QRP Wattmeter, Richtkoppler Aufbau und Abgleich

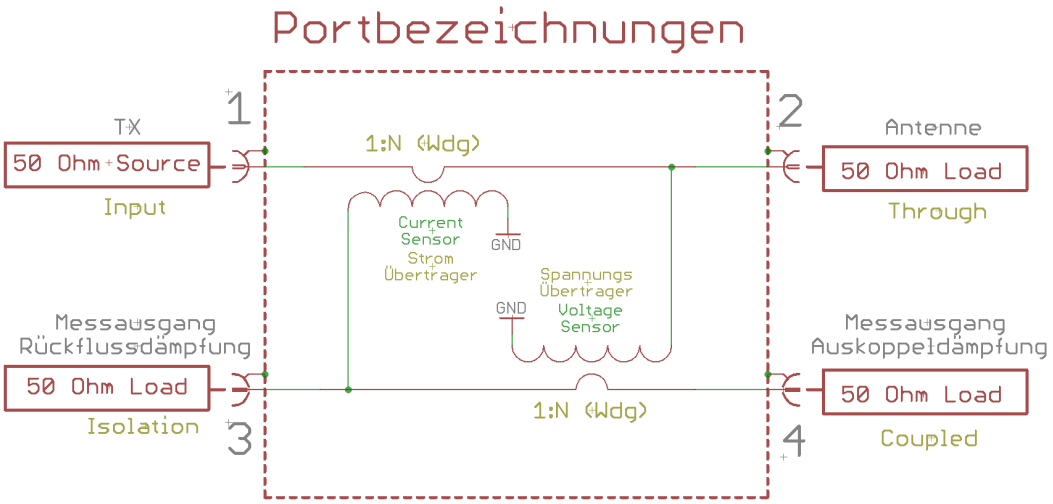
(c) DL4JAL

26. Juni 2022

Zusammenfassung

Für das QRP-Wattmeter brauchen wir eine Messbrücke, die die Vorlaufleistung und die rücklaufende Leistung messen kann. Die Messung der Leistung sollte möglichst Frequenzlinear sein. Das Maß der Dämpfung für den Messausgang sollte auch mathematisch berechenbar sein. Meine Wahl fiel auf eine Messbrücke nach dem Stockton/Tandem-Prinzip.

1 Beschreibung des Stockton/Tandem Richtkopplers



Der Richtkoppler nach „Stockton“ hat 4 gleichwertige Ports. Die Portbezeichnungen sehen wir in diesem Bild.

Alle vier Ports sind mit 50 Ohm Impedanz abgeschlossen. Die Energieübertragung erfolgt von **Port1 (Input/Tx)** nach **Port2 (Antenne/Through)**. Die beiden Ports **Port3 (Rückflussdämpfung/Isolation)** und **Port4 (Auskoppeldämpfung/Coupled)** sind die Messausgänge.

Ein solcher Koppler ist symmetrisch. Wir könnten Port1 mit Port2 und Port3 mit Port4 vertauschen. Bei einem Tausch hätten wir die gleichen Messergebnisse.

Messausgang Port4

Bei der Energieübertragung Port1 zu Port2 wird ein Teil der Energie an Port4 ausgekoppelt. Der Betrag der Dämpfung wird durch die Windungszahl der beiden Übertrager festgelegt. Beide Übertrager haben die gleiche Windungszahl. **Port4 ist der Messausgang für die HF-Leistung an Port1. Am Messausgang-Port4 liegt die HF-Leistung von Port1 an um den Betrag der Auskoppelung verringert.**

Die Berechnung der Dämpfung Port1 zu Port4. Gegeben ist die Windungszahl der Übertrager:

$$Auskopplung(dB) = log(\frac{1}{Windungen}) * 20 = log(\frac{1}{20}) * 20 = -26,02dB$$

Die Dämpfung von Port1 zu Port4 beträgt also 26,02 dB. Beträgt die Sendeleistung an Port1 5,0 Watt (36,99 dBm), bei optimaler Anpassung an Port2, messen wir an Port4 12,5 mWatt (10,97 dBm). Der dB-Wert der Auskopplung wird durch die Windungszahl der beiden Übertrager bestimmt und bedarf keinem Abgleich.

