

Anwendungsbeispiele zu den Netzwerktestern

„HFM91“ und „FA-NWT01“



DM2CMB, April 2007

Netzwerktester „HFM91“ und „FA-NWT01“ Anwendungsbeispiele und Messungen

1. Vorstellung der Geräte

Beide Geräte haben den gleichen Ursprung. Im Funkamateurliteratur Heft 11 und 12/2002 wurde durch DK3WX, OM Bernd Kernbaum, ein einfaches, von ihm entwickeltes Messgerät beschrieben. Im Frequenzbereich von 100 kHz bis 60 MHz konnte man damit Durchgangsmessungen an Filter sowie an Hoch und Tiefpässen vornehmen, durch Reflexionsmessungen Antennenanlagen optimieren oder es als quarzstabilen Messender mit 1 Hz Auflösung nutzen.

Da man dieses Gerät, auf Grund seiner Einsatzmöglichkeiten, als Light- Version eines Netzwerkanalysators bezeichnen könnte, bekam es von Bernd die Bezeichnung „Netzwerktester“ (NWT) und auf Grund der vorangegangenen Entwicklung die Versionsnummer 7. Der NWT7 wurde von vielen Amateuren nachgebaut.

Auf Grund des großen Interesses wurde die Idee vom FA aufgegriffen und ein Bausatz der von DK3WX inzwischen weiter entwickelten Version NWT9, mit einem Frequenzbereich von 100kHz bis 160 MHz, vorbereitet. Im Januar 2007 wurde die erste Serie des FA – Netzwerktesters unter der Bezeichnung „FA-NWT01“ ausgeliefert.

Als nützliches Zubehör wurde im Funkamateurliteratur Heft 12/2006 durch Hans Nussbaum, DJ1UGA, der Aufbau eines Messkopfes zur Reflexionsmessung beschrieben. Durch den Einsatz eines industriellen Messübertragers ist die Richtschärfe besser als 50dB im Frequenzbereich bis 50 MHz und bei 160 MHz werden immer noch 42 dB erreicht.

Auf der G-QRP Tagung 2006 in Waldsassen stellte DK3WX eine Weiterentwicklung des NWT 9 vor, den HFM9.

Mit den zusätzlichen Möglichkeiten der Leistungsmessung, der Frequenzmessung und der Messung von Induktivitäten und Kapazitäten verdiente es den Namen als Hochfrequenzmessplatz zu Recht. Der neue „qrpHFM90“ ist eine Weiterentwicklung des HFM9. Die Hardware ist für den direkten Anschluss an eine USB- Schnittstelle vorgesehen.

Die dazu gehörige Software „qrpHFM90“ bietet jetzt zusätzlich die Möglichkeit zur Darstellung von winkelabhängigen Pegeln in einem Polarkoordinatendiagramm. Sie ist nicht kompatibel zum NWT9, HFM9 und FA-NWT1. Nach Laden der Firmware „HFM91“ und einer Hardwareerweiterung können diese aber auch für die „qrpHFM90“ Software genutzt werden.

Außer der Messungen zur Ermittlung des Antennendiagramms können alle Messungen mit beiden Geräten durchgeführt werden.

Zur Ermittlung der Kabelkapazität kann das im HFM91 integrierte-, oder ein separates C-Messgerät genutzt werden.

2. Messungen an Antennen

Antennendiagramm ermitteln

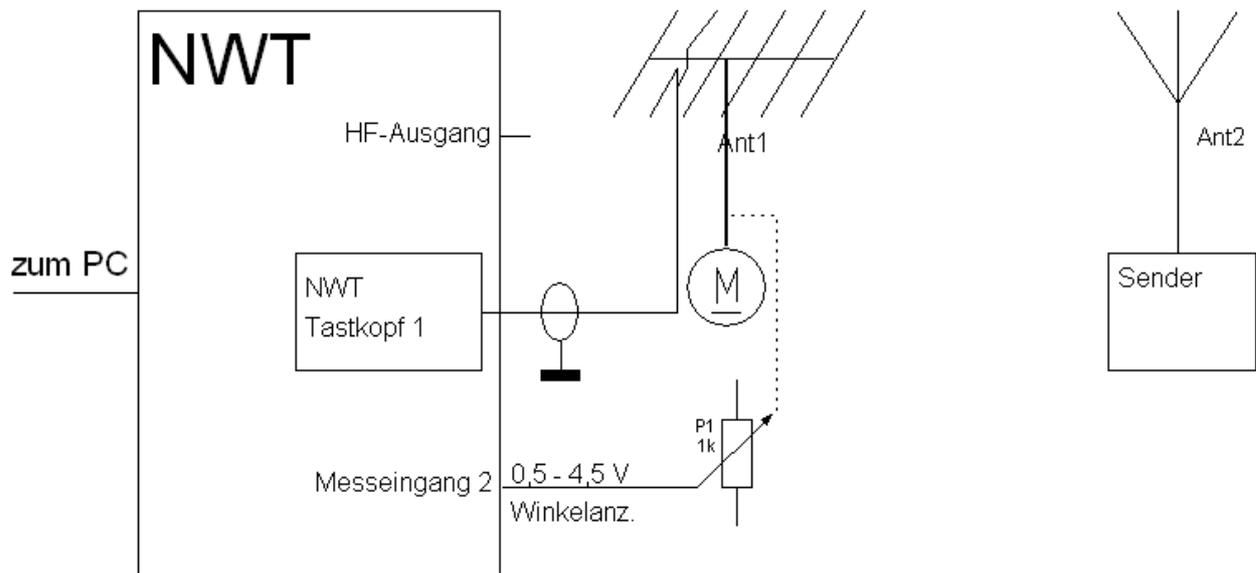


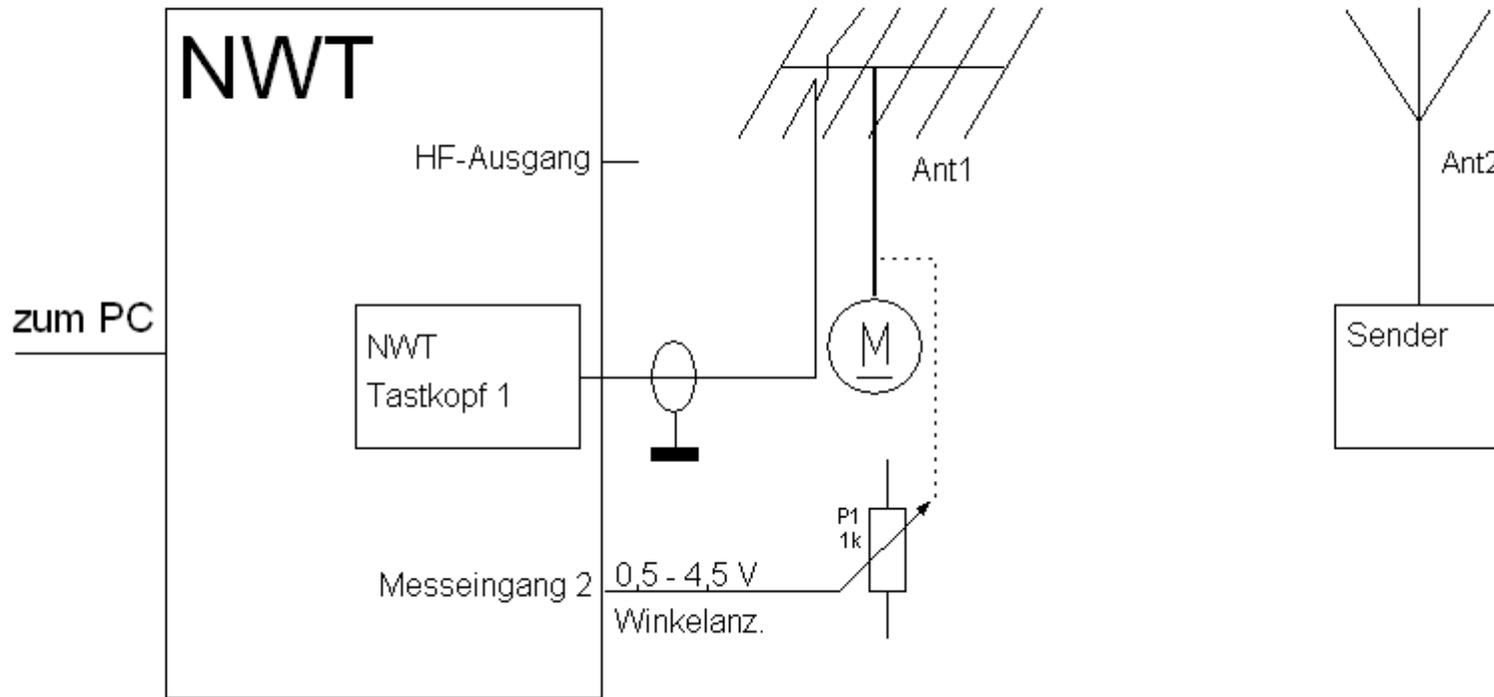
Bild 1

Bei dieser Messung wird die Feldstärke des empfangenen Signals als winkelabhängige Größe in einem Polardiagramm dargestellt. Für die Signalauswertung bieten sich verschiedene Möglichkeiten an:

1. Das Signal wird direkt von der Antenne auf den Tastkopf gegeben.
 - Es kann zu Störungen durch andere Signale kommen, so dass unter Umständen zusätzliche erforderlich sind.
2. Die Auskopplung der ZF eines Empfängers auf den Tastkopf des NWT .
 - Die automatische Regelung des Empfängers muss abgeschaltet werden.
 - Die Pegeländerung beim Drehen der Antenne ist wesentlich geringer.
3. Die Amplitude am Eingang (A/D-Wandler) des Mikrocontrollers kann eine beliebige Gleichspannung im Spannungsbereich zwischen 0 und 5 V sein. Unter Umgehung des Tastkopfes1 kann dadurch ein S-Metersignal, die Regelspannung eines Empfängers oder ein anderes Signal eingespeist werden.
Wichtig ist, das der Spannungsbereich von 0V bis +5V nicht unter- bzw. überschritten wird. Vor Beginn der Messung ist eine Kalibrierung der Anfangs- und Endwerte beider Ebenen vorzunehmen.

Bei meinen Versuchen, zu Hause im Wohnzimmer, mit KW- und UKW- Antennen musste ich leider feststellen, dass auf Grund von Reflexionen die Messungen kein vernünftiges Ergebnis brachten. Aus diesem Grund habe ich einen Tastkopf des WOB31 mit einem Frequenzbereich bis 2,5 GHz (AD8313) an den NWT angepasst und die Messungen bei 2,4GHz wiederholt. Im nachfolgenden Beispiel ist das Diagramm einer 25el Yagi im 13 cm Band zu sehen. Das Signal wurde direkt von der Antenne auf den Tastkopf gegeben.

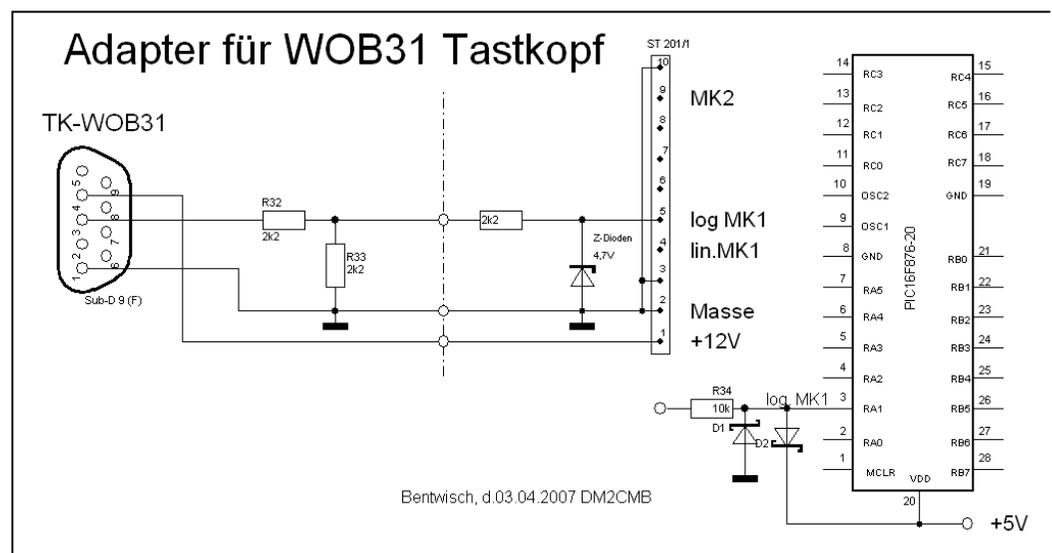
Antennendiagramm ermitteln



Zum Schutz des PIC wurde eine 4,7 V Z-Diode mit Vorwiderstand eingebaut.

