

# Hinweise zum Reflexionsmeßkopf mit dem TDC-10 für den FA-NWT, 1. Nachtrag

Helmut Stadelmeyer, OE5GPL

***Zur Messung der Anpassung von Baugruppen an ein 50-Ohm-System mit dem FA-NWT ist ein Reflexionsmeßkopf notwendig. Der Leserservice des FUNKAMTEUR bietet dazu den Richtkoppler BX-66 an, bei dem es sich um einen kompletten Bausatz handelt. Nachstehend werden die beim Aufbau dieses Richtkopplers gemachten Erfahrungen beschrieben.***

In [1] werden das Prinzip einer solchen Messung und das Funktionsprinzip eines Richtkopplers sehr anschaulich beschrieben, der Zusammenbau wird erläutert und die ermittelten technischen Daten des Musterexemplars werden angeführt. Die zum Bausatz BX-066 gehörige Baubeschreibung [2] zeigt ebenfalls die Details des Zusammenbaues und gibt eine ganze Reihe von Hinweisen zu den Meßmöglichkeiten im Zusammenwirken mit dem FA-NWT.

Wir haben beim Zusammenbau von insgesamt vier solchen Reflexionsmeßköpfen ebenfalls einige Erfahrungen gewonnen, die anderen Nachbauenden nicht vorenthalten werden sollen:

## Mechanischer Zusammenbau

Es ist Geschmackssache, wo die Buchsen und wo der Stecker montiert werden. Bei meinem Koppler ist beispielsweise der Stecker in der Mitte angeordnet. In allen übrigen Punkten haben wir uns strikt an die Aufbauanleitung gehalten.

Das aus 0,5 mm Weißblech bestehende Gehäuse ist ausreichend stabil für eine bestimmungsgemäße Verwendung des Richtkopplers. Beim Festziehen der Muttern an den BNC-Buchsen muß man aber sehr aufpassen, daß die Stirnseiten des Gehäuses nicht verbogen werden. Gut bewährt hat sich, die Buchse lose zu montieren und dann den äußeren Teil der Buchse in einem Dreieckenfutter einzuspannen (das kann ein entsprechend großes Bohrfutter sein oder auch das Futter einer Drehmaschine). So kann dann die Mutter mit dem Gabelschlüssel soweit festgezogen werden, daß sich die Verschraubung im späteren Betrieb nicht mehr lockert. Ebenso kann man die Schmalseite des Gehäuses in einem kleinen Schraubstock senkrecht einspannen und die Mutter festziehen.

Beginnen sollte man mit dem Anschluß in der Mitte des Gehäuses, wo es nicht ganz so einfach ist: Damit der Abstand des Mittelleiters der Buchse oder des Steckers zum Anschluß 2 des TDC-10 richtig wird, ist außen ein Abstandhalter von 3 mm Breite einzufügen. Das kann eine zusätzliche Mutter sein, wie in der Baubeschreibung ersichtlich, oder auch ein auf der Drehmaschine hergestellter Zwischenring aus Aluminium.

Festziehen kann man diese Mutter, wenn man eine Stecknuß hat, die in das schmale Gehäuse paßt. Notfalls geht das auch mit einer Langbeck-Flachzange, ohne allzu viele Kratzer am Gehäuse und an den Händen anzurichten.

Zum Anlöten der breiten Massefahne ist ein kräftiger LötKolben mit 80 Watt zu empfehlen, damit die Erwärmung des Richtkopplers gering bleibt. Man geht wie folgt vor: Die Blechfahne auf das passende Maß ablängen und an den Stellen, wo sie mit dem Gehäuse und dem TDC-10 verlötet werden soll, vorverzinne. Dann die Fahne zuerst am Gehäuse festlöten. Vor dem Einlöten des TDC-10 sind seine Anschlüsse so zurechtzubiegen, daß sich einerseits möglichst kurze Verbindungen ergeben, andererseits aber auch kein Kurzschluß entsteht. Anschließend wird der TDC-10 eingelötet und zum Schluß die Massefahne am TDC-10. Glaubt man der Baubeschreibung, so ist der Meßkopf damit fertig.