Messausgang Port3

Bei eine idealen Abschluss von 50 Ohm an Port2 und Port4 ist an Port3 kein Pegel zu messen. Das ist natürlich nur reine Theorie. In Wirklichkeit stimmen die Impedanzen nicht genau und Übersprechen habe wir trotz guter Abschirmung auch. Je geringer der Pegel an Port3 bei optimaler Anpassung ist, je besser ist die Funktion des Richtkopplers. **Die Differenz der Pegel zwischen Port4 und Port3 bestimmt die Richtschärfe (Return Loss) des Richtkopplers.**

Wir nehmen wieder das Beispiel der 5 Watt Sendeleistung an Port1 und messen an Port3 -19,03 dBm. An Port4 messen wir wie gehabt 10,97 dBm. Die Differenz beider Werte beträgt 30 dB. Dieser Wert ist die *Richtschärfe* oder *Return Loss* oder *Rückflussdämpfung*. **30 dB Return Loss entspricht einem SWV von etwa 1,06**.

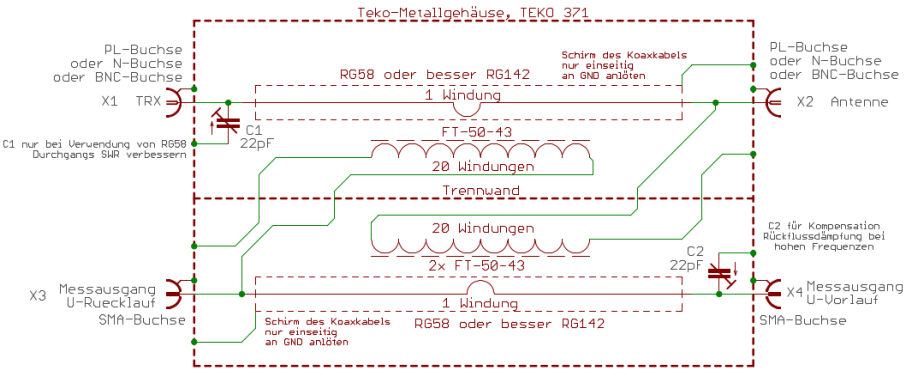
Umrechnung Return Loss zu SWV:

$$SWV = \frac{10^{\frac{ReturnLoss(dB)}{20}} + 1}{10^{\frac{ReturnLoss(dB)}{20}} - 1} = \frac{10^{\frac{30}{20}} + 1}{10^{\frac{30}{20}} - 1} = 1,0653$$

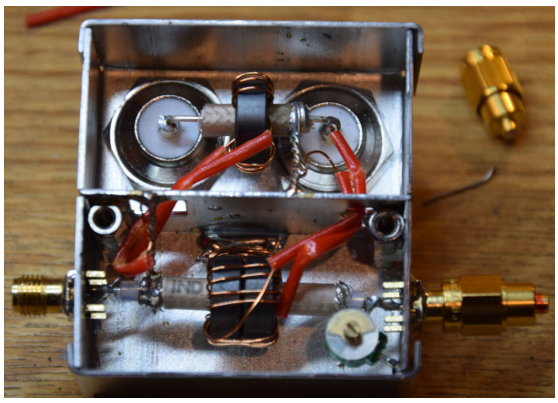
Aus dem *dB Wert von Return Loss* lässt sich mit dieser Formel das *SWV* berechnen.

So viel zur Theorie des Stockton-Richtkopplers.

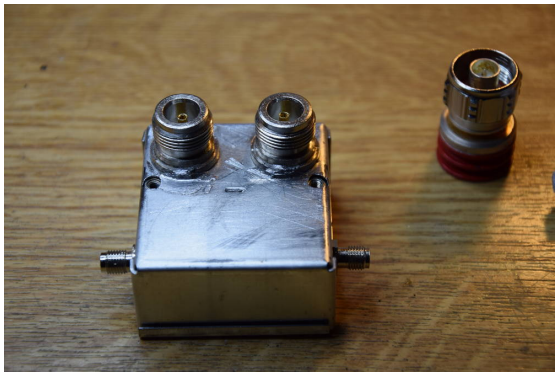
2 Unser Richtkoppler



Das Schaltbild des Richtkopplers. Bei Verwendung des RG142 entfällt C1-Trimmer.



Die Ansicht des Richtkopplers im TEKO-Gehäuse. In Ermanglung von SMA-Buchsen habe ich Printbuchsen verwendet und einfach 5 Löcher gebohrt und eingelötet.



Ich verwende nur N-Buchsen. Ich habe mit einem großen Lötkolben die Buchsen mit dem Gehäuse verlötet. Das ist auch bei der Verwendung von PL-Buchsen sehr zu empfehlen.

