

## VHF · UHF · SHF · ANTENNEN · MESSTECHNIK

Günter Schwarzbeck, DL1BU, 6917 Schönau - Altneudorf

### Einleitung

Es gibt in der Hochfrequenz- und Funktechnik nur selten technische Daten, die so sehr angezweifelt werden oder auch in wenigen Fällen so unzuverlässig sind wie die Eigenschaften und Spezifikationen von Antennen. Dies gilt für VHF-UHF-SHF-Antennen in gleicher Weise wie im Kurzwellenbereich. Im folgenden werden die Messungen der Anpassung, des Gewinns und der Richtdiagramme gezeigt, wobei alternativ professionelle Meßtechnik wie auch der Einsatz billiger "Altmeßgeräte" in Betracht kommt. Manche Hilfsmittel müssen sogar im Eigenbau erstellt werden, da sie sonst nicht verfügbar sind oder nur im Rahmen extrem teurer Systeme vorkommen.

Im Kurzwellenbereich sind manche Antennenmessungen von der Dimension her schwierig, insbesondere, wenn die unter Elevationswinkeln erfolgende Abstrahlung bei erdnahem Betrieb zu berücksichtigen ist. Hier bieten sich gleichfalls Messungen an Modellen im UHF-Bereich an. Dies wurde in vielen früheren cq-DL-Beiträgen gezeigt.

### ANPASSUNGS- und VSWR-Messungen

Anpassungsmessungen können mit Stehwellen-Meßgeräten, mit Rauschbrücken, mit professionellen Meßbrücken, mit Richtbrücken und insbesondere Richtkopplern durchgeführt werden. In der professionellen Antennen-Impedanzmeßtechnik werden solche Richtkoppler zusammen mit skalaren Netzwerkanalysatoren (VSWR) oder vollwertigen Netzwerkanalysatoren (z.B. mit Smith-Diagramm) in Betrag und Phase bzw. Wirk- und Blindanteil gemessen. Die Antenne stellt den Abschluß eines der Richtkoppler dar, ein zweiter "Referenzkoppler" gleicher Bauart kompensiert gewisse Systemfehler oder erlaubt die Einbeziehung eines gleichartigen Koaxialkabels wie dasjenige zum Prüfling.

In unserer Praxis genügt in aller Regel die "skalare" Messung des Stehwellenverhältnisses oder der "Rücklaufdämpfung". Eine Aufspaltung in Betrag und Phase oder Wirk- und Blindanteil (Meßbrücke) bringt nicht so viel Zusatzinformation, wie dies gelegentlich angenommen wird. Mit jedem "Zentimeter" Kabellänge verändert sich nämlich dieses Wertepaar, wobei jedoch das skalare Stehwellenverhältnis (bei idealer Meßtechnik) gleich bleibt.

Klassische Meßbrücken, wie sie noch im KW-Bereich eingesetzt werden, sind bei UHF-Messungen nicht mehr einsetzbar. Richtkoppler, die in der Lage sind, zwischen vor- und rücklaufender Welle zu unterscheiden, lassen sich in strenger "Leitungstechnik", also z.B. Koaxial- oder Streifenleitungstechnik, herstellen. Sie stellen insofern einfach eine Verlängerung eines verlustarmen 50-Ohm-Koaxialkabels dar. Ein solcher einfacher oder doppelter (Hin- und Rücklauf-) Richtkoppler läßt sich auch in der Regel direkt am Speisepunkt der zu messenden Antenne anbringen

Hier werden im folgenden solche "Leitungs-Richtkoppler" beschrieben. Von Kurzwellengeräten sind allgemein sog. "Hybrid-Richtkoppler" bekannt, die einmal den HF-Strom im Innenleiter eines Koaxialkabels über einen Ferritringkernübertrager messen und zum anderen über einen kapazitiven Spannungsteiler die im Kabel vorhandene Innenleiterspannung abgreifen. Solche Anordnungen werden heute in großer Zahl in jedem KW-Transceiver als Vor- und/oder Rücklaufmesser mit glattem Frequenzgang von 1,8 MHz bis 30 MHz eingesetzt, ebenso in Durchgangsleistungsmessern sowie in Kreuzzeigerinstrumenten. Transceiver-Endstufen werden gegen starke Fehlanpassung

mit solchen Hybrid-Richtkopplern durch eine Abregelspannung für die Vorstufen des Senders geschützt.