## Elektrische Ergebnisse

OE5EBL hat seinen Meßkopf schon ein paar Tage vorher zusammengebaut und vermessen und das Ergebnis bei der Richtschärfe war keineswegs ermutigend, wie die nachstehenden Werte zeigen:

Frequenz [MHz]	OE5EBL [dB]	FA [dB]
20	43	>50
50	37	>50
160	26	>42

Des Weiteren hat in der Konfiguration von DJ1UGA (Generator an Pin 4) der Wert für den Vorlauf (ohne 50 Ohm Abschluß an Pin 1 des TDC-10) und auch der für den Rücklauf (mit Abschluß) zwischen 10 und 200 MHz Schwankungen um 5 dB gezeigt.

Bei Anschluß des Generators an Pin 2 (nach MiniCircuits) entsprach der Verlauf der Richtschärfe jenem, wie er von anderen Richtkopplern bekannt ist.

Solchermaßen vorgewarnt war die Messung eines weiteren Exemplars umso spannender. Gleich vorweg: Auch bei meinem dieselben schlechten Ergebnisse! Die in [1] angegebene Richtschärfe wurde bei weitem nicht erreicht, die Werte änderten sich spürbar, wenn der Deckel aufgesetzt oder abgenommen wurde und bei abgenommenem Deckel war ebenfalls eine starke Handempfindlichkeit am Pin 1 festzustellen. Nun war guter Rat teuer.

Nach einigem Grübeln wurden die Außenleiter der an den Stirnseiten befindlichen BNC-Anschlüsse wie in Abb. 1 ersichtlich mit einem Streifen Kupferfolie verbunden gemäß der Überlegung, daß eine zusätzliche Masseverbindung wahrscheinlich weniger schadet als eine fehlende. Auch mit der Oberseite des TDC-10 wurde diese Folie verlötet. Das Ergebnis dieser Änderung zeigt die Abb. 2.



Abb. 1: Zusätzliche Masseverbindung am Exemplar OE5GPL.

*Achtung! Die etwas dunklere Kupferfahne am Mittelleiter der linken Buchse war bei dieser Messung noch nicht montiert!*

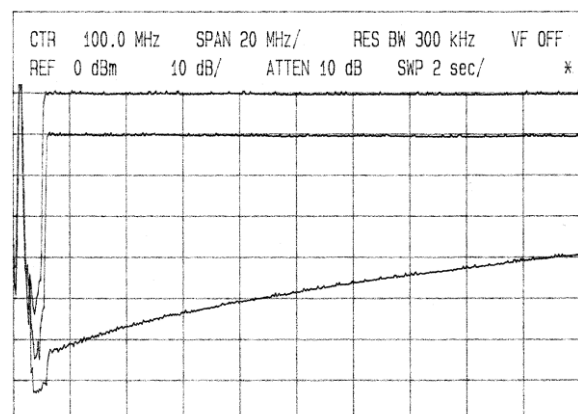


Abb. 2: Mit der ersten Änderung erreichte Verbesserung der Richtschärfe

Damit ist die Richtschärfe gegenüber den ersten Meßwerten von OE5EBL schon soviel besser geworden, daß die vom Hersteller des TDC-10 angegebenen Werte annähernd erreicht worden sind. Hand- und Deckelempfindlichkeit waren geringer, aber immer noch vorhanden.

Das Anbringen einer etwa 10 mm langen und 4 mm breiten Abgleichfahne am Mittelleiter der linken Buchse etwa 1 mm über der Massefolie, die eine Kapazität von etwa 1 pF darstellt, hat die Richtschärfe nochmals im unteren Frequenzbereich beträchtlich und im oberen um ca. 3 dB verbessert (Abb. 3 und 4). Damit liegen die gemessenen Werte über jenen, die der Hersteller garantiert. Eine Deckelempfindlichkeit ist nun nicht mehr feststellbar, die Meßkurve ändert sich nur mehr, wenn man die Abgleichfahne direkt berührt. Der Abgleich auf beste Richtschärfe erfolgt durch vorsichtiges Einstellen des Abstandes der Fahne zur Massefolie.

