

# S-Parameter- Messung mit dem modernen Vektoriellen Network Analyzer „VNWA3E“

Autor:

**Gunthard Kraus, DG8GB**, Oberstudienrat i. R.  
Gastdozent an der Dualen Hochschule Baden Württemberg

Email: [mail@gunthard-kraus.de](mailto:mail@gunthard-kraus.de)

Homepage: [www.gunthard-kraus.de](http://www.gunthard-kraus.de)

**10. Mai 2017**

## 1. Vorbemerkungen

## 2. Aufbau und Funktion des VNWA3

## 3. Installation unter Windows 7

### 3.1. Die Treiber-Installation

### 3.2. Die Konfiguration

## 4. Kalibrierung und S-Parameter-Messung

### 4.1. Hardware – Vorbereitungen und Referenz-Ebenen

### 4.2. Sweep-Einstellungen

### 4.3. SOLT-Kalibrierung im Frequenzbereich von 1 MHz bis 101 MHz

#### 4.3.1. Laden der Calibration Settings

#### 4.3.2. Ablauf der SOLT-Kalibrierung

### 4.4. Einstellung und Anzeige des TX – Sendepiegels

### 4.5. Untersuchung des 11 MHz - Low Pass Filters

#### 4.5.1. S11 und S21 im Bereich von 1 MHz bis 101 MHz

#### 4.5.2. Korrekter Abgleich der LPF-Filterkurve

#### 4.5.3. Ermittlung der „Weitab-Selektion“ (= Sperrdämpfung) des LPF bis 1300 MHz

#### 4.5.4. Speichern und Ausdrucken des Ergebnis-Bildschirm

#### 4.5.5. Einstellen des TX-Piegels

### 4.6. Untersuchung des 6 MHz – Hochpassfilters

### 4.7. Untersuchung des Bandpasses für $f = 10,7$ MHz

#### 4.6.1. Das Durchlass-Verhalten

#### 4.6.2. Einblendung der Simulation in das Messergebnis

#### 4.6.3. Der Sperrbereich

## 5. Oft benötigt: Messergebnisse als s2p-File (Touchstone-File)

### 5.1. Erzeugung mit dem VNWA3

### 5.2. Kontroll-Simulation mit qucsstudio

## 6. Wie komme ich zu einer optimalen Bildschirm-Anzeige (= Vorschläge für richtige Einstellungen bei der Messung und zur Nachbearbeitung der ausgegebenen Ergebnisse)

### 6.1. Welche Probleme erwarten uns?

#### 6.1.1. Wie soll der TX-Pegel eingestellt werden?

#### 6.1.2. Unerwartete Erlebnisse und Ergebnisse bei der Anzeige

### 6.2. Die Grenzen des VNWA3

## **Anhang 1: Erstellung der Calibration Settings**

# 1. Vorbemerkungen

Im Labor für Übertragungstechnik der Dualen Hochschule haben wir uns ein dreiteiliges Projekt vorgenommen, mit dem der Filterentwurf sowie die Aufgabe und Bedeutung der einzelnen S-Parameter sehr ausführlich an drei verschiedenen Filterschaltungen demonstriert wird. Es handelte sich dabei um

- a) einen 11 MHz Tschebyschef – Tiefpaß
- b) um einen 6 MHz Hochpaß und
- c) einen 10,7 MHz Bandpass.

**Die Projektteile 1 und 2 mit dem Entwurf, der Simulation mit qucsstudio und dem Platinen-Layout der Filter finden sich als pdf-Files in diesem Verzeichnis der Homepage und können heruntergeladen werden.**

Um bei einem Baustein die erzielten S-Parameter zu bestimmen, benötigten wir eine moderne Maschine, die das übernimmt. So entstand Teil 3 des Projektes, nämlich die Einsteiger-Anleitung für den gewählten VNWA3. Sie bildet die „Starthilfe“ für dieses Tutorial und wird bei neuen Ideen oder Projekten entsprechend erweitert.

Wie läuft das nun ab?

Da wird (nach der Kalibrierung des Messgerätes) ein Messobjekt angeschlossen und dann