Die hier für den VHF-UHF-SHF-Bereich beschriebenen Leitungs-Richtkoppler bestehen aus einer (meist) 50-Ohm-Koaxialleitung hoher Präzision. An der Peripherie dieses Durchgangs-Koaxials sind ein oder zwei weitere "offene" 50-Ohm-Leitungen angebracht, die auf der einen Seite einen 50-Ohm-Abschlußwiderstand und am anderen Ende eine 50-Ohm-Koaxialverbindung (N-Buchse, BNC, SMA) besitzen. Diese Nebenleitungen koppeln richtungsabhängig einen kleinen Anteil der Durchgangsleistung aus und führen ihn einem HF-Spannungs (bzw. Leistungs-)Anzeiger zu.

Abb.1 zeigt links einen Ausschnitt eines solchen Koaxials mit dem dicken 50-Ohm-Innenleiter für die Durchgangsleistung und zwei schlanke Auskoppelleitungen. Die obere führt (im Bild sichtbar) zu einer Koaxialbuchse und am anderen Ende zu einem 50-Ohm-Abschlußwiderstand. Die untere Nebenleitung ist im Bild mit dem Abschlußwiderstand gezeigt, die HF-Buchse liegt außerhalb am anderen Ende.

Verlust- und strahlungsarme UHF-Leitungen lassen sich auch in Streifenleitungstechnik aufbauen. Für den Eigenbau von Richtkopplern ohne Dreh- und Fräsmaschinen bietet sich diese Technik an: Im rechten Teil der Abb.1 ist eine aus Leiterbahnstreifen auf Teflon oder mit Kupferfolien zwischen Polystyrol- oder Teflonplatten aufgebaute HF-Bandleitung gezeigt. Mit etwa 5 mm Streifenbreite zwischen Polystyrolplatten von 2,5 mm und - zunächst - 5 mm erreicht man einen bei 50 Ohm liegenden Wellenwiderstand. Durch Erproben verschiedener Polystyrolplattenstärken kann dann auf einem "fremden" Meßplatz ein reflexionsarmer 50-Ohm-Durchgang erzielt werden. Dabei ist das "Sandwich-Paket" zwischen dicken, völlig ebenen Aluminiumplatten zu pressen. Diese stellen den Außenleiter (Masse für die Koaxialbuchsen) dar. Vier Schrauben an den Ecken bewirken den Druck.

Abb.2 zeigt oben einen solchen Streifenleitungs-Richtkoppler mit je einem Vorlauf- und einem Rücklaufkoppler. Durch die Entfernung der zum Durchgangsleiter parallellaufenden Auskoppler kann die "Auskoppeldämpfung" justiert werden. 10 dB, 15 dB oder 20 dB sind häufig angestrebte Werte, die jedoch nur in einem begrenzten Frequenzbereich erzielt werden. Die geringste Auskoppeldämpfung liegt vor, wenn die Koppelleitung eine elektrische Viertel-Welle erreicht. Da es nur auf das Verhältnis d. Leistungen der Vor- und rücklaufenden Welle ankommt, stört die frequenzabhängige Auskopplung nicht. Bei manueller Meßtechnik wird das Leistungsverhältnis einfach als Differenz der dB-Werte als Rücklaufdämpfung (Return Loss) ausgewertet.

Automatisierte Geräte entnehmen dem Vorlaufkoppler die HF-Leistung zur Regelung z.B. des Generators. Dann wird allein die Rücklaufleistung bereits ein direktes Kriterium für das Stehwellenverhältnis (SWR). So haben moderne Transceiver eine Direktanzeige des SWR, ohne daß vorher auf eine "Eichmarke" eingestellt werden muß.

