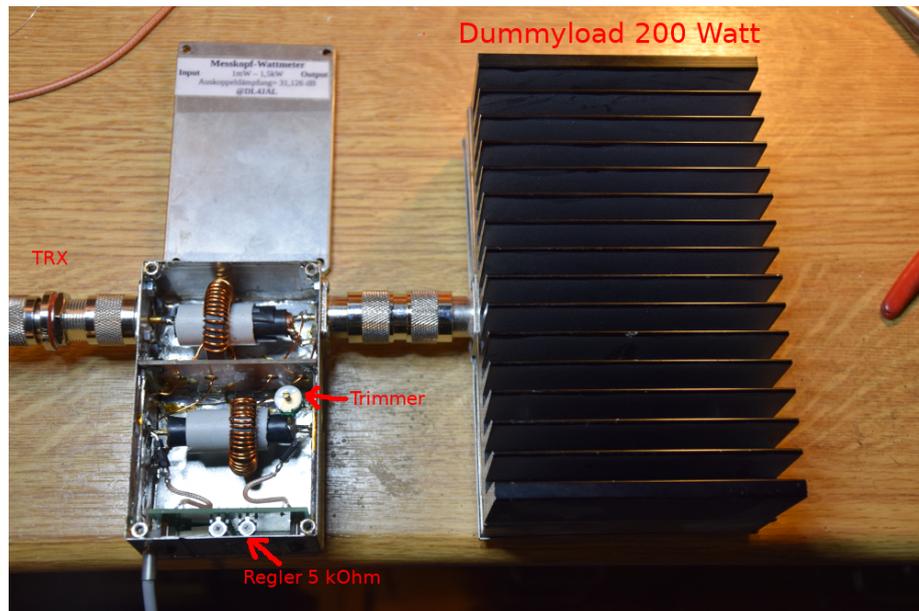
Ohne SETUP[23]-Funktion Auch ohne die neue SETUP-Funktion[23] können wir den Messkopf auf die beste Richtschärfe trimmen.

Diese Variante ist auch einfach. Man braucht lediglich:

- Auch wieder einen TRX mit 80m, 20m und 10m Band.
- Auch einen guten Abschlusswiderstand oder Dummyload.

Die Messwerte werden im Display des Stationswattmeters abgelesen.

Messaufbau Den Abschlusswiderstand/Dummyload schrauben wir direkt an den Richtkoppler. Auch der TRX wird mit Koaxkabel an den Richtkoppler angeschlossen. Wir benötigen keine extra Messgeräte.



Rechts ist die Dummyload vom FA 200 Watt-Ausführung. Links wird der TRX angeschlossen. Wir sehen den Trimmer 2,5 bis 22pF und den Regler 5 kOhm.

- Im SETUP[4] LCD Anzeigezeit auf geringste Zeit einstellen (0,5 Sek).
- Zuerst den Trimmer auf geringste Kapazität drehen.
- TRX in das 80m Band schalten und SENDEN. 2 bis 3 Watt Sendeleistung reichen.

- Mit dem Regler 5 kOhm trimmen wir auf die größte RL Anzeige. *Ich erreiche etwa 41 dB.*
- TRX in das 10m Band schalten und SENDEN. Auch wieder so etwa 2 Watt Sendeleistung
- Den Trimmer stellen wir auf größtes RL. *Ich erreiche etwa 34 dB*
- TRX in das 80m Band schalten und SENDEN. Jetzt zeigt RL über 50dB an. *Bei mir sind es sogar 60 dB.*
- TRX in das 20m Band schalten und SENDEN. Kontrolle RL ist über 40 dB.

Das ist der ganze Abgleich.