3 Materialbeschaffung

Alle Bauteile zum Aufbau des Richtkopplers sind bei Reichelt erhältlich.

1. 1x Teko-Metallgehäuse Bestellnummer: TEKO 371
2. Nur eine Variante auswählen

   2x N-Buchse Bestellnummer: R161570

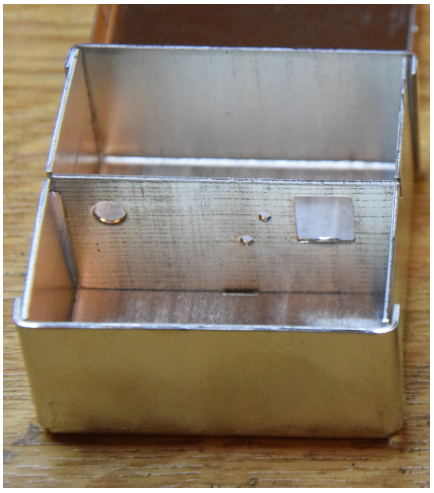
   2x BNC-Buchse Einloch Bestellnummer: R141557

   2x BNC-Buchse Vierloch Bestellnummer: R141404

   2x PL-Buchse Einloch Bestellnummer: SO 239 SH
3. 2x SMA Buchse Bestellnummer: BKL 0409068
4. 2x Trimmer Bestellnummer: TRIMMER 11229, Bei Verwendung von RG142 entfällt der Trimmer im Leistungspfad.
5. 3x Ringkerne Bestellnummer: FT 50-43
6. Kupferlackdraht Bestellnummer: KUPFER 0,5MM
7. RG58 oder auch anderes Koaxkabel aus der Bastelkiste. Besser als RG58 ist RG142.

Aufbau des Richtkopplers

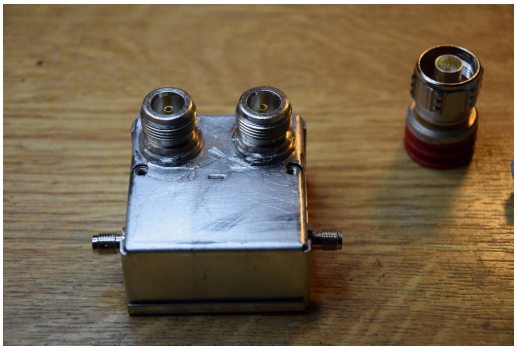
- Als erstes muss man die Löcher für die 2 Buchsen Port1 und Port2 anzeichnen und bohren. Die Größe richtet sich nach der Art der Buchse N oder BNC.



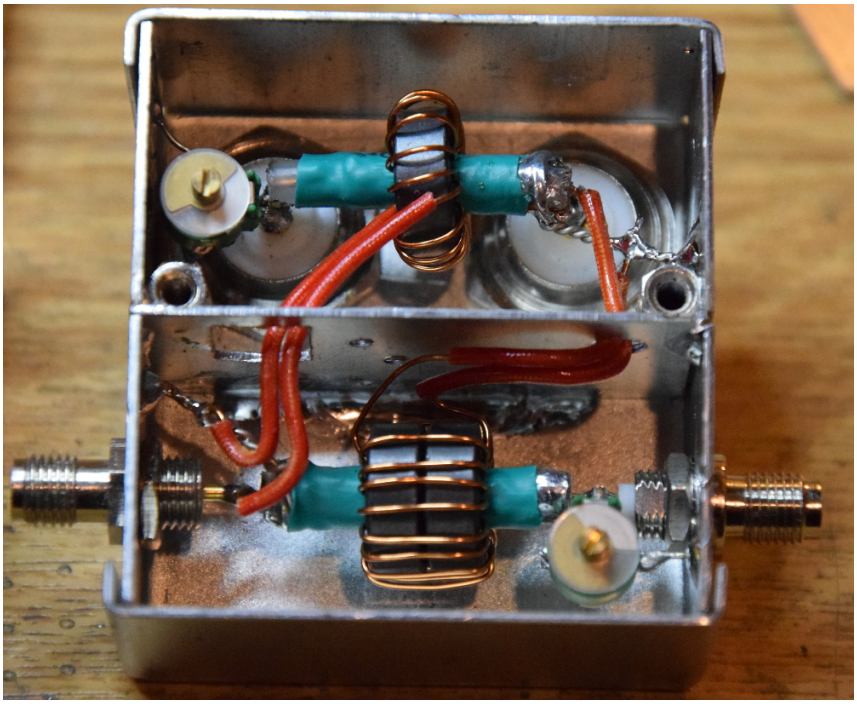
Das Leergehäuse. Die Trennwand habe ich zum bessern Verständnis schon eingesteckt. Es sind noch keine Löcher gebohrt. Die Trennwand soll zeigen wo die Löcher angezeichnet werden müssen.