Eine elegante Lösung zeigte vor Jahren Hewlett-Packard mit einem Doppelrichtkoppler (hp 778 D), der zwischen 100 MHz und 2 GHz für Vor- wie Rücklaufkoppler auf +/- 1,5 dB gleichbleibende Auskopplung von 20 dB bietet. Abb.2 unten zeigt den Weg: Die Auskoppelleitungen sind wie die Durchgangsleitung etwas über 30 cm lang (elektrische Länge über 0,5 m). Am jeweiligen Koaxialbuchsenende ist der Leiterbahnabstand 1 mm, in der Nähe der 50-Ohm-Abschlüsse jedoch 5,7 mm. Die Leiterbreite ist durchweg 4,5 mm.

LEITUNGS-DOPPELRICHTKOPPLER für den VHF - UHF - SHF - BEREICH

in KOAXIAL - BAUWEISE

in SCHICHTBAUWEISE (Leiterbahn)

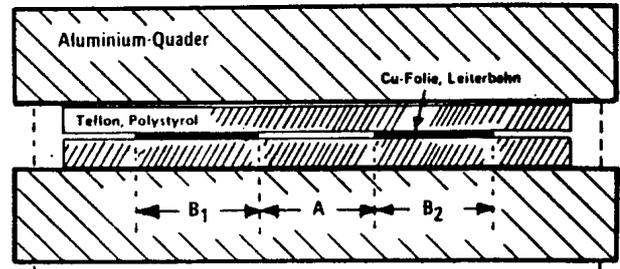
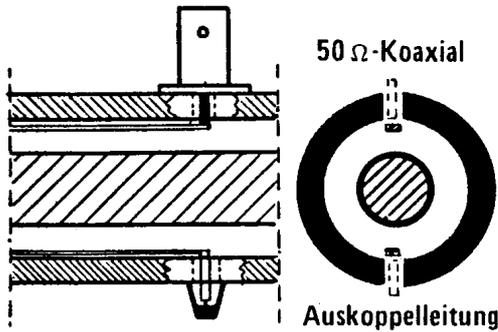
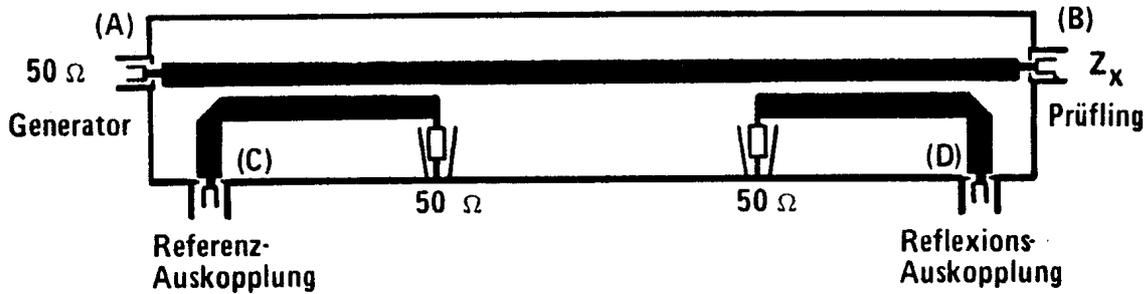
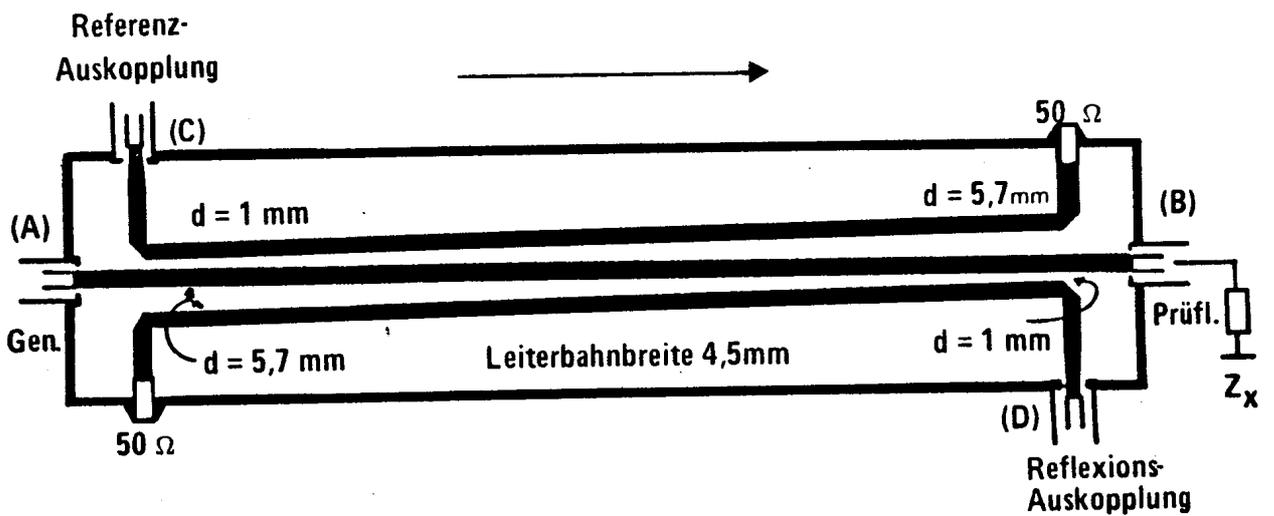