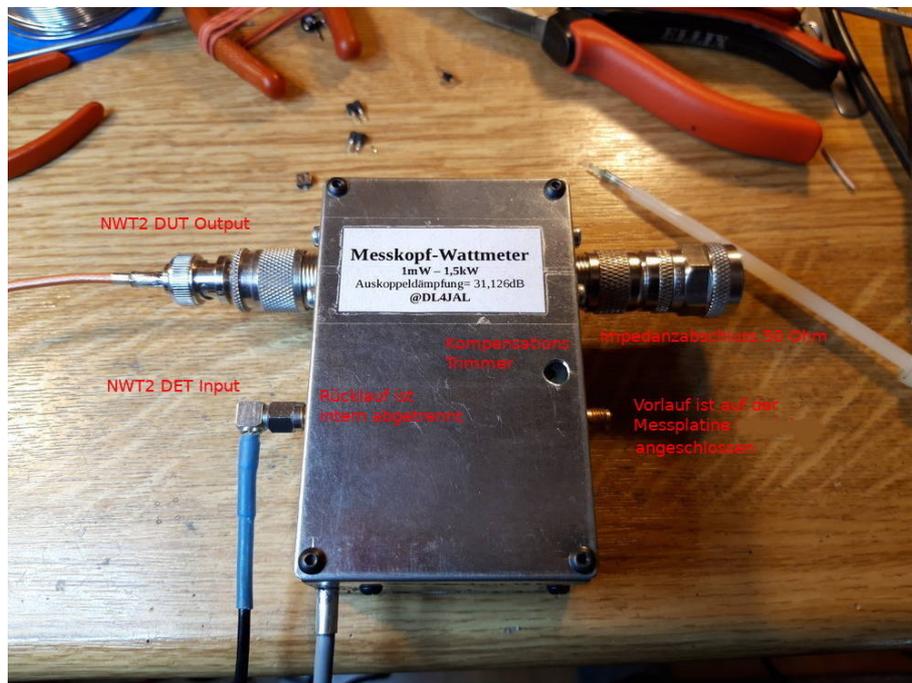
Messergebnis Hier die Tabelle der Messwerte:

Band	Sendeleistung	FA 200 W Abschluss
160m	etwa 2 W	52,2 dB
80m	etwa 2 W	60,5 dB
40m	etwa 2 W	52,3 dB
20m	etwa 2 W	43,3 dB
15m	etwa 2 W	38 dB
10m	etwa 2 W	34,9 dB

Einstellung der Rückflußdämpfung mit NWT oder VNA

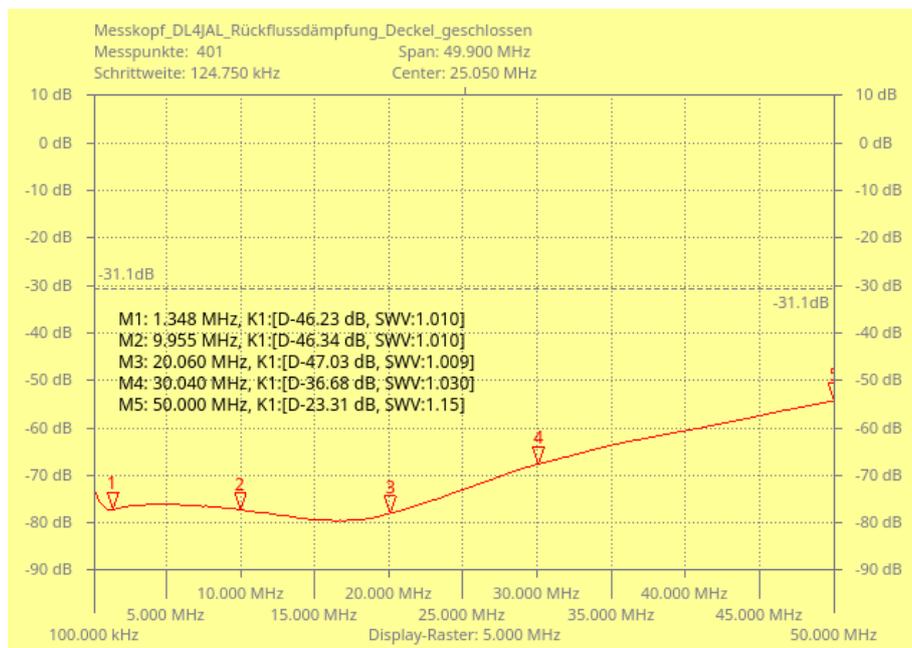
Als erstes messen wir die Rückflußdämpfung. Dazu brauchen wir einen Netzwerktester. Ich benutze den neuen NWT2.0. Der NWT01 geht auch oder eine andere Messeinrichtung für S21. Den oberen Zweig des Richtkopplers, wo die volle Leistung einmal darüber gehen soll, schließen wir mit 50 Ohm ab. Links schließen wir den Ausgang des NWT an. Der NWT ist jetzt der TRX. Den Massaufbau sehen wir im folgenden Bild. Der Wobbelfrequenzbereich sollte von 1MHz bis 50MHz gehen.