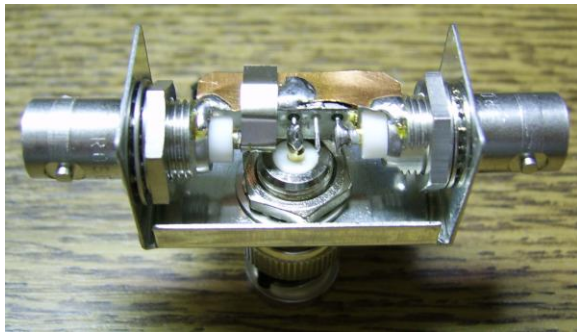


Abb. 3: Zusätzliche Abgleichfahne am Exemplar OE5GPL

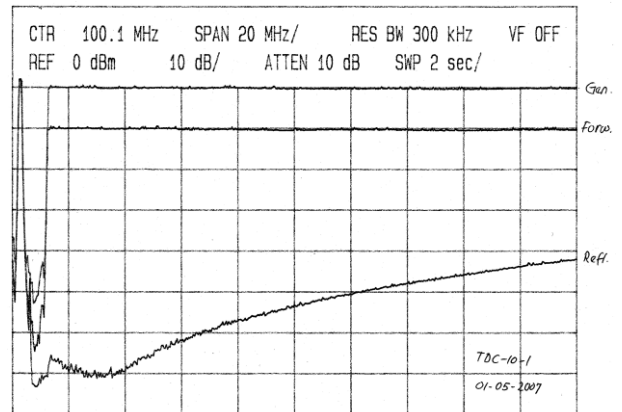


Abb. 4: Eine weitere Verbesserung der Richtschärfe

Eike hat anstatt der Blechfahne einen kleinen Trimmer eingebaut (0,8 – 4,7 pF, Murata Typ CV05) und damit einen eindeutigen und dabei sehr einfach durchzuführenden Abgleich auf maximale Richtschärfe über den gesamten Frequenzbereich zustande gebracht. Geeignet sind auch andere Trimmer, die den Bereich von 1 – 2pF abdecken (Murata SMD-Serien TZV2, TZC3, TZB4 TZ03). Wichtig für den leichten Abgleich ist, daß der Trimmerrotor auf Massepotential liegt. Die eingestellte Kapazität beträgt 1,4 – 1,5 pF. Die damit erzielte Richtschärfe beträgt ebenfalls 36 dB bei 160 MHz (Abb. 5 und 6).

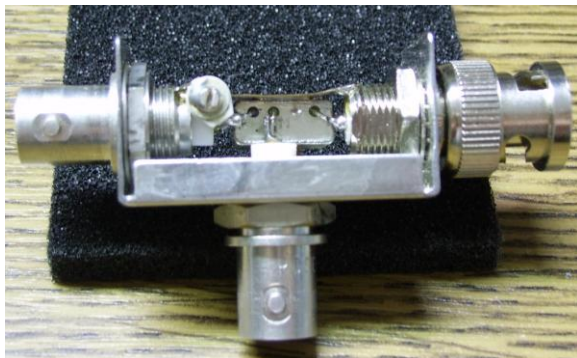


Abb. 5: Aufbau des TDC-10 Richtkopplers nach OE5EBL

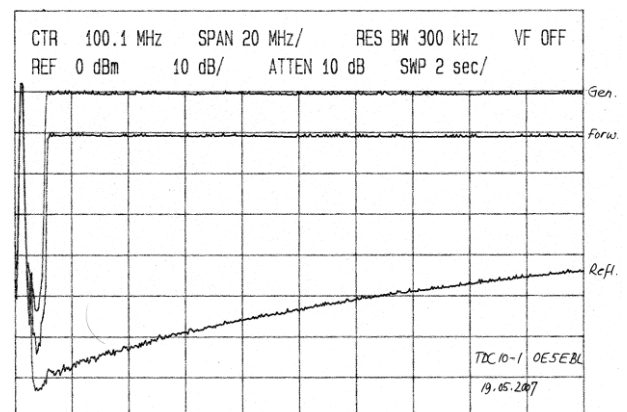


Abb. 6: Verlauf der Richtschärfe bei Eike's Exemplar im Bereich von 10 bis 200 MHz