Abb. 1



DL1BU  
1989

Abb. 2



**DOPPEL - RICHTKOPPLER** in Schichtbauweise (Leiterbahn-/Folien-/Platten-Bauweise),  $Z = 50 \Omega$

oberes Beispiel: übliche Bauweise, minimale Auskoppeldämpfung bei Auskoppelleitungslänge  $\lambda/4$ .  
 unteres Beispiel: Variabler Leiterbahnabstand von 1 mm bis 5,7 mm: konstant 20 dB Ausk.-Dämpfung

In der praktischen Antennenmeßtechnik wird ein solcher Doppelrichtkoppler direkt vor den Koaxialanschluß der Antenne geschraubt. Das (in den Bildern linke) Ende trägt die Koaxialbuchse für die HF-Speisung über ein beliebig langes 50-Ohm-Koaxialkabel aus einem Meßgenerator oder auch einem Sender kleiner Leistung. Die beiden identischen Auskoppler führen mit genau gleichlangen Koaxialkabeln nach unten zu einem Meßempfänger (im Fall kleiner Milliwatt-Leistungen) oder 50-Ohm-Diodenvoltmetern. Aus dem Verhältnis der Leistungen oder der dB-Differenz ergibt sich die Rücklaufdämpfung (Return Loss), die für sich schon die gewünschte Information über die Anpassung liefert. Sie kann mittels Tabelle oder Kurve in den Reflexionskoeffizient  $\rho$  oder das Stehwellenverhältnis (SWR) umgewandelt werden. 6 dB Rückflußdämpfung entsprechen z.B. einem SWR von 3,0. Das häufig als Obergrenze anvisierte SWR 2 entspricht 9,5 dB, SWR 1,5 entspricht 14 dB Rückflußdämpfung.

Die Abb.3 zeigt die Auskoppeldämpfung der bekannten EME-Richtkoppler von 80 mm und 50 mm Länge als obere Kurve, links oben in logarithmischem Frequenzmaßstab von 10 MHz bis 1 GHz und rechts oben linear von 0 bis 3,6 GHz. Die darunterliegende Kurve entstand durch Abschluß mit einem (nahezu) reflexionsfreien 50-Ohm-Koaxialwiderstand. Die Differenz der beiden Kurven zeigt die Verwendbarkeit abhängig von der Frequenz. Der 80 mm lange Doppelrichtkoppler zeigt bis 1,5 GHz 30 dB Differenz, der links unten gezeigte kurze (50 mm) Richtkoppler hält die 30 dB bis 2,3 GHz aufrecht.

Die meist extrem teuren professionellen Richtkoppler bieten eine Richtschärfe bis 40 dB oder gar 50 dB. In Abb.3 rechts unten ist für den oben genannten hp-Doppelrichtkoppler 778 D bei 100 MHz (Diagramm-Mitte) eine Richtschärfe von 50 dB, bei 1 GHz (rechts) von 36 dB ersichtlich.

In Abb.4 ist die Aufzeichnung eines SWR-Diagramms mit einem Doppelrichtkoppler zu sehen. Die SWR-Linien sind hier direkt von SWR 1,0 bis 10 beschriftet.