Messaufbau



Messaufbau für die Rückflußdämpfung. Mit dem Einstellregler 5k stellen wir die Rückflußdämpfung bei niedriger Frequenz so groß wie möglich ein. Mit dem Trimmer optimieren wir bei hohen Frequenzen. Notwendig ist eventuelle die Einstellungen wechselseitig zu optimieren.

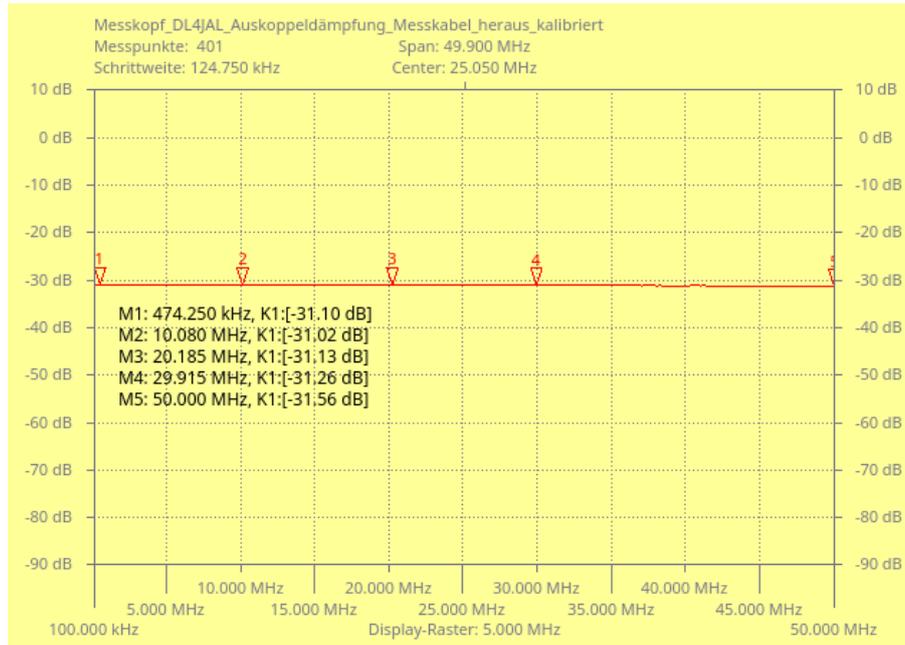
Messergebnis



Das Wobbelbild der Rückflußdämpfung mit dem neuen NWT2.0. Ich habe eine

zusätzliche dB-Linie, die die Auskoppeldämpfung darstellen soll, eingeblendet. Die Marker zeigen den dB-Wert zwischen Auskoppeldämpfung 31,1dB und der Wobbellinie mit der Angabe des minimal messbaren SWV.

Die nächste Messung ist die Kontrolle der Auskoppeldämpfung. Der DUT-Output bleibt so. Den Messeingang des NWT2.0 schließen wir an die rechte SMA Buchse, Vorlauf, an. Bitte daran denken das intern das RG178 Koaxkabel Vorlauf aufgetrennt werden muss und links Rücklauf wieder angesteckt wird.