Somit erreicht auch Eike's Koppler nicht die von DJ1UGA gemessenen Werte. Warum das so ist, hat sich bisher nicht schlüssig klären lassen, vielleicht hat aber DJ1UGA bei seinem Probeaufbau zufällig ein ganz besonders gutes Exemplar erwischt. Die Vermutung, daß es sich bei den von DJ1UGA ermittelten Meßwerten um „Ausreißer“ handelt, wird durch den Umstand erhärtet, daß auch die anderen beiden Koppler von OE5VLL und OE5EVM exakt dasselbe Verhalten zeigen wie unsere Exemplare.

Daß nicht alle TDC-10 so gut sind wie seiner, geht auch schon aus der Baubeschreibung hervor: Auf der Seite 6 weist das Bild A9 bei 160 MHz eine Richtschärfe von 35 dB aus, was sich recht gut mit unseren Ergebnissen deckt. Bei 50 MHz ist unser Aufbau sogar besser (ca. 55 dB gegenüber ca. 43 dB laut Bild A9). Für die üblichen Messungen an Antennen und Baugruppen ist das jedoch ausreichend und wer etwas Besseres möchte, muß auf die Ergebnisse eines Versuchs mit dem PDC-20 warten. Der soll so kompromißlos wie nur möglich aufgebaut werden, um bestmögliche Daten zu erreichen. Voraussetzung für das Gelingen dieses Versuchs ist allerdings, daß die in [1] für den PDC-20-1 veröffentlichten Meßergebnisse an einem nur durchschnittlich guten Exemplar gewonnen worden sind.

Der TDC-10 ist insoferne symmetrisch aufgebaut, als Haupt- und Nebenleitung ohne weiteres vertauscht werden können, ohne daß sich an der Richtschärfe oder der Koppeldämpfung etwas ändert:

Für die Messung der Anpassung (Reflexionsdämpfung bzw. Rücklaufdämpfung) kann man

- nach DJ1UGA den Generator an Pin 4, das Meßobjekt an 1 und die Anzeige an 2 oder aber
- nach MiniCircuits den Generator an Pin 2, das Meßobjekt an 1 und die Anzeige an 4 anschließen.

Bei der Messung der Koppeldämpfung wird

- nach DJ1UGA der Generator an Pin 4, das Meßobjekt an 2 und die Anzeige an 1 oder
- nach MiniCircuits der Generator an Pin 1, das Meßobjekt an 2 und die Anzeige an 4 angeschlossen

Jedesmal erhält man dabei die Koppeldämpfung mit ein wenig mehr als 10 dB, unabhängig davon, ob das Meßobjekt eine Impedanz von 50 Ohm hat oder irgendeinen anderen Wert zwischen Kurzschluß und offenem Ausgang. In den beiden letztgenannten Fällen ist allerdings eine ganz leichte Welligkeit der Kurve im Frequenzbereich unter 100 MHz festzustellen.

**Der in [1] gemachten Aussage, daß beim TDC-10 die guten Werte für die Richtschärfe ohne jeden Abgleich erreicht werden, können wir nach diesen Erfahrungen nicht zustimmen. Es ist vielmehr so, daß selbst bei bestmöglichem Abgleich die dort genannten Werte nicht zu erreichen sind.**

Für diejenigen, die den FA-NWT bereits aufgebaut haben, ist der exakte Abgleich des TDC-10 ein Leichtes – der Anhang der Aufbauanleitung gibt die notwendigen Hinweise für die Ermittlung der Richtschärfe. Dabei ist die Verwendung eines qualitativ hochwertigen Abschlußwiderstandes mit genau 50 Ohm unerlässlich! Der Widerstand sollte eine Rückflußdämpfung von mehr als 40 dB bei 160 MHz besitzen. Unter diesen Voraussetzungen hat man für Anpassungsmessungen im Bereich von 1 - 200 MHz einen äußerst preiswerten Richtkoppler mit einer sehr hohen Richtschärfe, der es mit vielfach teureren Produkten von HP und NARDA aufnehmen kann.