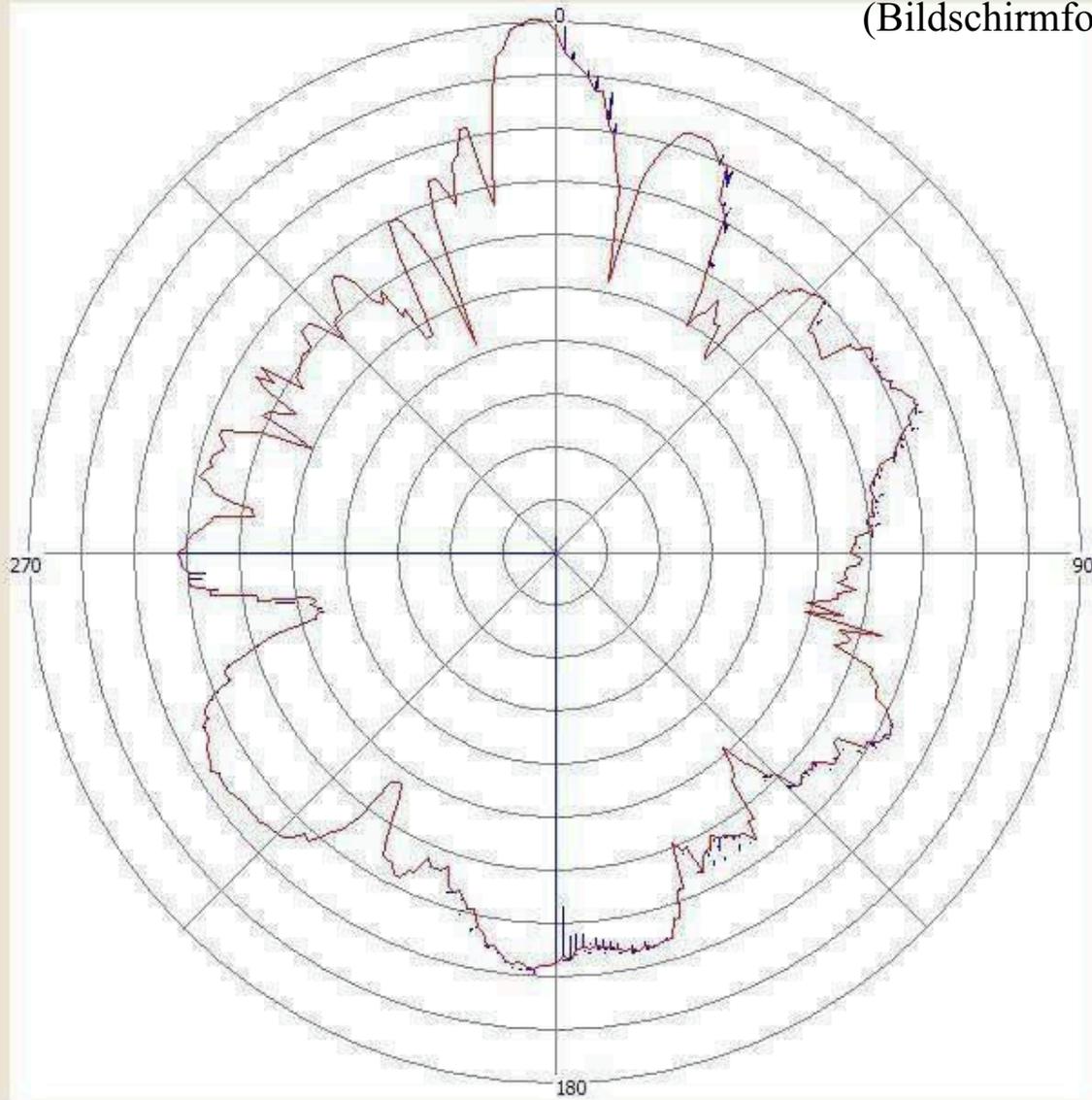
Der Einbau von zwei Shottky-Dioden mit Vorwiderstand hätte eine Änderung auf der Leiterplatte des NWT erforderlich gemacht.

Durch den im TK des WOB31 eingebauten OPV musste die Messspannung durch einen Spannungsteiler halbiert werden.



Antennendiagramm einer 25 el Yagi im Skalenbereich von 0 dB bis -100 dB

(Bildschirmfoto DM2CMB)



Start

Stopp

Polar

Generatorfrequenz
10.000.000 Hz

log. Messkopf

Messtiefe in % 50

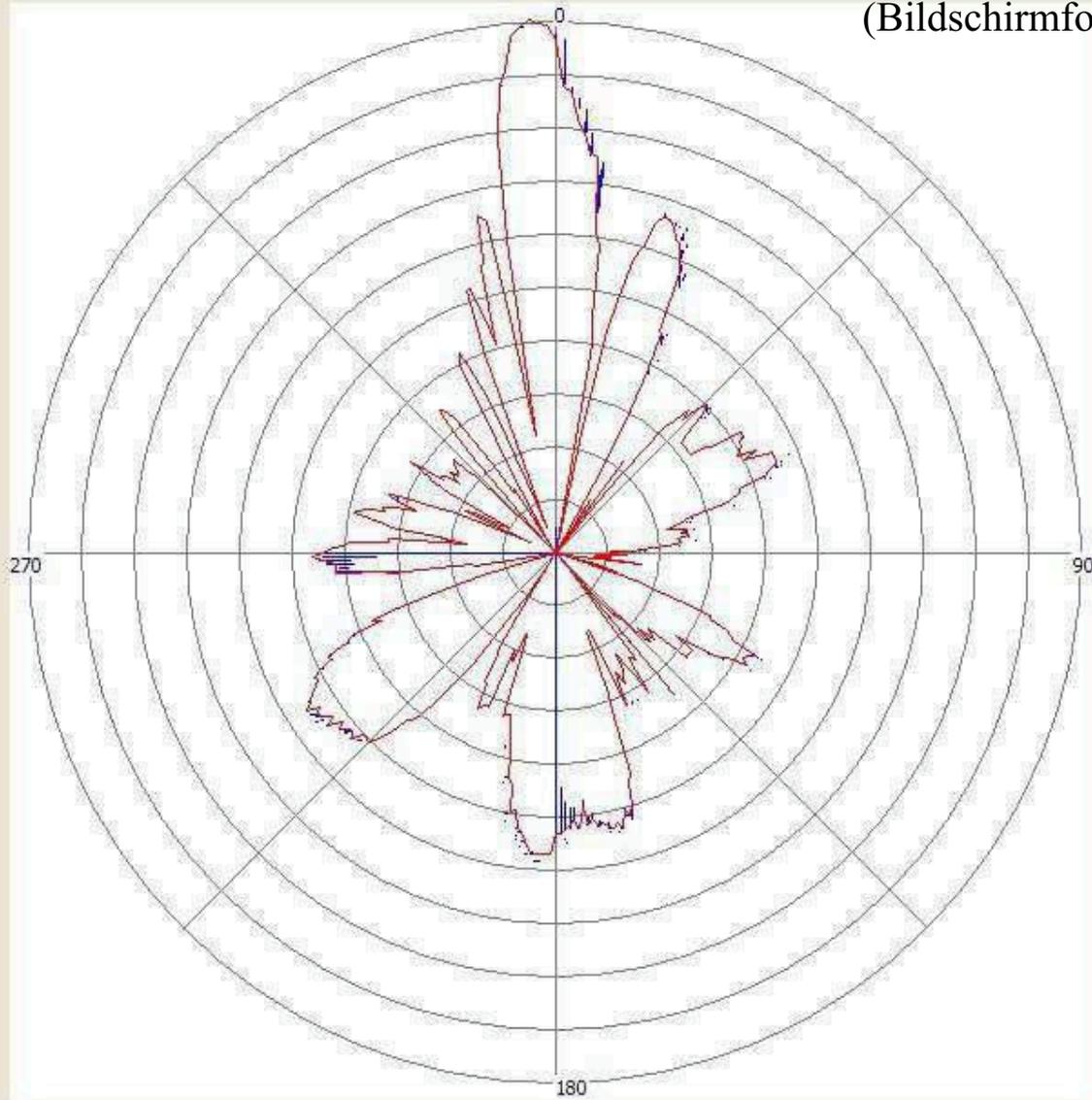
Ergebnisse

Maximum:
358 Grad; 291 Teile
Minimum:
339 Grad; 122 Teile
Halbwertsbreite:
20 Grad
Rück/Vorverhältnis:
0,762886597938144
Nebenzipfel:

Quitt

Antennendiagramm einer 25 el Yagi im Skalenbereich von 0 dB bis -50 dB

(Bildschirmfoto DM2CMB)



Start

Stopp

Polar

Generatorfrequenz
10.000.000 Hz

log. Messkopf

Messtiefe in % 50

Ergebnisse

Maximum:
357 Grad; 291 Teile

Minimum:
11 Grad; 0 Teile

Halbwertsbreite:
16 Grad

Rück/Vorverhältnis:
0,508591065292096

Nebenzipfel:

Quitt

SWV - Messung

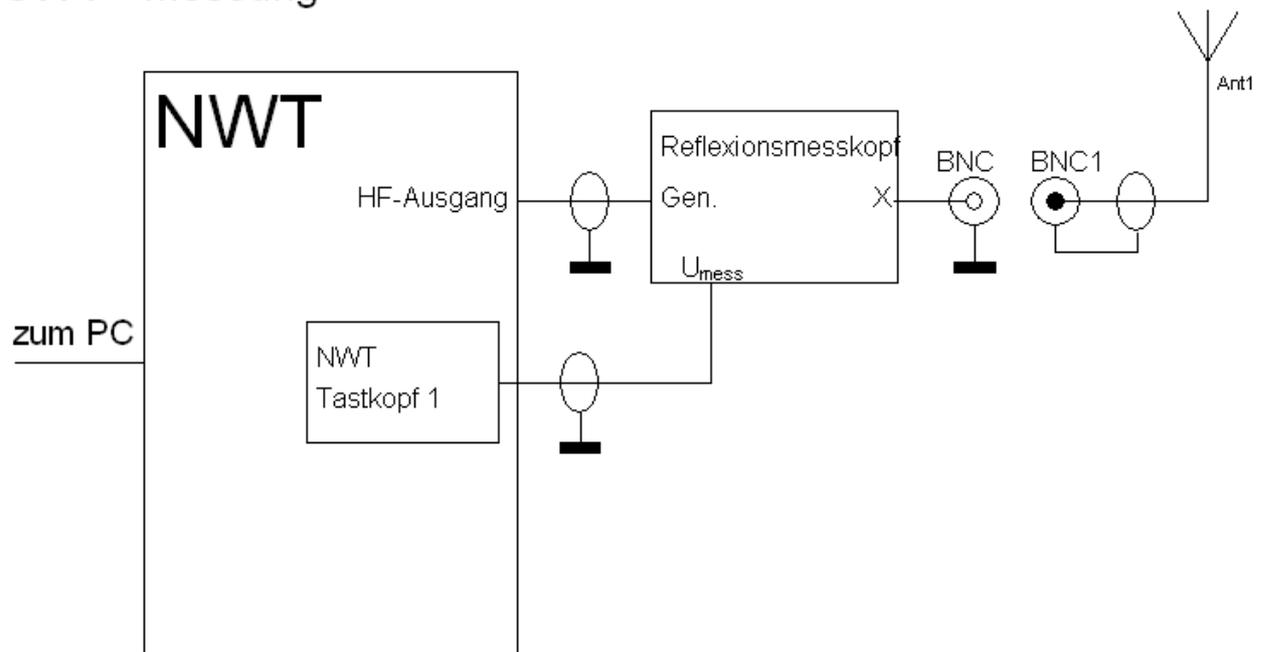


Bild 4 Versuchsaufbau SWV-Messungen

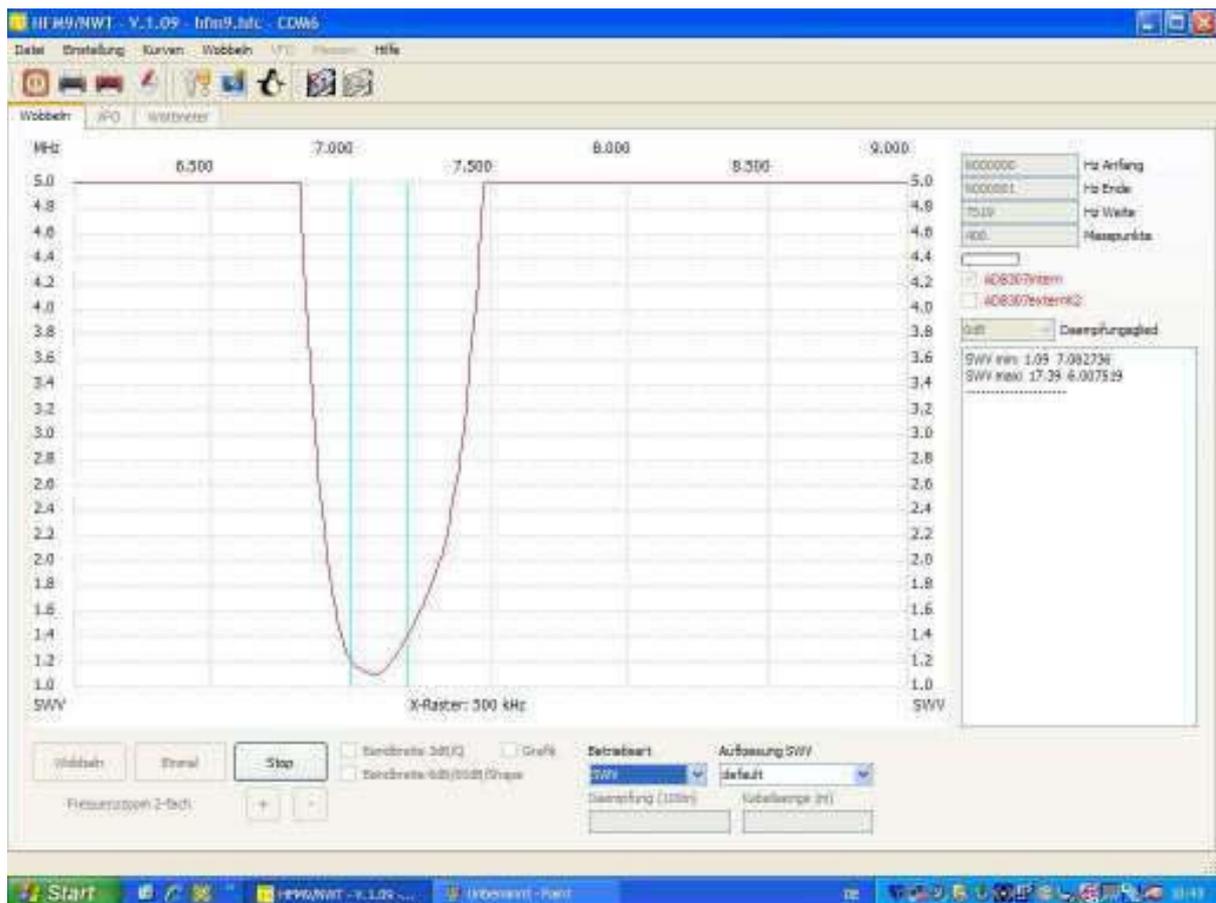


Bild 5 SWV einer 40m-Band Antenne

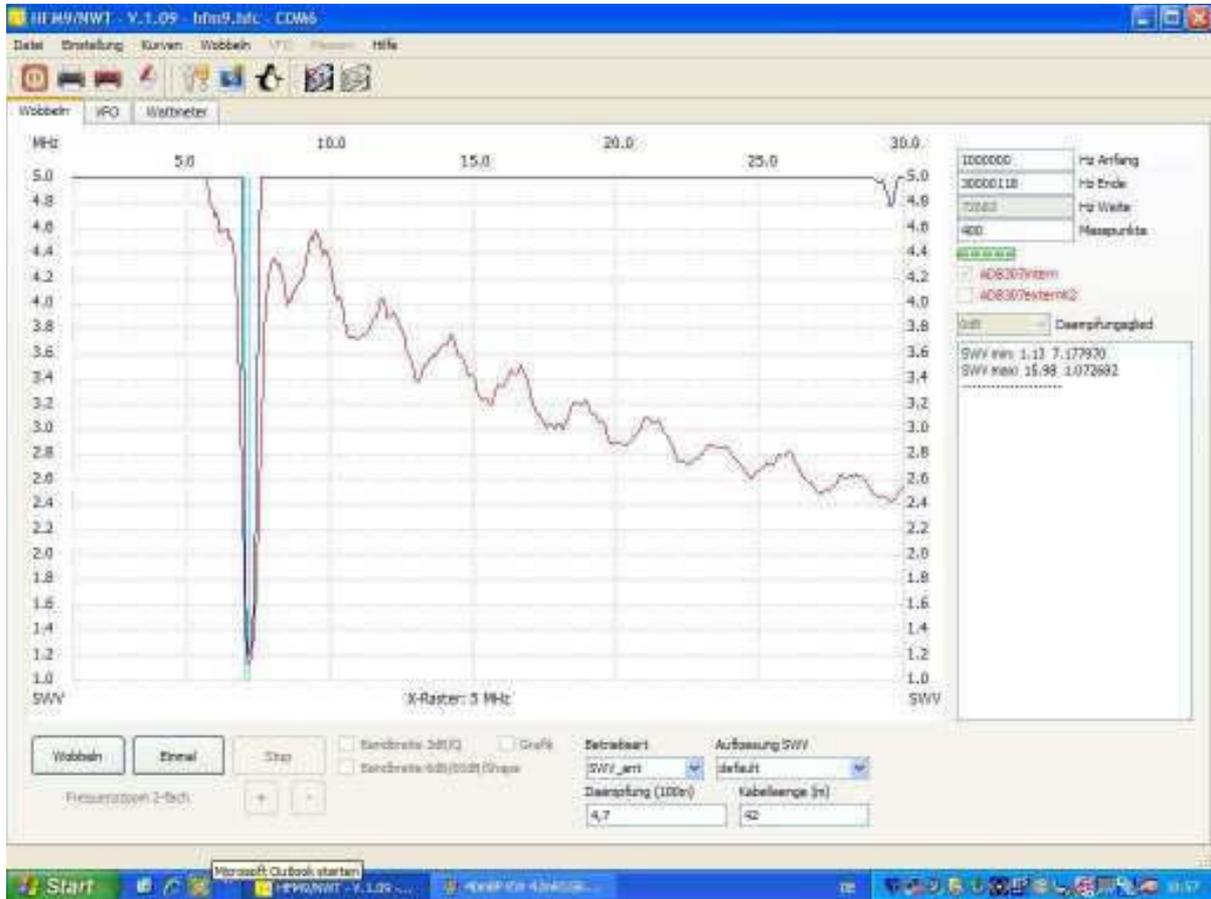


Bild 6 die Antenne von Bild 5 an einem 42m langen Koaxkabel. Durch die Software erfolgte eine Kompensation der Kabelwerte. (untere rote Linie ohne Kompensation)

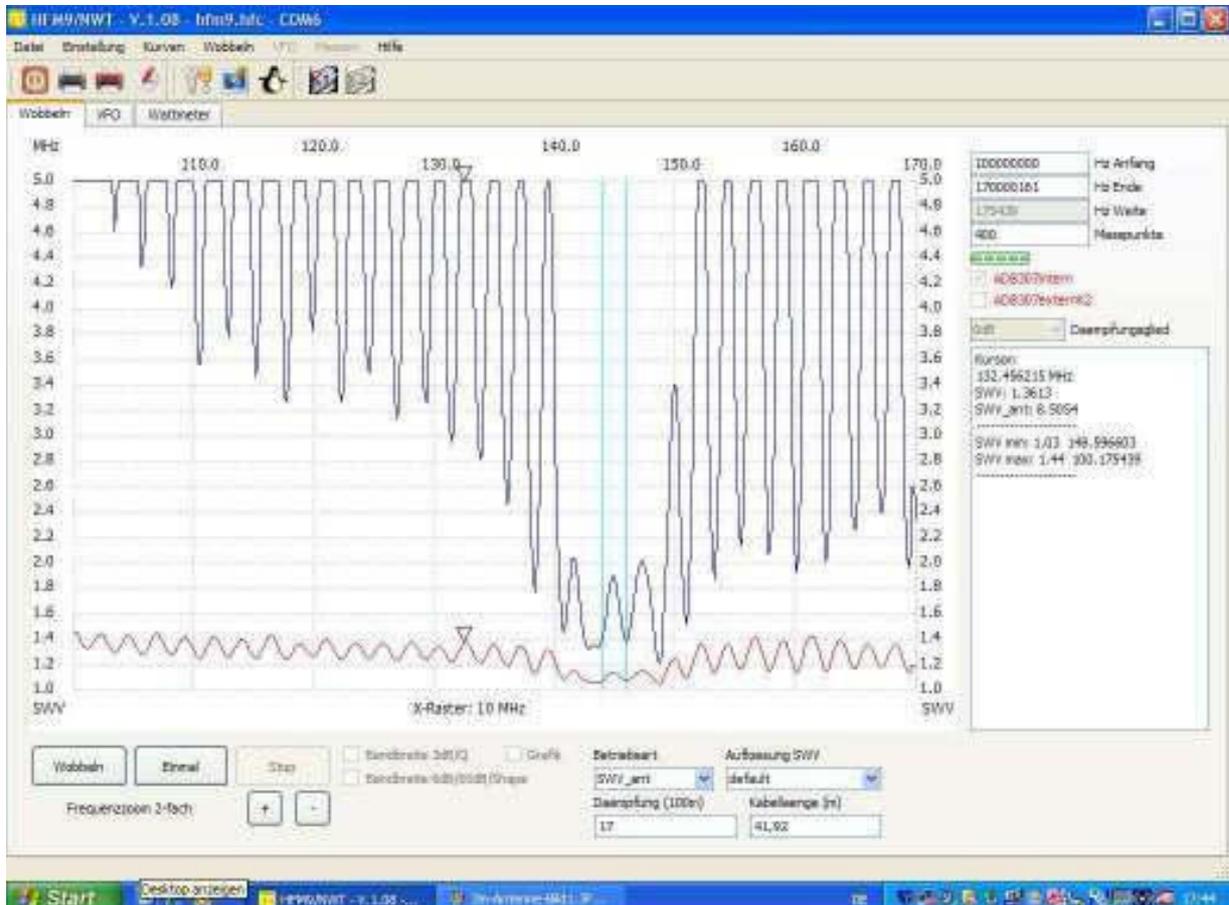


Bild 7 SWV einer 2m-Band Antenne an einem 42m langem Koaxkabel. Durch die Software erfolgte eine Kompensation der Kabelwerte. (untere rote Linie ohne Kompensation)

3. Bestimmung von Kabelparameter

Schickt man mit einem Dipmeter HF in ein Kabel, dessen Ende offen oder kurzgeschlossen ist, wird die Welle an dieser Stossstelle reflektiert. Durch Überlagerung der reflektierten- mit der eingespeisten Welle bekommt man am Dipmeter in bestimmten Abständen einen Zeigerausschlag. Mit einem Netzwerkanalyser lässt sich dies sehr schön auf dem Bildschirm darstellen.

Der Frequenzabstand ist von der Kabellänge abhängig und wird als Längenfrequenz bezeichnet.

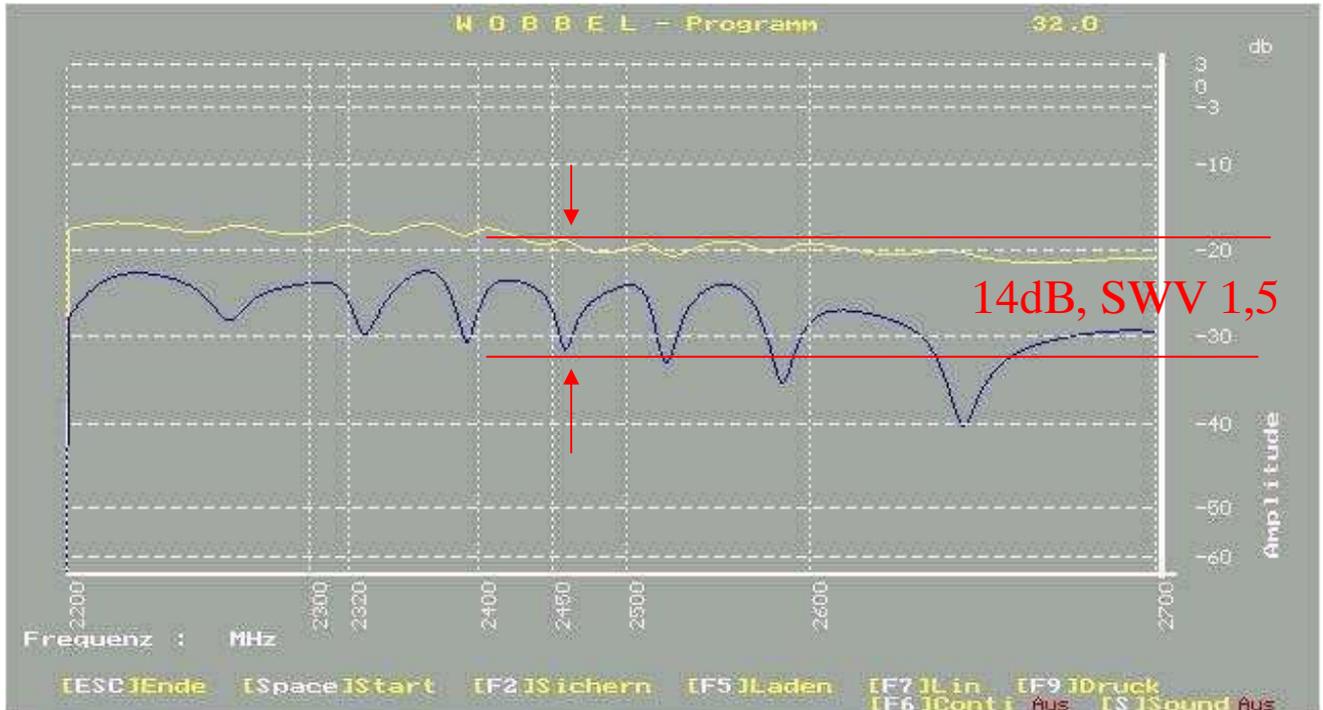


Bild 8 Messung an einem 1,5m langen Kabel RG58 (am Ende offen)

Im 13 cm Band messen wir ein sehr schönes SWV von 1,5 obwohl keine Antenne angeschlossen ist. Beim Einsatz längerer Kabel kommt man auf KW und UKW zu ähnlichen Ergebnissen. Also Vorsicht und so dicht wie möglich an der Antennen messen!

Dieser Effekt entsteht durch die Eigenschaft der frequenzabhängigen Transformation einer Viertelwellenleitung. Zwischen den Wellenwiderstand Z einer elektrisch $\lambda/4$ langen Zweidrahtleitung, deren Eingangsimpedanz Z_E und der Ausgangsimpedanz Z_A besteht die Beziehung:

$$Z = \sqrt{Z_A * Z_E} \quad \text{oder} \quad Z_A = Z^2 / Z_E$$

Bleibt eine Leitung am Ende offen, kann man in bestimmten Frequenzabständen an ihren Anfang einen HF – Kurzschluss feststellen.