Einen noch weitergehenden Einblick gewähren Smith-Impedanzdiagramme, die zusätzlich noch die Phaseninformation der Richtkoppler verarbeiten. Grundsätzliches zum Smith-Diagramm war in cq-DL 9/78, Seite 396, zu lesen; in zahlreichen Berichten über Antennen waren solche Smithdiagramme in cq-DL abgebildet. Hier soll das einfache SWR-Diagramm ausreichen.

### GEWINN-MESSUNG an kleinen Antennen, Gewinn-Normale

Die nächste wichtige Größe bei der Beschreibung von Antennen ist der (Freiraum-) Gewinn über einen verlustfreien Halbwelldipol (dBd) oder den nur rechnerisch bedeutsamen Gewinn über einen nach allen Richtungen gleichmäßig funktionierenden "Isotropstrahler" (dBi). Diese letztgenannte Gewinnangabe ergibt 2,15 dB höhere Werte.

Zur Gewinnmessung sehr leistungsfähiger Antennen wird in der Regel auf ein Gewinn-Normal mittlerer Bündelung als Vergleichsantenne zurückgegriffen. Der Aufbau eines 7,7 dBd-Gewinn-Normals war in cq-DL 7/82, Seite 333 ausführlich beschrieben für 432 MHz und 1296 MHz. Zwei Halbwelldipole sind im Abstand von einer halben Wellenlänge voneinander und einer Viertel-Wellenlänge vor einer  $\lambda \times \lambda$ -Platte montiert und über Koaxialtransformatoren gespeist.

Für 2 m Wellenlänge wird eine solche Kalibrierantenne bereits unhandlich groß. Hier bietet sich eine mit der Zwei-Antennen-Methode genau vermessene mittelgroße Yagi-Antenne an. Hilfreich ist auch eine kleine 2-Elementantenne, z.B. eine HB9CV, die bei Vor-Rück-Optimierung 4,5 dBd Gewinn aufweist.