Hat man keinen Zugang zu Meßmitteln, dann ist ein Aufbau angeraten, wie er oben beschrieben ist. So kommt man zu einem Richtkoppler, der vielleicht nicht hundertprozentig optimiert, aber immer noch deutlich besser ist als einer ohne jede Nacharbeit.

## Zusammenfassung

Der Beitrag gibt zusätzliche Hinweise für den Zusammenbau des TDC-10-Richtkopplers für den FA-NWT. Die damit gewonnenen Meßergebnisse erreichen nicht die in [1] angekündigten Werte, die in der Baubeschreibung genannten Werte für die Richtschärfe sind zum Teil widersprüchlich. Die von uns gemessenen Werte decken sich allerdings mit jenen, die im Anhang zur Baubeschreibung angeführt sind.

Die im Datenblatt von MiniCircuits angegebenen Werte für die Richtschärfe lassen sich durch die oben beschriebenen geringfügigen Änderungen beim Aufbau leicht übertreffen. Das Verdienst von DJ1UGA ist, daß er uns mit diesem vorzüglichen Bauteil von MiniCircuits bekanntgemacht hat.

Helmut, OE5GPL

Verweise und Quellen:

- [1] Nussbaum, Hans, DJ1UGA: Messung der Reflexionsdämpfung mit dem FA-Netzwerktester. FUNKAMATEUR 55 (2006). H. 12, S. 1398 - 1401
- [2] Nussbaum, Hans, DJ1UGA, Hegewald, Werner, Dr.-Ing., DL2RD: Reflexionsmeßkopf für den Netzwerktester FA-NWT. Baubeschreibung (7 Seiten)

## 1. Nachtrag (März 2009)

Schon bei den ersten Versuchen nach dem Zusammenbau des Richtkopplers in einem Zustand, wo am Meßausgang noch keine Abgleichfahne dran war, hat sich gezeigt, daß ganz vorsichtiges Berühren dieses Lötstiftes mitunter eine sehr weitgehende Verbesserung der Richtschärfe zur Folge hat. Diese Erkenntnis hat sich in der Zwischenzeit nicht verflüchtigt wie mittlerweile schon so vieles, sondern sie hat sich im Gegenteil soweit verdichtet, daß der innere Antrieb für einen weiteren Versuch schließlich übermächtig geworden ist.

Nach dem Öffnen des Gehäuses (mühsam, obwohl nur an den Ecken punktwise verlötet) und Entfernen der Abgleichfahne eine ausgiebige Fingerprobe bei aufgestecktem Abschlußwiderstand: die Richtschärfe schwankt je nach Lage des Fingers und je nach Druck zwischen ganz schlecht und traumhaft gut! Die Frage ist nur: wie kann man einen Finger durch elektrische Bauteile nachbilden? Bei diesen Versuchen muß man den besten Abschlußwiderstand nehmen, den man kriegen kann, denn er bestimmt ganz entscheidend die Sinnhaftigkeit und Qualität eines Abgleichs.

Es leuchtet ein, daß der Finger für ein HF-führendes Bauteil eine Kapazität darstellt – die auf Masse liegende Platte eines Kondensators sozusagen. Diese bei der Meßbuchse fehlende Kapazität hat die vorhin entfernte Blechfahne geliefert. Mit ihr allein ist es jedoch bei allem Bemühen nie gelungen, die ausgezeichneten Werte, die der Finger liefern kann, nachzustellen. Was bleibt uns sonst noch an Möglichkeiten zum Probieren?