Diesen Umstand nutzen wir für unser Messprinzip.

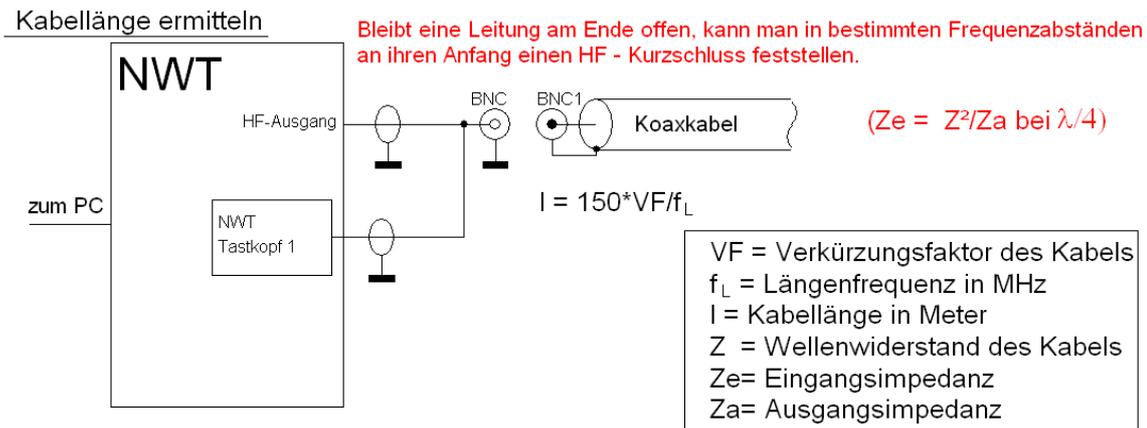


Bild 9 ermitteln der Länge eines Kabels

Verkürzungsfaktor:	0,66
gemessene Längenfrequenz:	39,3 MHz
Kabellänge:	2,5 m

Da die Welle im Kabel hin- und zurück laufen muss, ist die aus der Längenfrequenz ermittelte Wellenlänge durch „2“ zu teilen.

$$l = 300 \cdot 10^6 \cdot VF / 2 \cdot f_L \quad \text{oder} \quad l = 150 \cdot VF / f_{L(\text{MHz})}$$

Bestimmung der Parameter eines Kabels

(Die Kabellänge ist bekannt)

Längenfrequenz und Kapazität messen

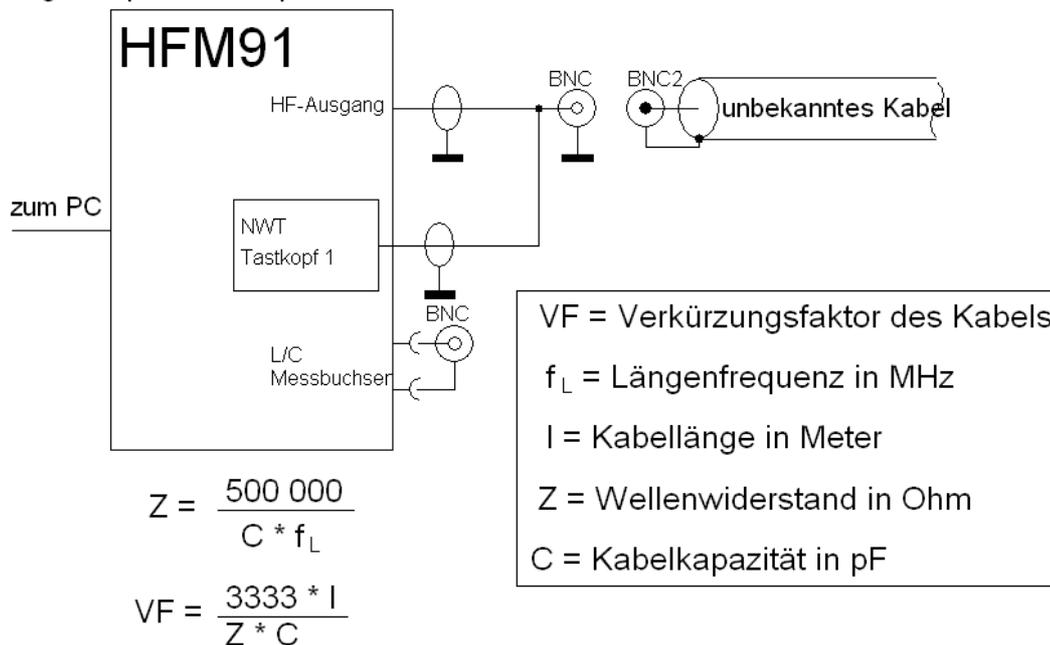


Bild 10 Bestimmung der Kabelparameter

gemessene Kabellänge:	3,45 m
gemessene Längenfrequenz:	33,71 MHz
gemessene Kapazität:	297 pF
Wellenwiderstand:	49,94 Ohm
Verkürzungsfaktor:	0,78

4. Messungen an Filtern

gleichzeitige Darstellung der Anpassung und der Durchlasskurve eines Filters

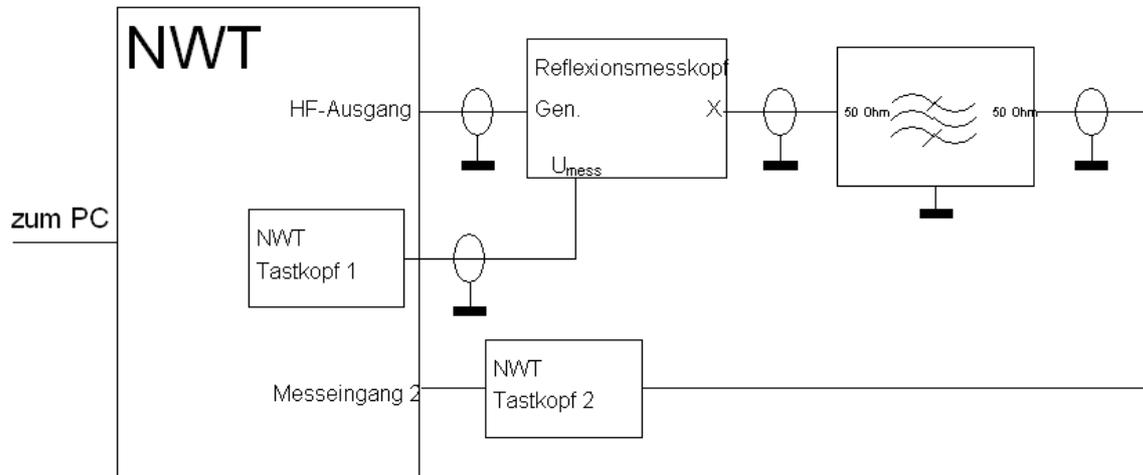


Bild 11 Messaufbau zur Filtermessung

Durch die Möglichkeit, zwei Messvorgänge gleichzeitig darzustellen, kann mittels des Reflexionsmesskopfes das SWR des Filtereinganges und über den zweiten Messkopf die Durchlasskurve des Filters dargestellt werden. Dies ist beim Abgleich von Filtern sehr hilfreich.



Bild 12 Durchlasskurve eines 35 MHz TP-Filters. Die untere rote Kurve zeigt die rücklaufende Welle und gibt Auskunft zur Anpassung (SWV)

5. Experimente mit Widerständen

Rein Ohmsche Widerstände bieten uns die Möglichkeit einer Frequenz unabhängigen Anpassung.

Darstellung der Durchlasskurve eines Filters mit anderem Z-Wert durch einfache Widerstandsanpassung

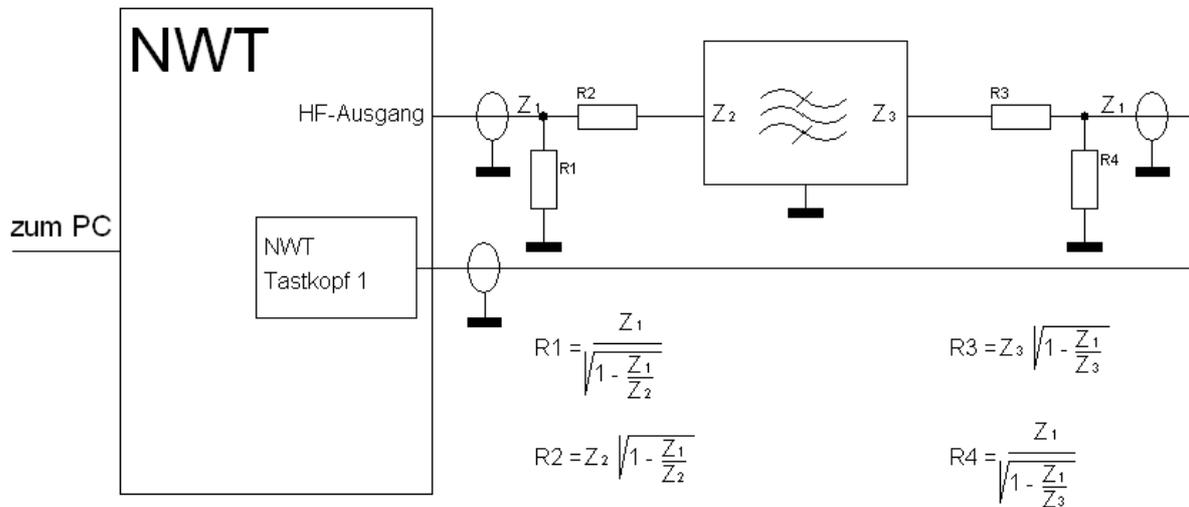


Bild 13 Messaufbau zum Messen von Filtern mit, von 50 Ohm, abweichender Impedanz

Impedanz des Filters:	Z2	75	Ohm
	Z3	75	Ohm
Anpassungswiderstände:	R1	86,60	Ohm
	R2	43,30	Ohm
	R3	43,30	Ohm
	R4	86,60	Ohm
Einfügedämpfung:	R1,R2	-5,72	dB (Leistungspegel)
	R3,R4	-5,72	dB (Leistungspegel)
		<u>-11,4</u>	<u>dB</u>

Zum messen von Filtern, mit von 50 Ohm abweichender Impedanz, müssen diese zuerst an den Wellenwiderstand des NWT angepasst werden.

Am einfachsten, und vor allem frequenzunabhängig, gelingt dies mit einer Widerstandsanpassung. Die zusätzliche Dämpfung der Anpassungsglieder ist hierbei zu berücksichtigen. Bei einer Impedanz von 75 Ohm beträgt diese immerhin bereits 11,4 dB und bei 1500 Ohm sogar 41,4 dB.

Da durch den Messkopf des NWT aber Signale bis -80 dBm gemessen werden können, sind auch solche Messungen möglich.