# Abb. 3 BEISPIELE von RICHTKOPPLER-DATEN

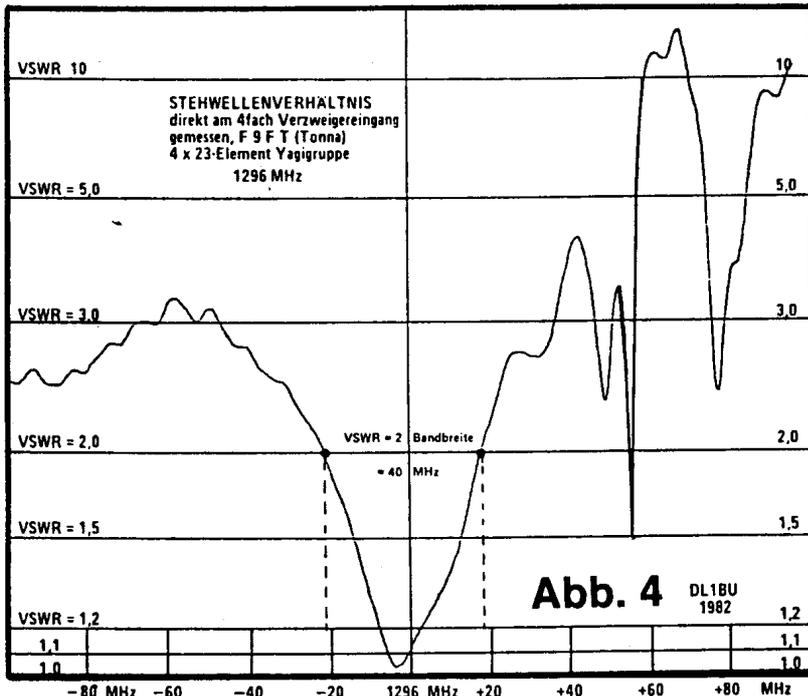
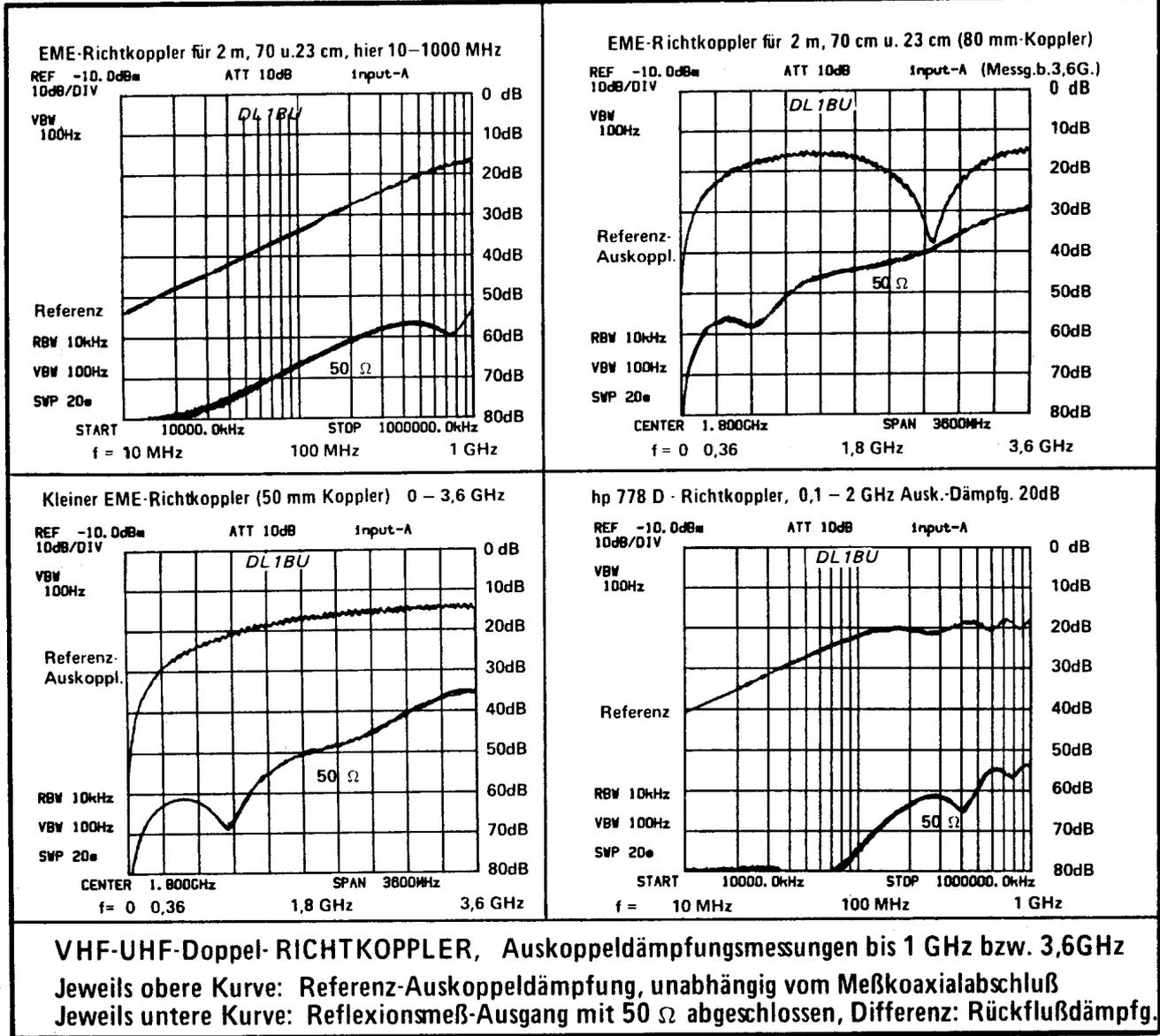


Abb. 4

Aufzeichnung des Stehwellen-Verhältnisses (VSWR) einer 4 x 23-El.Yagigruppe

In der nebenstehenden Abb. 4 ist der SWR-Verlauf am Eingang des Vierfachverzweigers einer 4 x 23-Element-Yagigruppe (Tonna) gezeigt.

Die Kalibrierlinien sind direkt in SWR-Werten beschriftet. In den neueren cq-DL-Berichten ist meist die Rückflußdämpfung und das SWR auf der senkrechten Skalierung zu sehen.

Hier ist z.B. die Bandbreite zwischen den SWR = 2 - Frequenzen 40 MHz, die optimale Anpassung ist knapp unterhalb 1296 MHz.