- Anschließend noch die 2 Löcher für die SMA-Buchsen.

- **Achtung die Trennwand beachten. Die Löcher nicht an verkehrter Stelle bohren.**



- Die N-Buchsen habe ich mit einem großen Lötkolben fest eingelötet.
- Sind die Buchsen montiert wird die Trennwand eingelötet.
- Ich habe noch 2 Löcher gebohrt für die Befestigung des Gehäuses an der Rückwand des Wattmeters und 2 Sechskant-Messingbolzen eingelötet,
- Den weiteren Aufbau sieht man im folgenden Bild. Der Schirm des Koaxkabels wird nur auf einer Seite angelötet. Ich musste den äußeren Mantel des Koaxkabels entfernen und habe dafür einen grünen Schrumpfschlauch aufgezogen. Die Ringkerne gingen nicht auf das Kabel.



- In der oberen Kammer ist der Schirm rechts angelötet und in der unteren Kammer links angelötet. **Auf keinen Fall darf der Schirm des Koaxkabels auf beiden Seiten angelötet werden !!!** Der Schirm hat nur

die Funktion der Abschirmung zwischen Innenleiter und Übertrager. So dass keine HF zum Übertrager kapazitiv einkoppeln kann.

- Diese beiden Trimmer werden ganz zum Schluss eingelötet **oder erst wenn die Messungen durchgeführt werden**.

4 Messungen am Stockton Richtkoppler

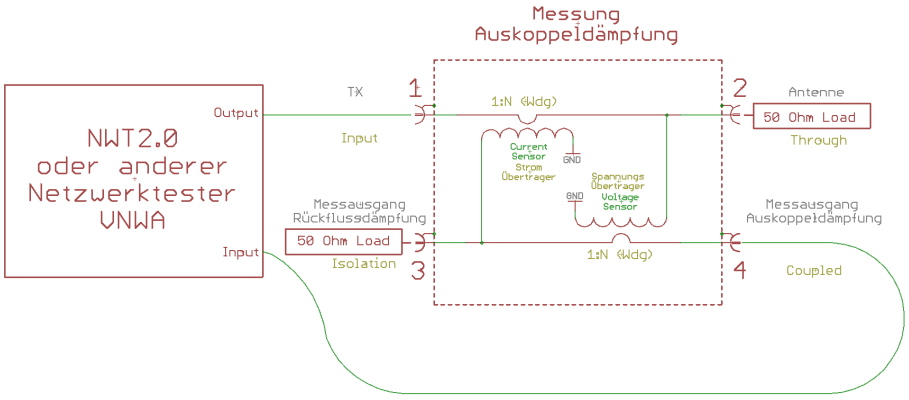
Wie gut der Richtkoppler funktioniert können wir nur durch Messungen feststellen. Ich selbst besitze dafür unterschiedliche Messgeräte. Am besten geeignet dafür ist mein NWT2.0 vom Funkamateur. Der SWV-Richtkoppler für SWV Messungen ist auch gleich mit im NWT2.0 eingebaut.

Überprüfung des Dämpfungwertes der Auskopplung

Weiter oben haben wir schon berechnet, dass bei 20 Windungen auf den Übertragern die Auskopplung -26,02dB beträgt.

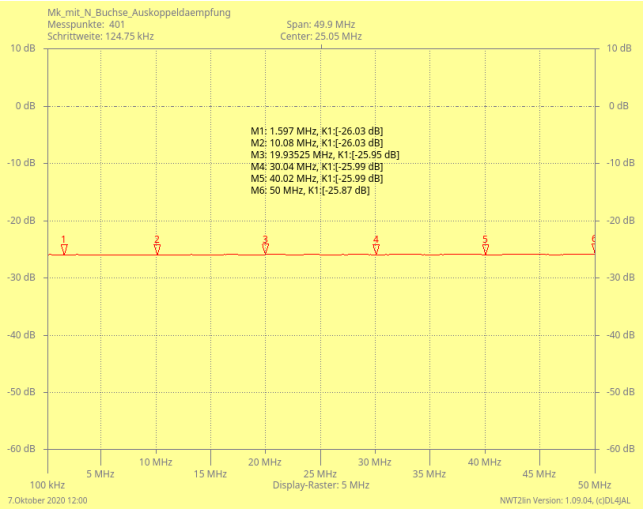
Messaufbau

- **Port1:** NWT Output
- **Port2:** Abschließen mit 50 Ohm
- **Port3:** Abschließen mit 50 Ohm
- **Port4:** NWT Input



Messaufbau im Bild

Messergebnis



Die Auskopplung entspricht meiner Berechnung. Alles OK.