Unsere Haut hat auch einen ohm'schen Widerstand, der von vielen Umständen abhängt, meist aber im Kiloohm-Bereich liegt. Warum nicht einen Widerstand dem Kondensator versuchsweise parallel schalten?

Nach dem Festlöten einer neuen, etwas breiteren Fahne wurde dann bei laufendem Wobbelbetrieb mit einer schmalen, gekröpften Pinzette ein 2k2-SMD-Widerstand der Baugröße 1206 an einem metallisierten Ende umfaßt und mit dem anderen Ende an die Blechfahne gehalten; die Pinzettenspitze lag dabei an Masse. Und siehe da, die Richtschärfe verbesserte sich dort, wo es notwendig war, nämlich im oberen Frequenzbereich, während sie im unteren Bereich wegen des verringerten ohm'schen Widerstandes abnahm, aber immer noch mehr als die gewünschten 40 dB beträgt!

Durch wechselweises Optimieren von Kapazität und Widerstand lassen sich auf diese Weise nahezu dieselben guten Ergebnisse erreichen wie mit dem Finger. Der hat allerdings noch einen entscheidenden Vorteil: wegen des großen Querschnittes stellt er vermutlich keine wesentliche Induktivität dar, wogegen unsere Bauteile sehr wohl eine solche haben: ein 1206-Widerstand hat immerhin etwa 3 nH und eine Kapazität von 0,2 pF, die nicht wegzubringen sind. Ganz kann man den Finger mit diesen einfachen Mitteln also doch nicht nachbilden.

SMD-Widerstände bestehen aus Keramik, sie sind spröde und brechen bei mechanischer Beanspruchung sehr leicht. Man ist deshalb gut beraten, beim Abgleich und der späteren Verwendung darauf zu achten, daß nur leichte Kabel an die Buchsen angeschlossen werden und keine Kraft auf die Buchsen wirkt. Nach erfolgtem Abgleich sollte man sogleich die Abdeckung festlöten. Ebenso sollte die Fahne aus nachgiebigem Material sein, um auf die SMD-Widerstände keine zu große Kraft auszuüben.

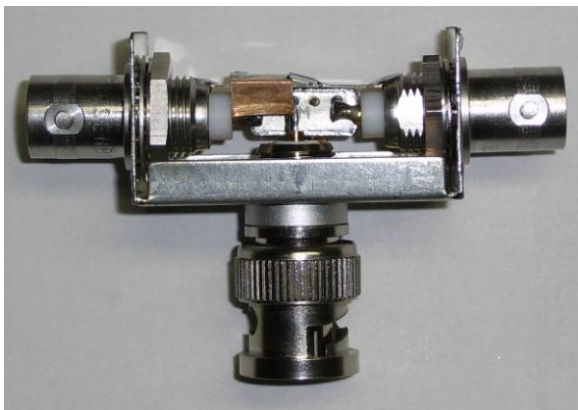


Abb. 7: Vorderseite des neu abgeglichenen Richtkopp-  
lers

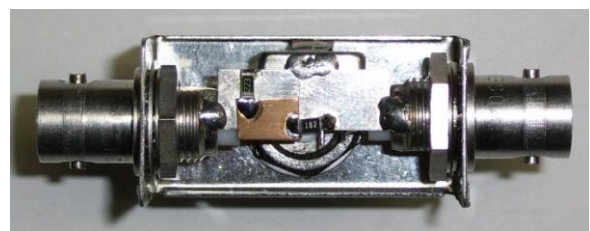


Abb. 8: Draufsicht

Der optimierte Aufbau sieht jetzt so aus wie in den Abbildungen 7 bis 9. Die Masseverbindung aus Weißblech zwischen den beiden Buchsen liegt auf den Teflon-Ansätzen der Buchsen. Kupferblech bringt in diesem Fall keinen Vorteil, weil die Oberfläche des Verbinders sehr groß ist und der Unterschied im Leitwert des Materials deswegen keine Rolle spielt. Für saubere Lötarbeit bei den Buchsen ist ein Kolben mit kräftiger, massereicher Spitze notwendig, mit dem sich die Verbindungen zügig herstellen lassen.