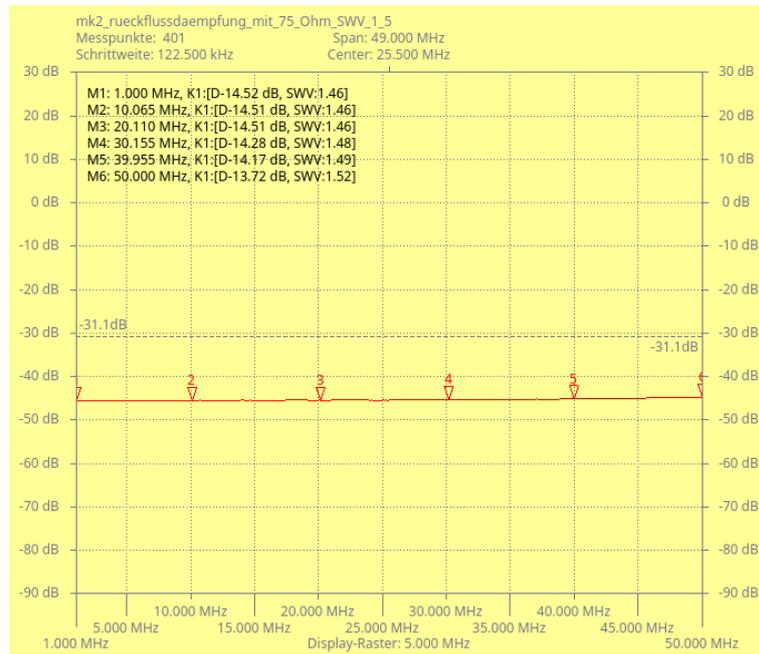
Für eine genaue Anzeige der Messwerte habe ich vorher die Dämpfung der Messkabel heraus kalibriert. Die Auskoppeldämpfung stimmt exakt.

Bei 36 Windungen auf den Ringkernen errechnet sich die Auskoppeldämpfung mit der Formel:

$$Daempfung(dB) = 20 * \log \frac{U_2}{U_1}$$

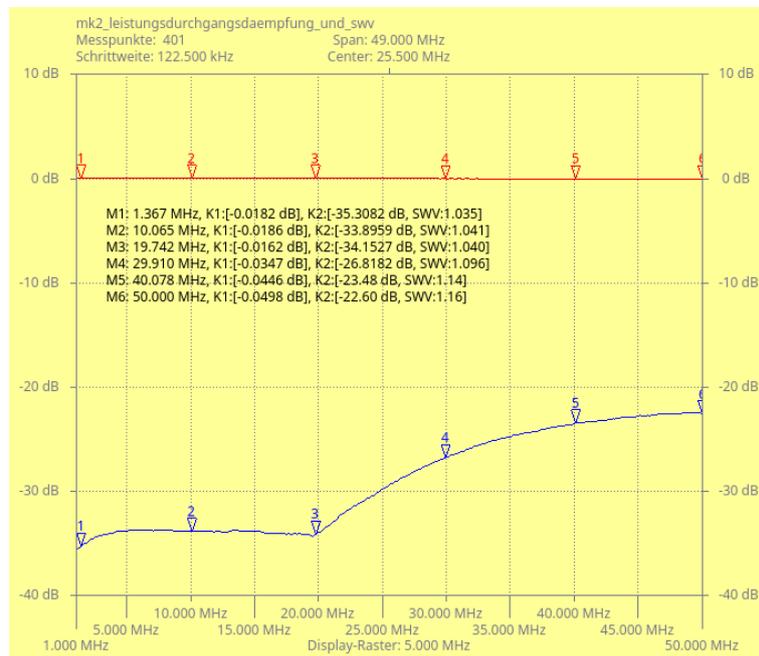
$$31,126dB = 20 * \log \frac{1}{36}$$

Zur Kontrolle der Funktion des Richtkopplers entfernen wir am Leistungszug den rechts 50 Ohm Abschlusswiderstand und ersetzen ihn durch einem 75 Ohm Widerstand. Das müsste im gesamten Frequenzbereich eine Reflexionsdämpfung von 13,979dB (SWV=1,5) ergeben.



Das sieht doch nicht schlecht aus. Auch hier müsste man die Dämpfung der beiden Messkabel eigentlich heraus rechnen. Da würde es noch besser passen.