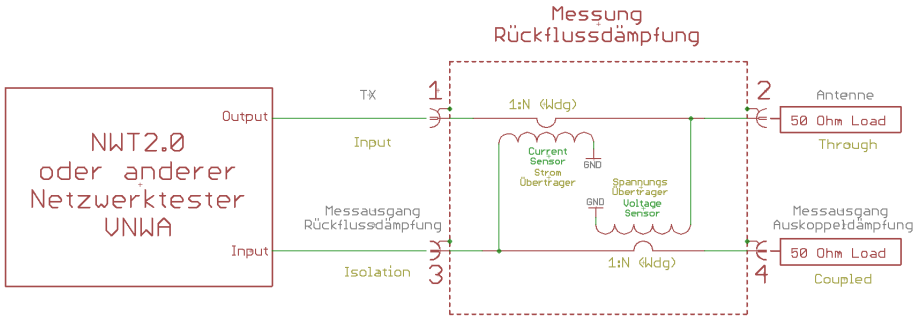
Überprüfung des Return Loss, der Richtschärfe

(ab FW 1.13) In der neusten Firmware ist im SETUP[21] *MK-Return Loss* eine Funktion zum einstellen und überprüfen der Richtschärfe. Nähere Beschreibung in „qrp_wattmeter_hardware.pdf“.

Wird der Richtkoppler an Port2 und Port4 mit 50 Ohm abgeschlossen, dürfte eigentlich an Port3 kein Pegel anliegen. Durch Übersprechen und Impedanzabweichungen ist das aber nicht so. Wie groß die Richtschärfe des Richtkopplers ist wird mit dieser Messung festgestellt.

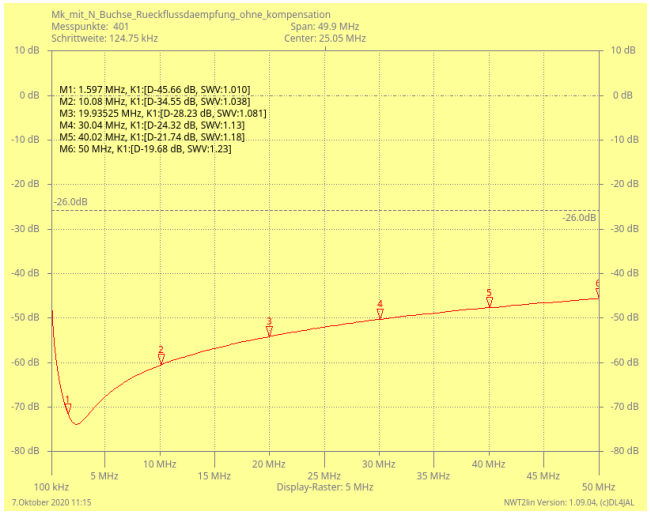
Messaufbau

- **Port1:** NWT Output
- **Port2:** Abschließen mit 50 Ohm
- **Port3:** NWT Input
- **Port4:** Abschließen mit 50 Ohm

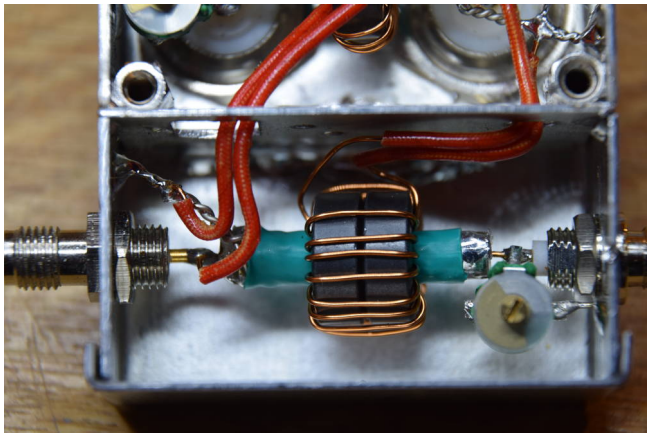


Messaufbau für die Richtschärfe, Return Loss.