Abb. 9: Rückseite

Es wurde schon oben darauf hingewiesen, daß beim Abgleich dem verwendeten Abschlußwiderstand die wesentliche Rolle zukommt. Der Versuch, mit einem gerade greifbaren BNC-Widerstand aus veralteter Netzwerktechnik auszukommen, ist deshalb völlig sinnlos. Legt man auf einen ordentlichen Abgleich Wert, und genau zu dem Zweck machen wir die ganze Übung, dann ist das Beste gerade gut genug. Bei der Gelegenheit wird schmerzlich bewußt, daß richtige Meßtechnik teuer ist. Doch wir wollen mit dem Koppler messen und nicht nur schätzen und brauchen deshalb zumindest diesen einen guten Widerstand.

In meiner Lade liegen viele BNC-Abschlußwiderstände, aber nur ein einziger davon verdient die Bezeichnung „gut“. Er ist ein Fabrikat von HUBER & SUHNER, Type 65\_BNC-50-0-1/133\_NE. Das soll keinesfalls heißen, daß andere Hersteller keine besseren oder gleich guten Abschlüsse in ihrem Programm haben; ich habe eben nur den einen wirklich guten. Er hat bis fast 2 GHz ein SWR unter 1,02 und zwischen 10 und 200 MHz eine Rückflußdämpfung von mehr als 42 dB (Abb. 13). So gerüstet kann man guten Gewissens an den Abgleich des Kopplers gehen.

Wie sich ein nicht ganz so guter Widerstand beim Abgleich auswirken kann, ist in Abb. 10 gut zu sehen: die rote Kurve gilt für den 65\_BNC-50-0-1/133\_NE, die gelbe und die grüne Kurve sind mit 2 Widerständen, die ebenfalls von SUHNER sind, aber eine andere Bauform haben und keine so guten HF-Meßwerte aufweisen, aufgenommen worden. Es wird deutlich, daß sie das Meßergebnis bei hohen Frequenzen kräftig schönen, während bei niedrigen Frequenzen eine schlechtere Richtschärfe vorgetäuscht wird. Soviel zum Einfluß des Widerstandes. Die violette Kurve ergibt sich bei abgezogenem Widerstand.

Durch das gute Ergebnis beim Abgleich ermutigt, sind zwei weitere TDC-10-Richtkoppler derselben Bauart nach dieser Methode untersucht worden. Das Ergebnis zeigen die Bilder 11 und 12. Der Koppler von Bild 11 war schon vor dieser Änderung nicht so gut wie der erste und der dritte, sozusagen ein Ausreißer nach unten. Anscheinend bewegt man sich hier bereits sehr an der Grenze des Machbaren und die Unterschiede zwischen den einzelnen Exemplaren werden deutlich.