Dämpfungsglied in PI-Schaltung

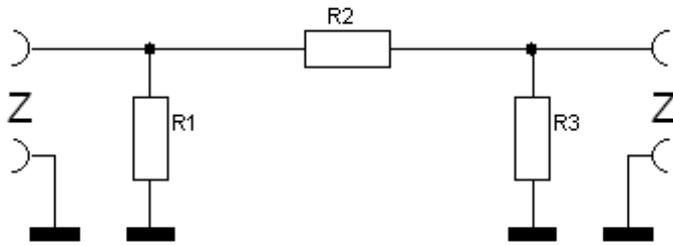


Bild 14

Belastung der Widerstände bei einer Eingangsleistung von: **10,00** Watt

Z1 = Z2 = 50 Ohm

A = **40,00** dB
 R1 = R3 = 51,01 Ohm
 R2 = 2499,75 Ohm

R1= 9,80 Watt
 R2= 0,20 Watt
 R3= 0,00 Watt

R1 = R3 = **50,00** Ohm
 R2 = **2500,00** Ohm
 A = 40,09 dB

 Z-Wert = 49,03 Ohm

 SWV= 1,02

R1= 10,00 Watt
 R2= 0,20 Watt
 R3= 0,00 Watt

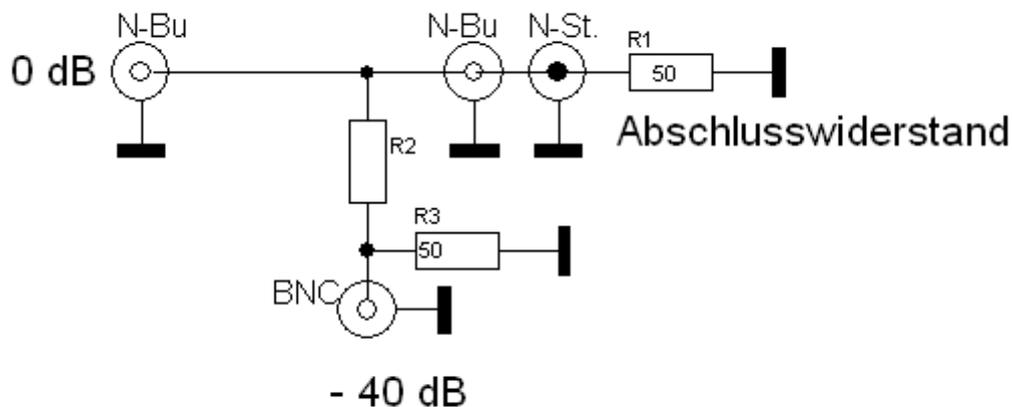
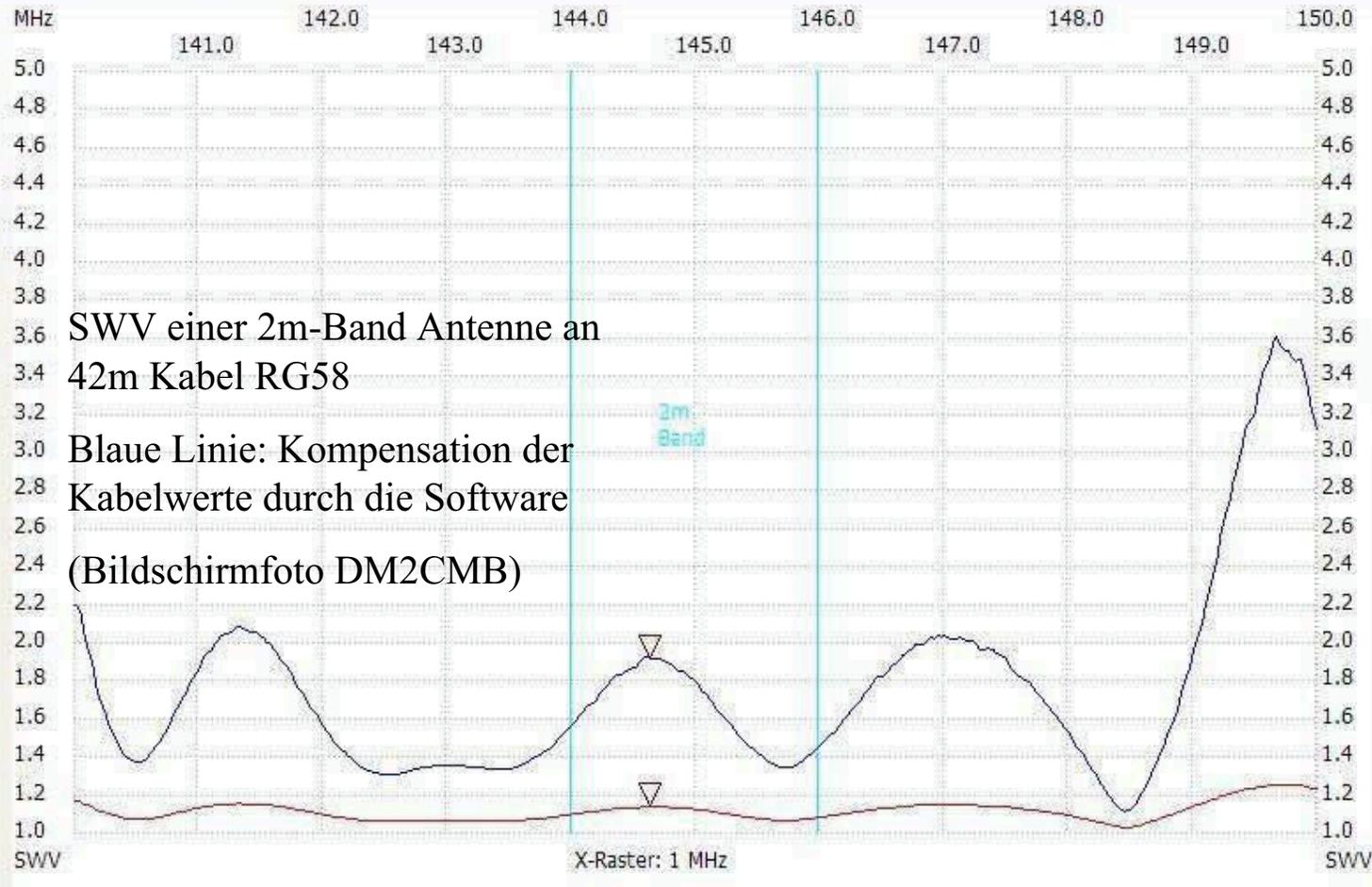


Bild 15 ein hoch belastbarer Abschlusswiderstand als Bestandteil eines Dämpfungsgliedes

Eingangsleistung =	10,00 Watt
R1 =	50 Ohm 9,80 Watt
R2 =	2500,00 Ohm 0,20 Watt
R3 =	50 Ohm 0,00 Watt
A =	40,09 dB
SWV=	1,02

6. Quellenverzeichnis

- Bobzin, H. J., DL3OC, CQ DL 12/99 S.989
Experimente mit HF-Kabel
- Graubner, N., DL1SNG; Borchert, G., DF5FC, Funkamateureur 10/06 S.1154 ff.; 11/06 S.1278 ff.
Bausatz Netzwerktester
- Kernbaum, B., DK3WX, Funkamateureur 11/02 S. 1136ff. ; 12/02 S. 1242ff.
Neues vom Netzwerktester
- Lindenau, A., DL4JAL, Funkamateureur 01/07 S. 38 ff.
Software zum FA- Netzwerktester
- Müller, R., DM2CMB; Sichla, F., DL7VFS, FUNK 9/04 S.48,49
Wobbeln von Antennen
- Nussbaum, H., DJ1UGA, Funkamateureur 12/06 S. 1398ff.
Messung der Reflexionsdämpfung mit dem Netzwerktester
- Rothammels Antennenbuch DARC Verlag 12. Auflage
Pkt. 5.9.1 Ermitteln des Wellenwiderstandes
Pkt. 5.9.2 Ermittlung des Verkürzungsfaktors
- Sichla, F., Funkamateureur-Bibliothek Band 12
Schwingkreise und LC-Filter in der Anwendung
- Wippermann, W., DG0SA; Hegewald, Dr.W., DL2RD, Funkamateureur 03/07 S.276, 277
Kabel messen mit dem FA-NWT



SWV einer 2m-Band Antenne an
42m Kabel RG58

Blaue Linie: Kompensation der
Kabelwerte durch die Software
(Bildschirmfoto DM2CMB)

140000000	Hz Anfang
150000137	Hz Ende
25063	Hz Weite
400	Messpunkte

AD8307intern
 AD8307externK2

0dB Daempfungsglied

Kursor:
144.636655 MHz
SWV: 1.1284
SWV_ant: 1.9040

SWV min: 1.02 148.446231
SWV max: 1.25 149.674318

Wobbeln Einmal Stop

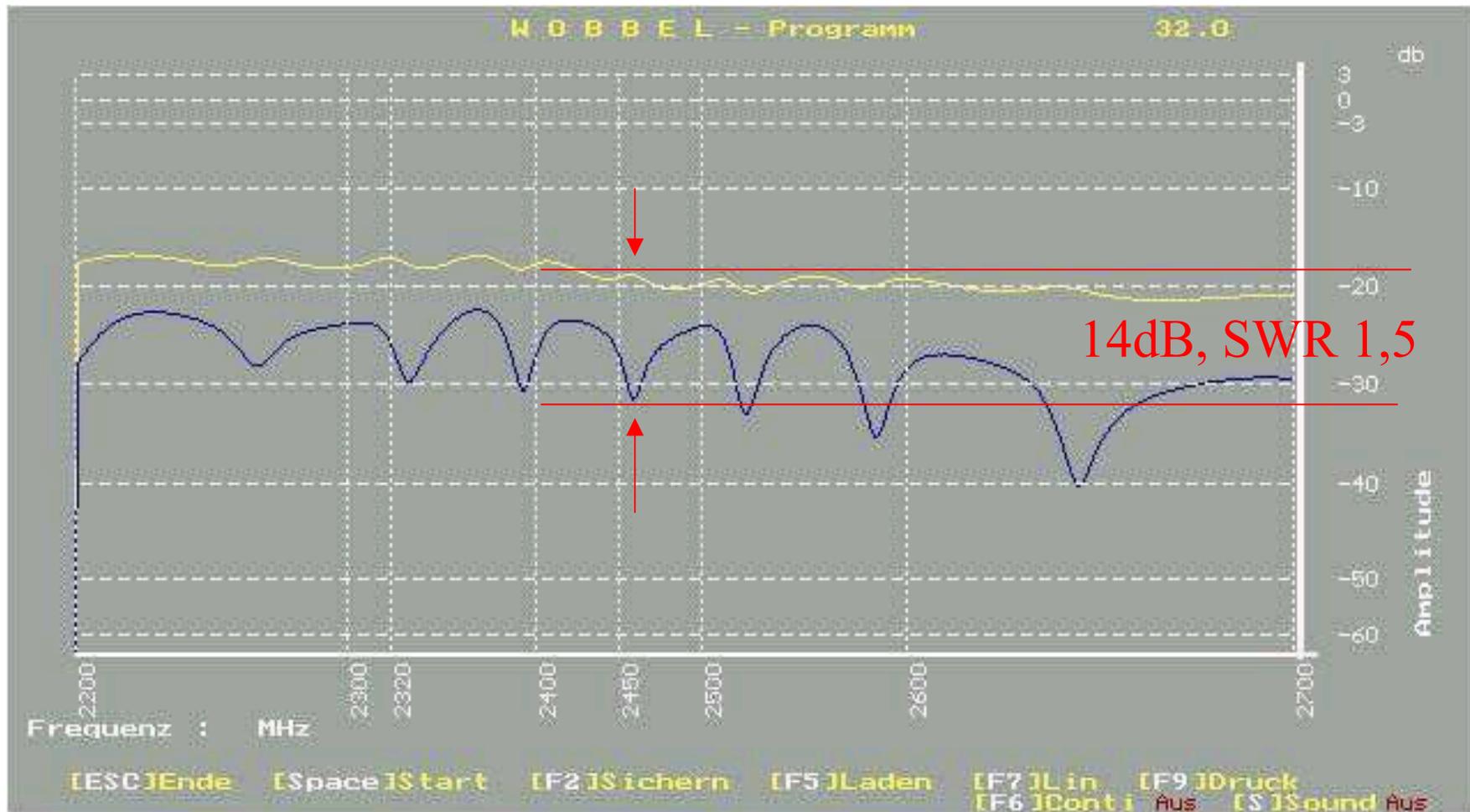
Bandbreite 3dB/Q Grafik
Bandbreite 6dB/60dB/Shape

Daempfung (100m) Kabellaenge (m)

17 41,92

SWV ant: SWV default

Frequenzzoom 2-fach + -



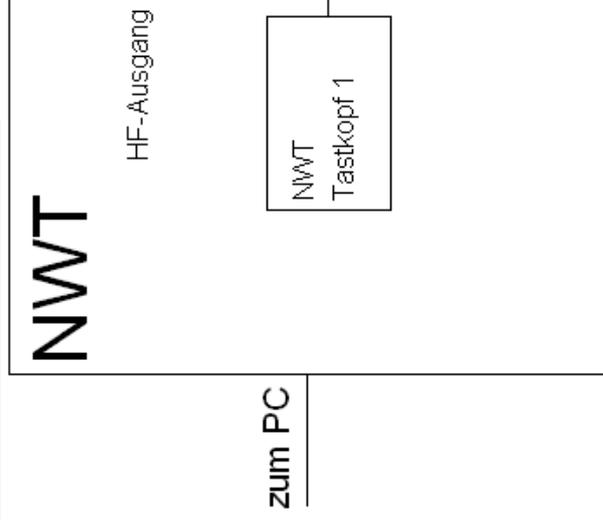
3. 1,5m RG58 offen am Reflektometer

Auf der Arbeitsfrequenz der Antenne messen wir ein sehr schönes SWR von 1,5 obwohl keine Antenne angeschlossen ist.

Messungen an Antennen sollten deshalb immer in Antennennähe durchgeführt werden.