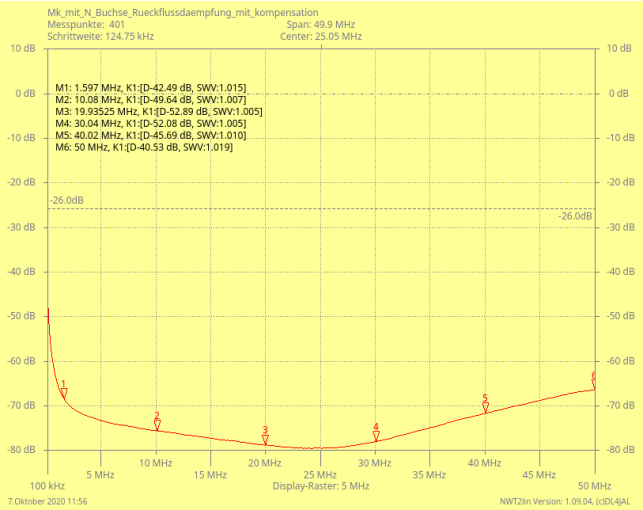
Messergebnisse



Die Linie bei -26dB stellt die Auskoppeldämpfung dar. Die Wobbellinie der Rückflussdämpfung sollte mindestens 30dB unterhalb verlaufen. So wäre gewährleistet im Frequenzbereich 1,5 MHz bis 50 MHz ein SWV kleiner 1,1 messen zu können. **Das ist nicht der Fall. Da müssen wir etwas Nachbessern.**



Der kleine Trimmer an Port4 müsste die Richtschärfe verbessern. Damit kann der induktive Anteil der Impedanz gut kompensiert werden.



Mit dem Trimmer wurde die Wobbelkurve optimiert. Die Wobbellinie der Rückflussdämpfung ist jetzt sehr gut. Im gesamten Frequenzbereich ist der Abstand zur -26 dB-Linie größer als 40 dB. Das ist ein sehr gutes Ergebnis. 30 dB Abstand über alles würden völlig ausreichen.

Der endgültige Abgleich der Richtschärfe wird nach dem Einbau des Richtkopplers in das Wattmeter gemacht. Das erläutere ich in der PDF „qrp_wattmeter_hardware.pdf“ *Kapitel 2.2.5 „Abgleich R26, Messeingang Vorlauf“*.

Überprüfung des Leistungsdurchganges

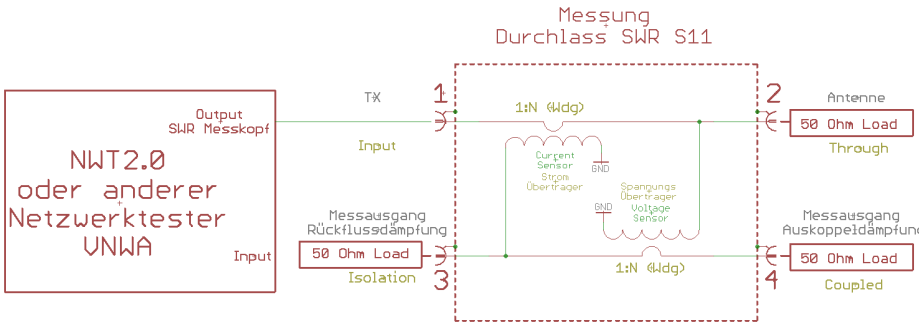
Von Port1 zu Port2 wird die Leistung übertragen. Auch dieser Übertragungsweg muss überprüft werden. Vor allem das SWV (S11) sollte überprüft werden. Die Durchgangsdämpfung (S21) messen wir zum Abschluss auch noch.

Leistungsdurchgang SWV (S11)