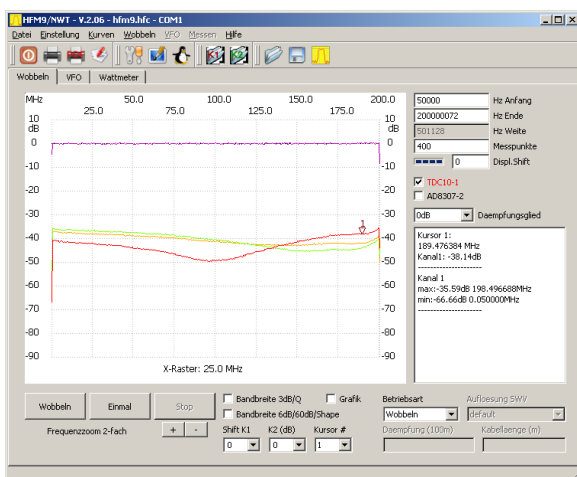


Abb. 10: Das Ergebnis des Herumprobierens

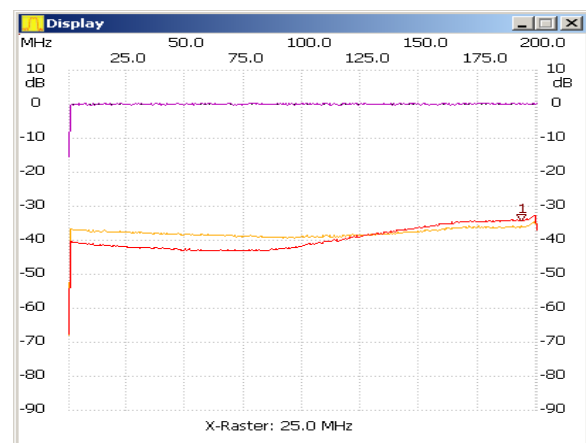


Abb. 11: Ergebnis beim zweiten Richtkoppler mit gutem und weniger gutem Abschluß

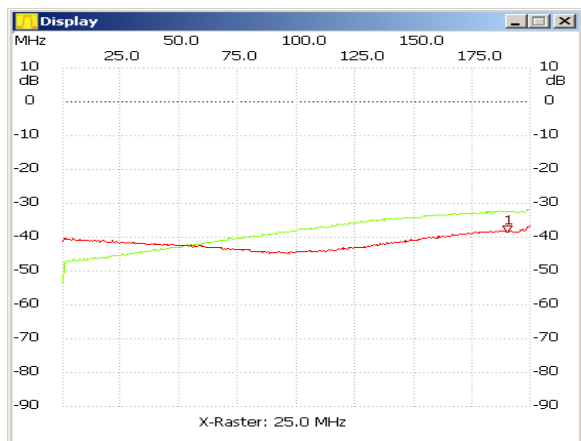


Abb. 12: Der Richtkoppler von OE5PLN vor und nach der Änderung

Eine Erkenntnis aus der Untersuchung ist, daß es nicht jeder Koppler bei 190 MHz auf eine Richtschärfe von 38 dB oder noch mehr bringen wird.

Das Exemplar von OE5PLN gehört jedenfalls zu den „Guten“. Es lag schon immer gleichauf mit meinem besseren TDC10-Koppler und zeigt auch nach dieser Änderung ein nahezu gleichartiges Verhalten (vgl. Abb. 12 mit Abb. 10). Die grüne Kurve wurde vor dem Umbau aufgenommen, die rote zeigt den durch den Umbau erreichten Verlauf der Richtschärfe.

Zum Abschluß der Verlauf der Rückflußdämpfung beim Meßwiderstand. Ob alle Widerstände dieser Type dieselben guten Werte aufweisen oder ob sie einer starken Streuung unterliegen und es sich zufällig um ein besonders gutes Exemplar handelt, ist nicht feststellbar.

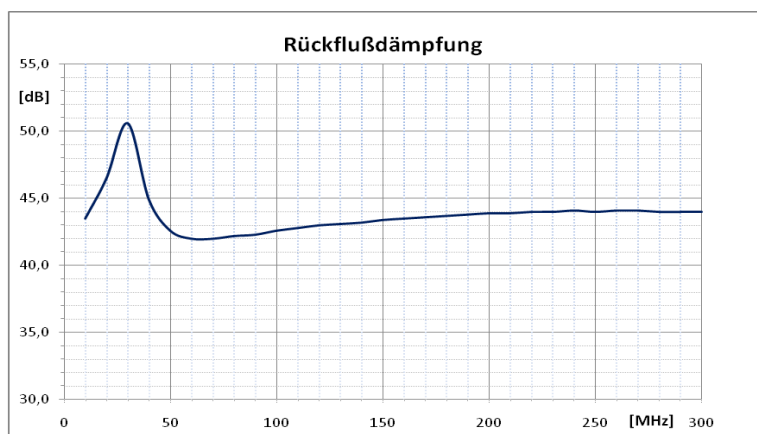


Abb. 13: Verlauf der Rückflußdämpfung beim Meßwiderstand



Abb. 14: So sieht der Meßwiderstand aus