Kabellänge ermitteln

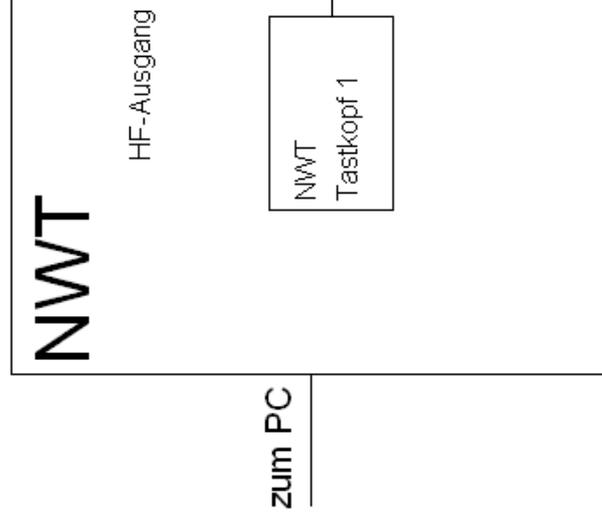
Bleibt eine Leitung am Ende offen, kann man in bestimmten Frequenzabständen an ihren Anfang einen HF - Kurzschluss feststellen.



$$(Z_e = Z^2/Z_a \text{ bei } \lambda/4)$$

$$l = 150 \cdot VF / f_L$$

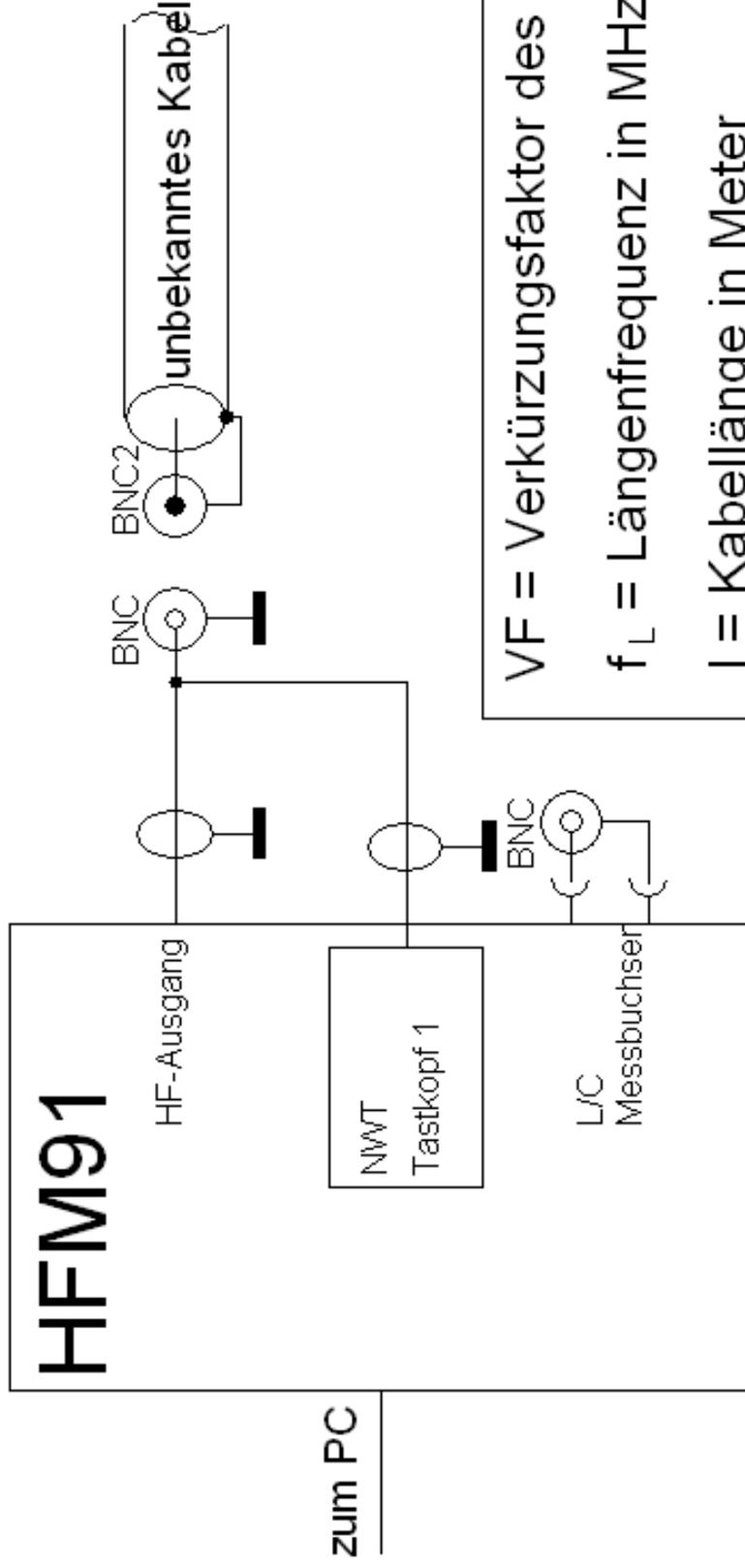
VF = Verkürzungsfaktor des Kabels
 f_L = Längenfrequenz in MHz
 l = Kabellänge in Meter
 Z = Wellenwiderstand des Kabels
 Z_e = Eingangsimpedanz
 Z_a = Ausgangsimpedanz



Kabellänge ermitteln mit Software von DL4JAL
 Betriebsart: Z-Impedanz

Bestimmung der Parameter eines Kabels (Die Kabellänge ist bekannt)