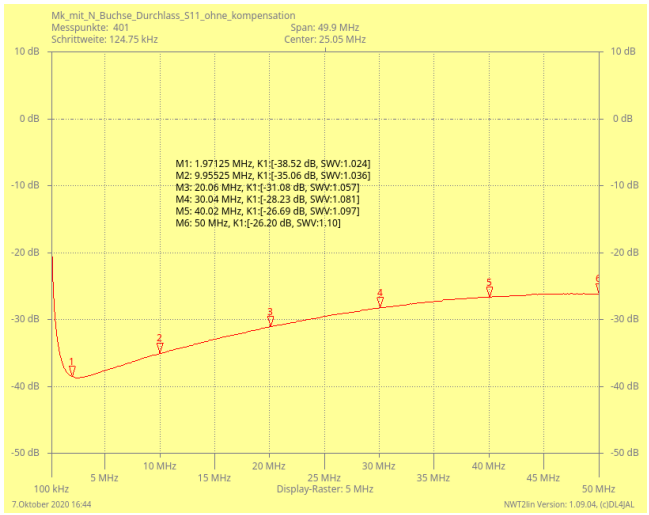
Aus Erfahrung weiß ich, dass die obere Kammer keine gute Nachbildung der Impedanz von 50 Ohm ist. Das ist vor allem bei höheren Frequenzen der Fall. Wie gut die Impedanz von 50 Ohm in der oberen Kammer von Port1 zu Port2 ist, können wir mit dieser Messung sichtbar machen. Verwenden wir RG58 für die 1 Windung im Ringkern ist das SWV schlechter als bei der Verwendung von RG142.

Messaufbau

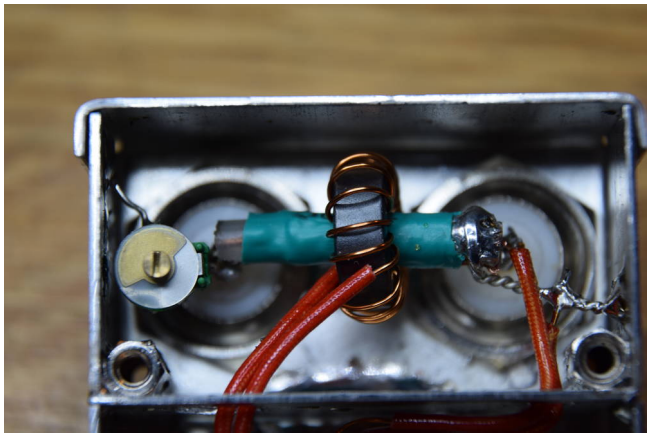
- **Port1:** NWT Output, SWV Messkopf in der SW laden
- **Port2:** Abschließen mit 50 Ohm
- **Port3:** Abschließen mit 50 Ohm
- **Port4:** Abschließen mit 50 Ohm



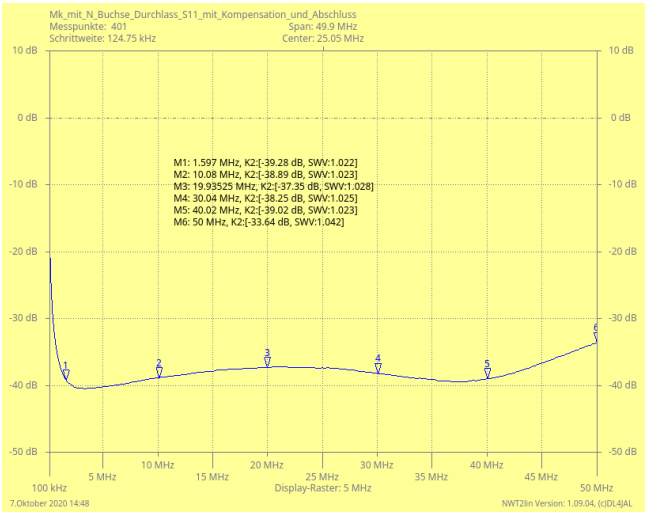
Hier noch die Grafik zum Messaufbau.



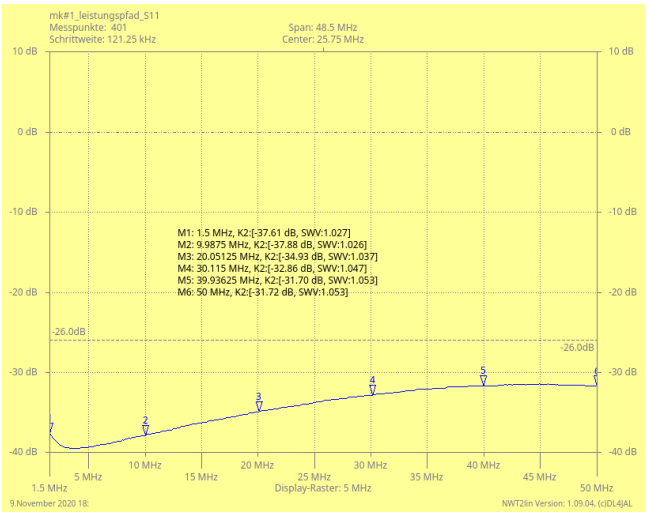
Die Messkurve bei der Verwendung von RG58. Das könnte gerade noch so durchgehen, ist aber nicht ideal.