Als letzte Messung überprüfen wird noch die Durchgangsdämpfung und das SWV des Richtkopplers. Die RG178 Kabel werden alle mit der Messplatine verbunden. Das hat keinen Einfluss auf diese Messung, aber es geht darum das nicht zu vergessen, denn wir müssen den Deckel aufschrauben damit die Messung nicht verfälscht wird. Die Durchgangsdämpfung sollte so gering wie möglich sein und das SWV darf auch nicht „ausufern“.



Für die Durchgangsmessung habe ich im NWT2.0 den linearen Messkopf benutzt und mit den 2 Messkabeln nachkalibriert, so das die Dämpfung der Messkabel heraus gerechnet wird.

Damit kann man auch zufrieden sein. Das SWV-Messergebnis zeigt, dass in der oberen Kammer die Impedanz von 50 Ohm in etwa eingehalten wird. Die Durchgangsdämpfung ist auch in Ordnung. So kann der Messkopf für das Wattmeter benutzt werden und sollte genaue Messergebnisse liefern.

Einfache Erklärung der Funktion des Messkopfes

Als Messmethode im Messkopf verwende ich die Transformatorauskopplung für die Spannung und den Strom. Einmal ist der Abgleich einfach und damit der Nachbau sicher. Bei einem Richtkoppler brauchen wird eine Stromauskopplung und eine Spannungsauskopplung. Bei diesem Messverfahren werden beide Auskopplungen mit je einem Ringkern praktiziert. Betrachten wir zuerst die Stromauskopplung. Im Schaltbild des Richtkopplers auf Seite 2 sehen wir den Übertrager ganz oben in der Abbildung. Links wird der Sender angeschlossen und rechts die Antenne oder eine Dummyload. Als Verbindung zwischen den beiden Punkten benutze ich RG213 Kabel. Wobei die Seele des Kabels als 1 Windung durch den Ringkern geführt wird. Der Schirm des Koaxkabels wird nur auf einer Seite an das Gehäuse angelötet. Durch den Schirm darf kein Strom zurück fließen. Der Schirm dient nur als Abschirmung. Der Schirm verhindert eine kapazitive Kopplung zur sekundären Wicklung (36 Windungen) des Ringkernes entsteht. Fließt durch die Seele des RG213 Strom wird $\frac{1}{36}$ des Stromes zum unteren Teil des Kopplers übertragen. Dieser Ringkern wird nicht so schnell überlastet. Der zweite Ringkern auf dem unteren Koaxialkabel dient zur Spannungsauskopplung. Dieser Ringkern muss die ganze Spannung der vollen Leistung vertragen, da er mit einem Bein der Wicklung mit der Seele des Koaxialkabels vom TX verbunden ist. Die primäre Wicklung sind in diesem Fall die

36 Windungen und die Seele des unteren Koaxialkabels ist die sekundäre Wicklung mit einer Windung als Auskopplung. Hier gilt auch $\frac{1}{36}$ der Spannung wird auf dem unteren Teil des Messkopfes übertragen. Der Spannungsanteil aus dem Stromkoppler wird auf der Seele des unteren Koaxialkabels eingespeist und liegt phasengleich an den Abschlusswiderständen der Reflexion und Transmission an. Die Spannungsauskopplung dagegen induziert an der Seele des unteren Koaxialkabels eine Spannung von links nach rechts betrachtet genau um 180 Grad verschoben ist. Das führt dazu, dass auf der linken Seite im Bild unten sich beide Spannungen im Anpassungsfall subtrahieren. Es entsteht die Spannung der Reflexion. Auf der rechten Seite des Bildes addieren sich beide Spannungen im Anpassungsfall und es entsteht die Spannung der Transmission. Sobald sich der Widerstand an der Antenne ändert wird an der Reflexion eine Spannung entstehen, da das Ganze aus dem Gleichgewicht kommt. Ich hoffe mit dieser einfachen Erklärung etwas „Licht ins Dunkel“ gebracht zu haben.

Schlusswort

Ich hoffe das Prinzip des Aufbaus ist gut herüber gekommen. Viel Erfolg beim Nachbau.

vy 73 Andreas DL4JAL

✉ DL4JAL@t-online.de