Längenfrequenz und Kapazität messen



VF = Verkürzungsfaktor des Kabels

f_L = Längenfrequenz in MHz

l = Kabellänge in Meter

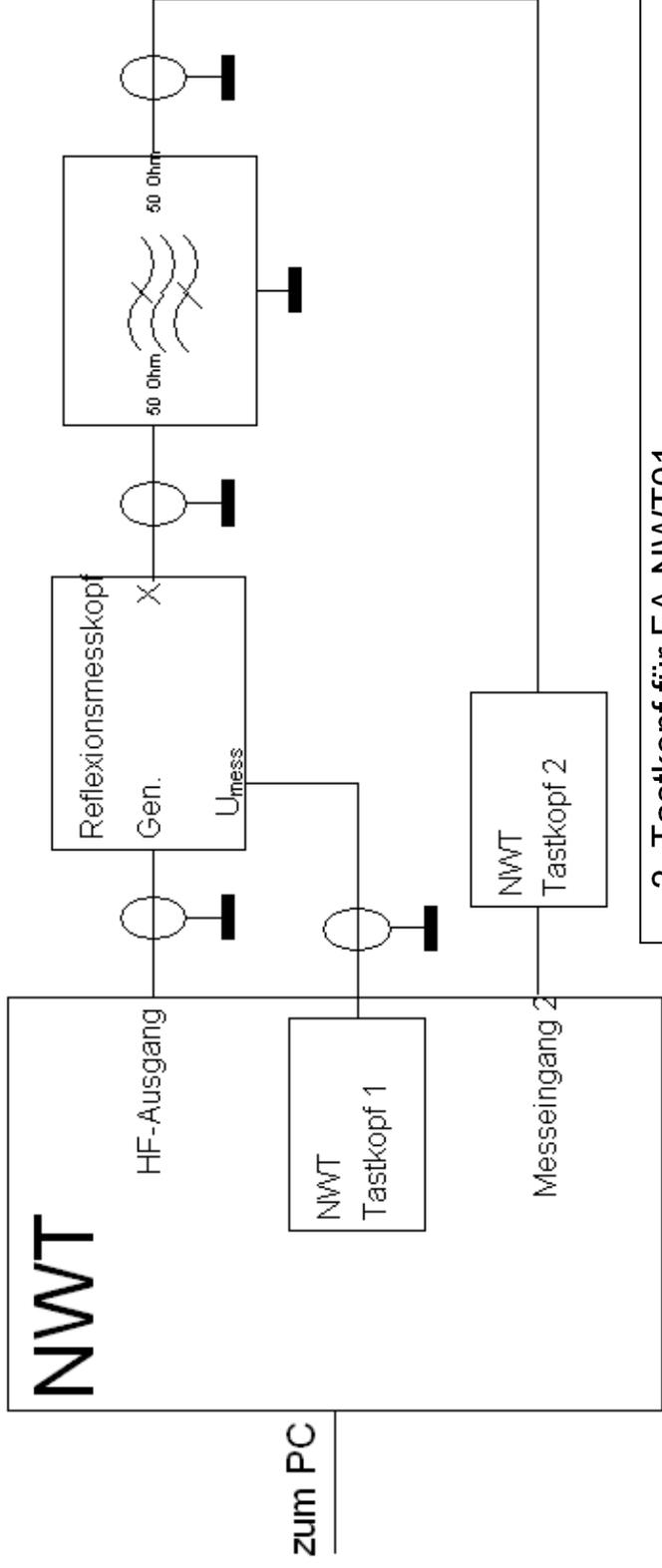
Z = Wellenwiderstand in Ohm

C = Kabelkapazität in pF

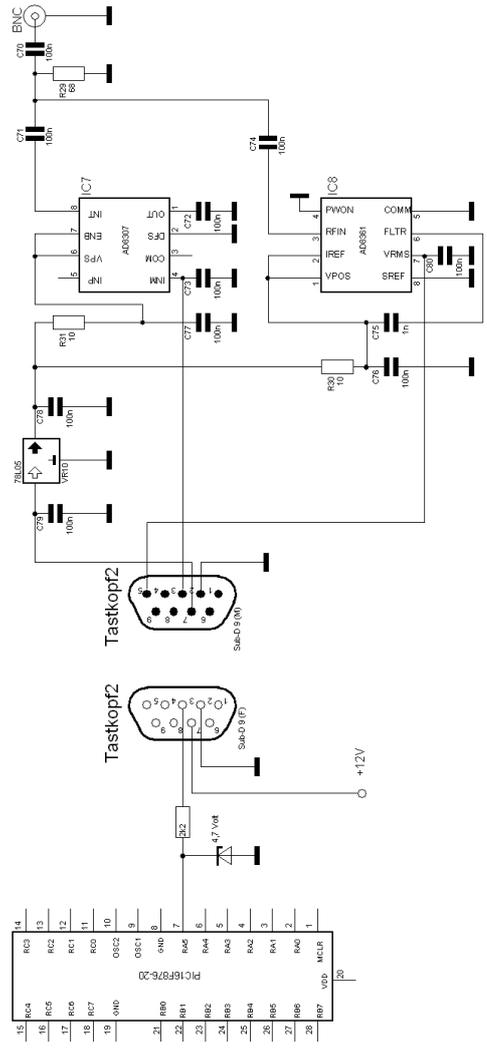
$$Z = \frac{500\,000}{C * f_L}$$

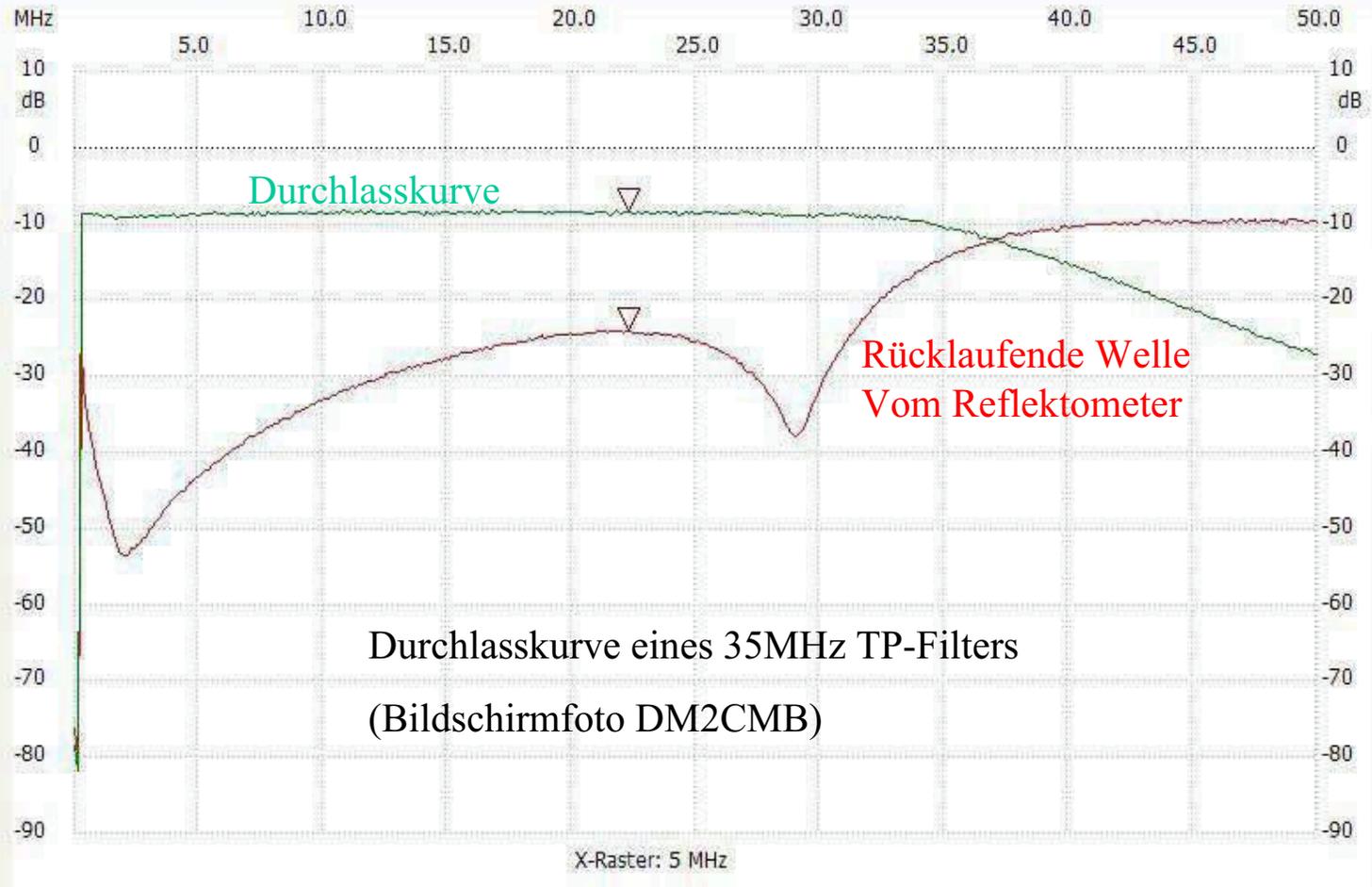
$$VF = \frac{3333 * l}{Z * C}$$

gleichzeitige Darstellung der Anpassung und der Durchlasskurve eines Filters



2. Tastkopf für FA-NWT01





1000	Hz Anfang
50000089	Hz Ende
125311	Hz Weite
400	Messpunkte

AD8307intern
 AD8307externK2

0dB Daempfungsglied

Cursor:
 22.306358 MHz
 Kanal1: -24.09dB
 Kanal2: -8.51dB

Kanal 1
 max: -9.40dB 46.366070
 min: -80.30dB 0.001000

Kanal 2
 max: -8.31dB 10.777746
 min: -81.73dB 0.126311

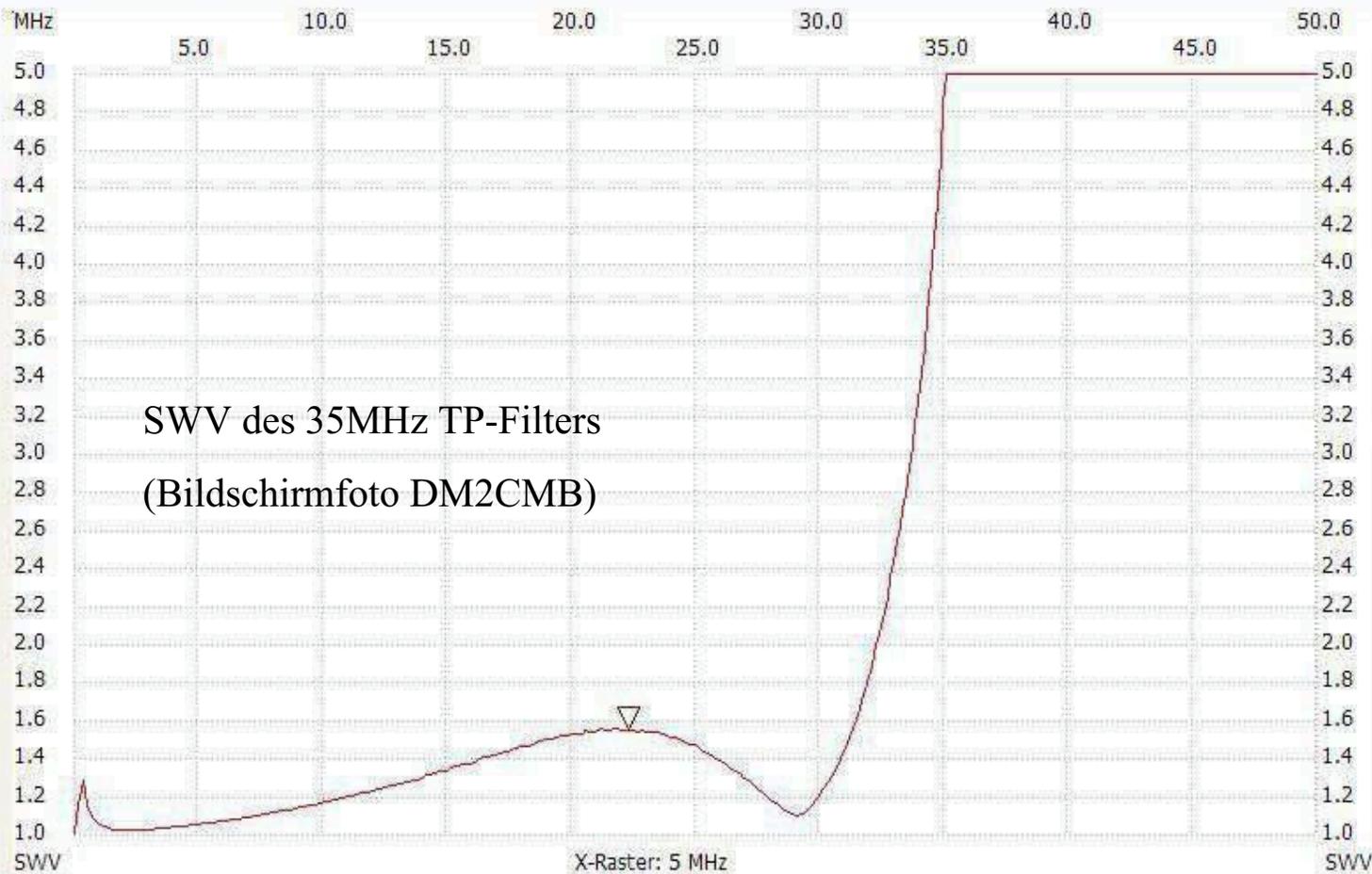
Bandbreite 3dB/Q
 Grafik
 Betriebsart:
 Auflösungs SWV:

Bandbreite 6dB/60dB/Shape
 Daempfung (100m):
 Kabellänge (m):

Frequenzzoom 2-fach



Wobbeln VFO Wattmeter



1000 Hz Anfang
50000089 Hz Ende
125311 Hz Weite
400 Messpunkte

AD8307intern
 AD8307externK2

0dB Daempfungsglied

Kursor:
22.306358 MHz
SWV: 1.5453

SWV min: 1.02 2.005976
SWV max: 17.39 37.594300

Wobbeln Einmal Stop

Bandbreite 3dB/Q Grafik
Bandbreite 6dB/60dB/Shape

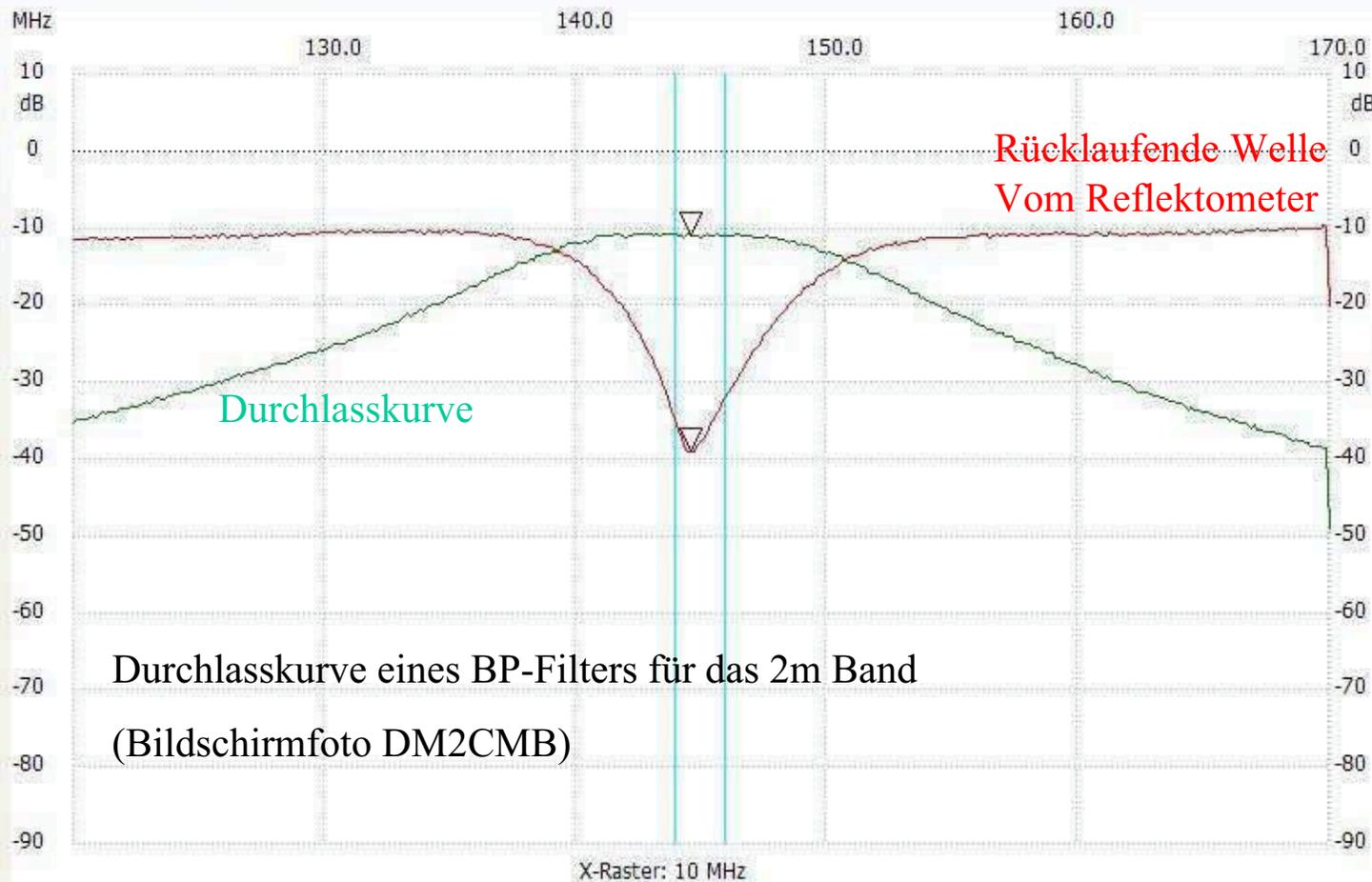
Betriebsart SWV Aufloesung SWV default

Daempfung (100m) Kabellaenge (m)

Frequenzzoom 2-fach + -



Wobbeln VFO Wattmeter



120000000	Hz Anfang
170000286	Hz Ende
125314	Hz Weite
400	Messpunkte

- AD8307intern
 - AD8307externK2
- 0dB Daempfungsglied

Kursor:
144.561544 MHz
Kanal1: -38.97dB
Kanal2: -11.08dB

Kanal 1
max: -9.60dB 169.624344
min: -38.97dB 144.310916

Kanal 2
max: -10.69dB 142.932462
min: -49.10dB 170.000286

Wobbeln Einmal Stop

Bandbreite 3dB/Q Grafik

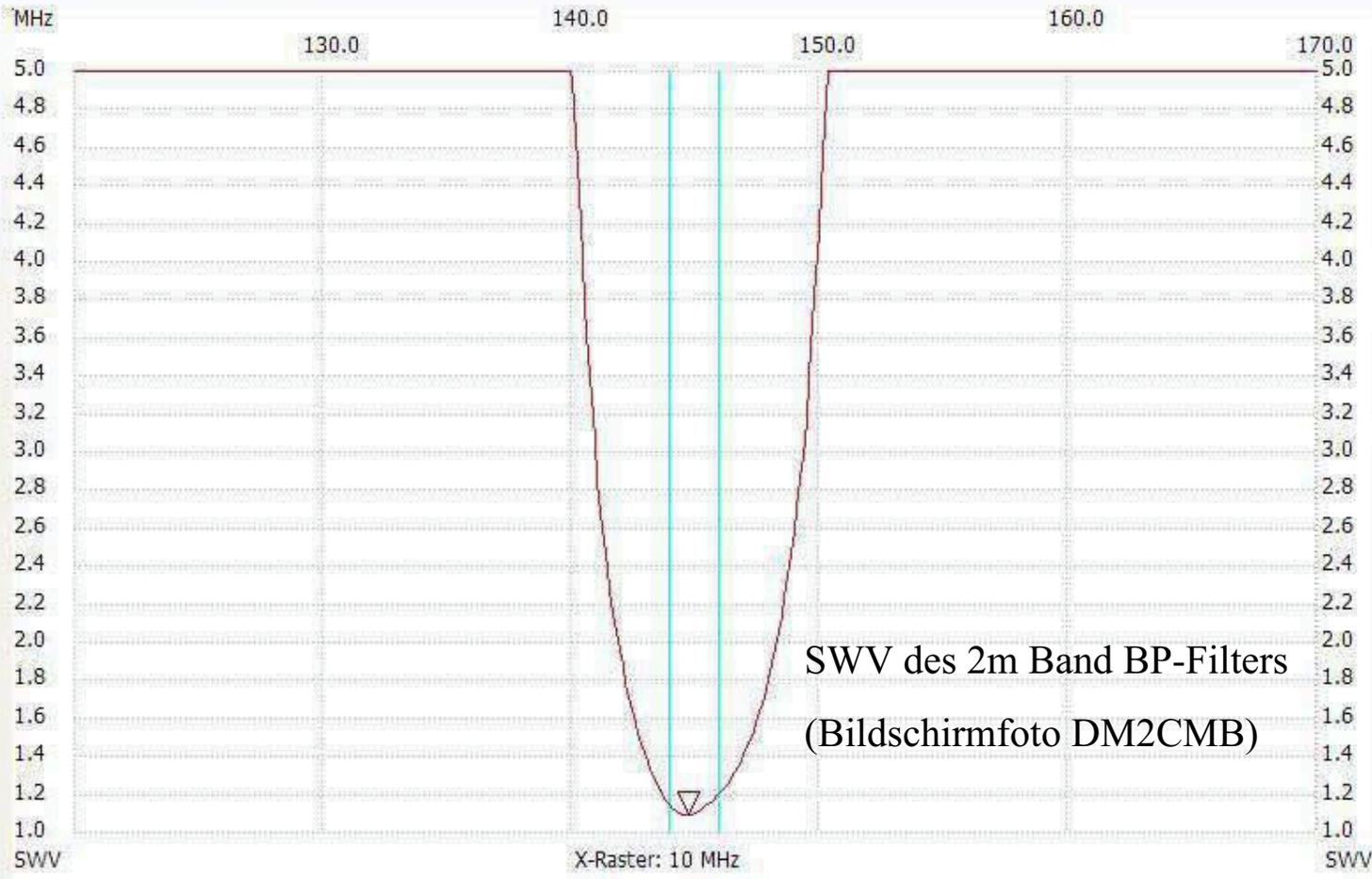
Bandbreite 6dB/60dB/Shape

Betriebsart: Wobbeln Auflösung SWV: default

Daempfung (100m): Kabellaenge (m):