Der kleine Trimmer an Port1 müsste das SWV verbessern. Der Trimmer ist nur notwendig bei Verwendung von RG58.



Meine Vermutung war richtig. Das SWV ließ sich mit dem Trimmer gut verbessern. So kann das SWV bleiben.



Hier noch das Messbeispiel bei der Verwendung von RG142 als Verbindung von Port1 zu Port2. Ohne Kompensationstrimmer ist die Rückflussdämpfung bei allen Frequenzen über 30 dB.

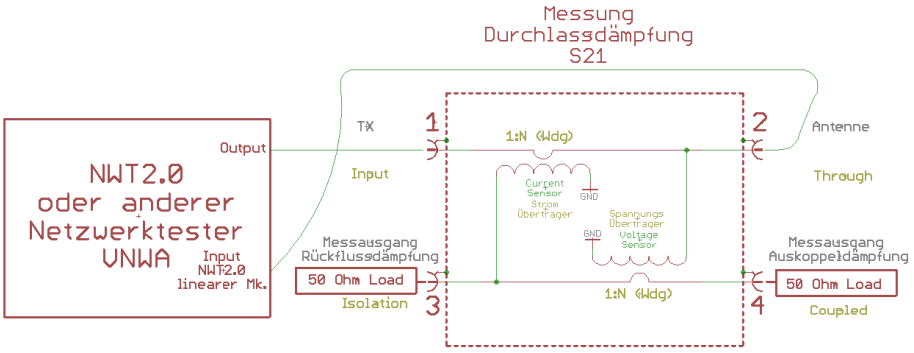
Leistungsdurchgang Dämpfung (S21)

Zuletzt überprüfe ich noch die Durchgangsdämpfung des Leistungszweiges. Der NWT2.0 hat für solche Messungen einen linearen Messkopf am Input Eingang, parallel zum logarithmischen Messkopf. Mit dem linearen Messkopf ist die Auflösung in der Nähe der 0 dB Linie hervorragend. Hundertstel dB-Werte kann man noch ablesen.

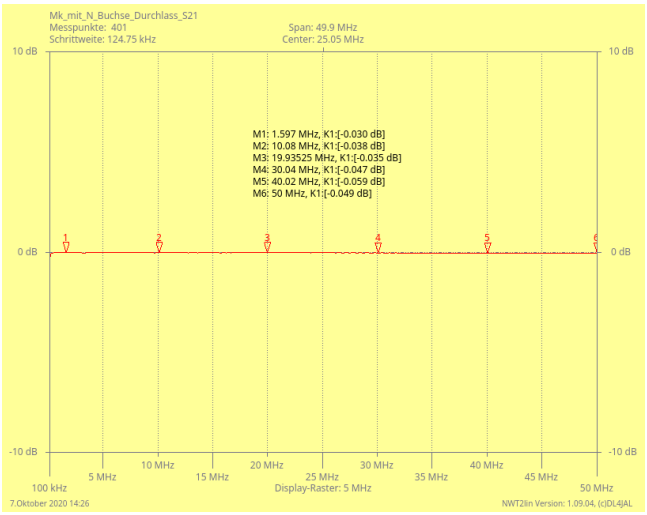
Messaufbau

- **Port1:** NWT Output

- **Port2:** NWT Input, linearen Messkopf in der SW benutzen
- **Port3:** Abschließen mit 50 Ohm
- **Port4:** Abschließen mit 50 Ohm



Hier noch die Grafik zum Messaufbau. Die Dämpfung der Zuleitungskabel habe ich beim Kalibrieren berücksichtigt und in die O dB Kalibrierung mit einfließen lassen.



Die Dämpfung der beiden Messkabel vom NWT und zum NWT habe heraus kalibriert. Es ist der reine Dämpfungsverlauf Port1 zu Port2 sichtbar. Die Verluste sind sehr gering.

5 Schlusswort

Mit diesem Beitrag wollte ich zeigen, dass man einen Richtkoppler im Eigenbau aufbauen kann, der auch noch ausgezeichnete elektrische Eigenschaften besitzt.

Dieses Projekt darf nicht kommerziell vermarktet oder genutzt werden. Alle Rechte liegen bei DL4JAL (Andreas Lindenau). Ich wünsche viel Spaß Nachbau. Der nächste Schritt ist der Aufbau der Messplatine. Diese PDF folgt noch.

vy 73 Andreas DL4JAL

✉ DL4JAL@t-online.de