Frequenzzoom 2-fach + -

2m BP SWV.JPG - Paint



120000000 Hz Anfang
170000286 Hz Ende
125314 Hz Weite
400 Messpunkte

AD8307intern
 AD8307externK2

0dB Daempfungsglied

Kursor:
144.686858 MHz
SWV: 1.0851

SWV min: 1.08 144.561544
SWV max: 17.39 123.132850

Wobbeln Einmal Stop

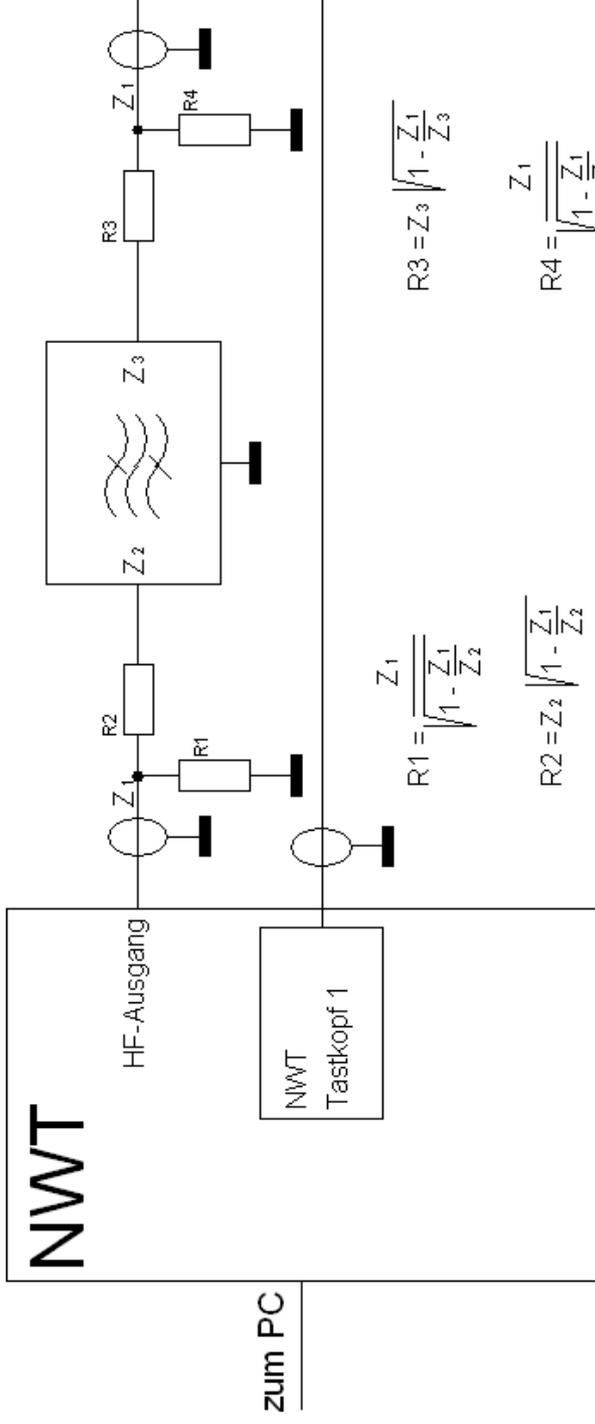
Bandbreite 3dB/Q Grafik
Bandbreite 6dB/60dB/Shape

Betriebsart SWV Auflösung SWV default

Daempfung (100m) Kabellaenge (m)

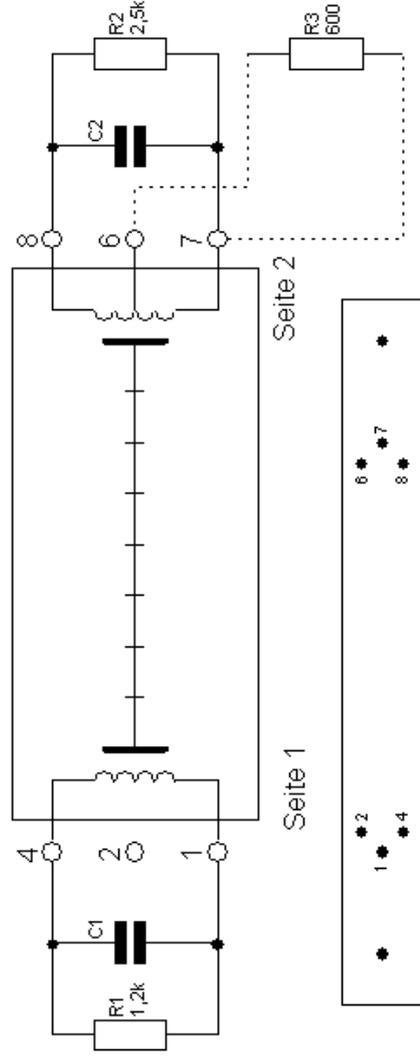
Frequenzzoom 2-fach + -

Darstellung der Durchlasskurve eines Filters mit anderem Z-Wert durch einfache Widerstandsanpassung

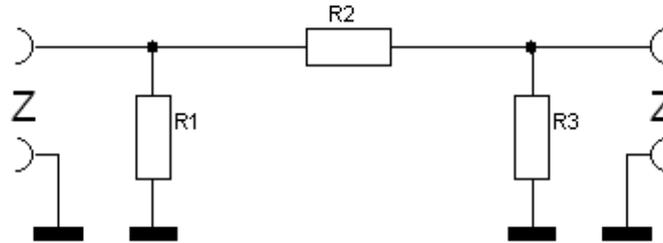


magnetomechanisches Filter MF 200

(C1 und C2 werden zu jedem Filter mitgeliefert)



Dämpfungsglied in PI - Schaltung



$$Z1 = Z2 = 50 \text{ Ohm}$$

$$A = 40,00 \text{ dB}$$

$$R1 = R3 = 51,01 \text{ Ohm}$$

$$R2 = 2499,75 \text{ Ohm}$$

$$R1 = R3 = 50,00 \text{ Ohm}$$

$$R2 = 2500,00 \text{ Ohm}$$

$$A = 40,09 \text{ dB}$$

$$Z\text{-Wert} = 49,03 \text{ Ohm}$$

$$SWV = 1,02$$

Belastung der Widerstände bei einer
Eingangsleistung von: 30,00 Watt

$$R1 = 29,41 \text{ Watt}$$

$$R2 = 0,59 \text{ Watt}$$

$$R3 = 0,00 \text{ Watt}$$

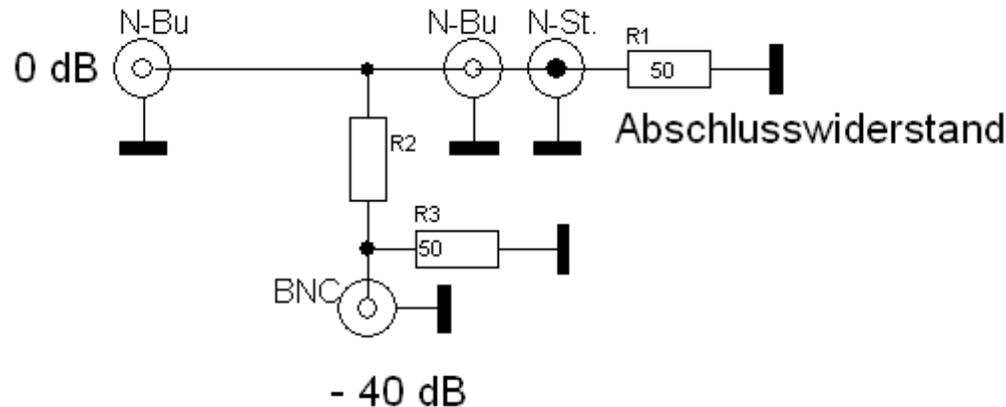
$$R1 = 30,00 \text{ Watt}$$

$$R2 = 0,59 \text{ Watt}$$

$$R3 = 0,00 \text{ Watt}$$

Dämpfungsglied in PI - Schaltung

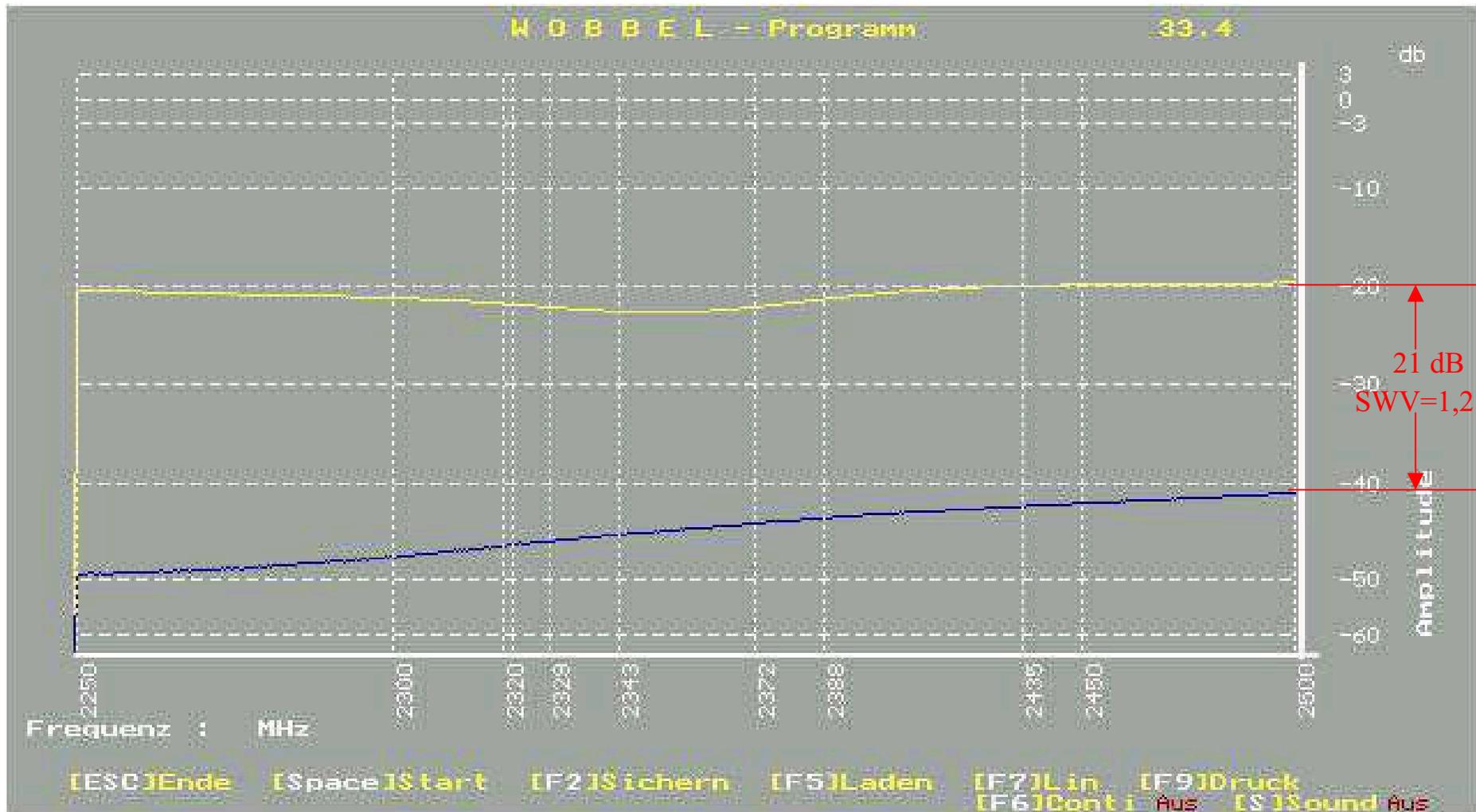
(Für R1 wird ein ext. 50 Ohm Abschlusswiderstand eingesetzt.)



tatsächliche Leistung bei
abweichendem Dämpfungswert
 gemessene Leistung 30 μ W
 Dämpfungswert 55 dB
tatsächliche Leistung 9,5 Watt

<u>Eingangsleistung =</u>		30,00 Watt
R1 =	50 Ohm	29,41 Watt
R2 =	2500,00 Ohm	0,59 Watt
R3 =	50 Ohm	0,00 Watt
A =	40,09 dB	
SWV=	1,02	

<u>Belastung von R2' bei Aufspaltung durch Reihenschaltung</u>		
R2 ₁	1000 Ohm	0,24 Watt
R2 ₂	1000 Ohm	0,24 Watt
R2 ₃	500 Ohm	0,12 Watt
R2 ₄	Ohm	0,00 Watt



SWV des 40dB Dämpfungsgliedes bei 2,5 GHz

Herleitung der Formel zur Berechnung des Verkürzungsfaktors

$$\text{Wellenwiderstand: } Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad \text{oder: } Z^2 = L'/C'$$

nach L umgestellt: $L' = Z^2 * C'$

L' = Induktivitätsbelag/m

C' = Kapazitätsbelag/m

$$\text{Ausbreitungsgeschwindigkeit: } v' = \frac{1}{\sqrt{L' * C'}}$$

$$\text{Verkürzungsfaktor (VF)} = \frac{\text{Ausbreitungsgeschwindigkeit}}{\text{Lichtgeschwindigkeit}} = v'/c = \frac{1}{c * \sqrt{L' * C'}}$$

$$\text{VF} = \frac{1}{c * \sqrt{Z^2 * C' * C'}} = \frac{3333 * \text{l (m)}}{Z (\Omega) * C (\text{pF})}$$

$$\frac{10^{12}}{3 * 10^8} = 3333$$