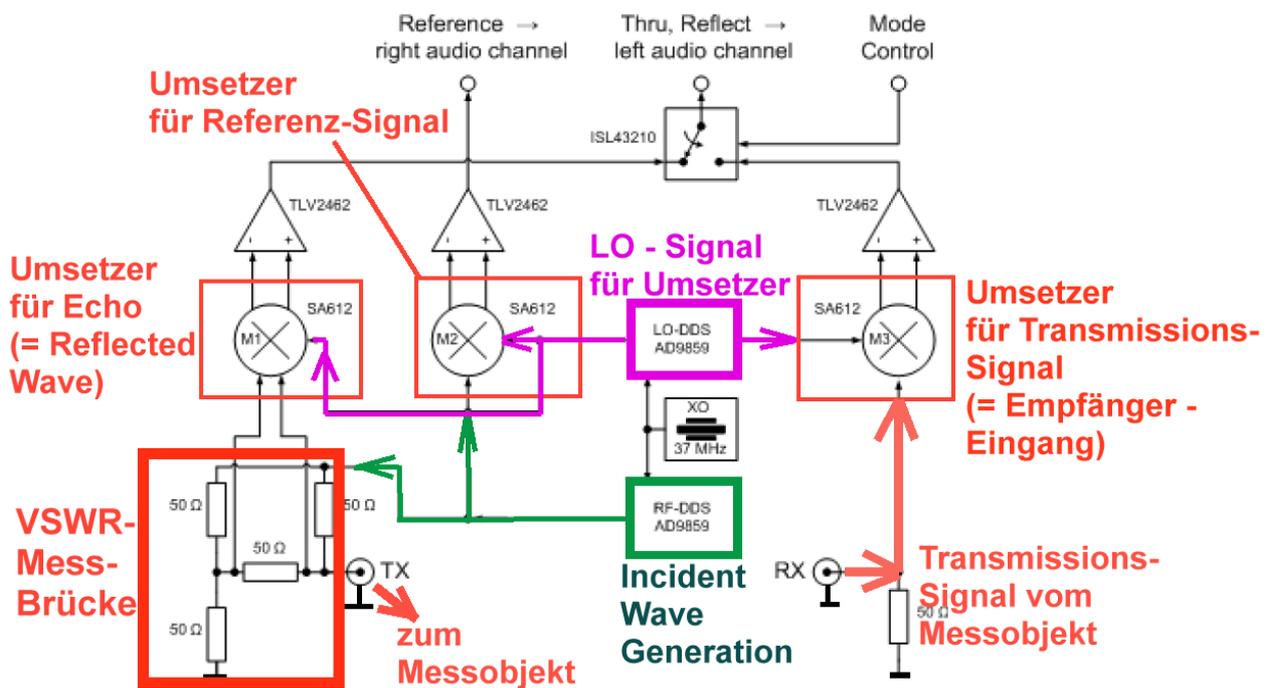
- a) das **Echo (= Reflektion = reflected wave)** ermittelt, wenn ein Mess-Sender an den Eingang = Port 1 angeschlossen wird. Damit wird die **Eingangsreflektion S11** errechnet.
- b) Anschließend muss der Anwender den Messplatz umbauen (= Mess-Sender bleibt an Port 1, zusätzlich kommt ein Mess-Empfänger an Port 2) und kann anschließend die **Transmission S21 von Port 1 nach Port 2** messen.
- c) Um an die **Parameter der Ausgangsseite (= S12, S22)** heranzukommen, muss man das Messobjekt **umdrehen** und dann beide Messungen wiederholen.

**Genau so funktioniert die „Grundausführung“ des VNWA3!**

Wir haben es jedoch bei der Version im Labor mit der aufgepeppten Version „**VNWA3E**“ zu tun und die wurde entscheidend erweitert. **Jetzt können wir nämlich GLEICHZEITIG S11 und S21 messen und anzeigen lassen (...bei lang dauernden Messungen mit vielen Messpunkten und langen Wartezeiten pro Punkt spart das doch eine Menge Zeit, wenn man beide Parameter braucht...)**

**Allerdings bleibt uns das „Umdrehen des Messobjektes zur Messung der Ausgangsparameter“ immer noch nicht erspart! Da muss man selbst etwas konstruieren und mit 2 hochwertigen Koaxialen Relais (...die bis zu etlichen GHz gut sind...) eine „Umschaltung per Kopfdruck“ von S11 / S21 – Messung auf S12 / S22 – Messung vornehmen. Genau so machen es nämlich auch die sehr teuren Profimaschinen...**

## 2. Aufbau und Funktion des VNWA3



Sieht zunächst etwas wild aus, ist es aber nicht. Fangen wir deshalb mit der **Reflektionsmessung** an. Der Kern der Sache ist die dick eingerahmte „VSWR-Brücke“ (= voltage standing wave ratio bridge). Sie liefert an ihrer Diagonale eine Spannung, die der Fehlanpassung des am TX-Ausgang angeschlossenen Messobjektes entspricht. Diese Spannung wird dem „Echo-Umsetzer“ (= Mixer) zugeführt, mit dem LO-Signal umgesetzt und das Ergebnis über eine USB-Verbindung dem **linken Audio-Kanal der PC-Soundkarte** zugeführt.

Damit allein kann man aber S11 nicht berechnen – es fehlt dazu noch die „**Incident Wave**“ (= Hinlaufende Welle). Dafür haben wir den „**Umsetzer für das Referenz-Signal**“, der die Speisespannung der VSWR-Brücke abnimmt, mit derselben LO-Frequenz umsetzt und das Ausgangssignal wieder über USB – aber nun an den **rechten Audio-Kanal der Soundkarte** – schickt.

Und so funktioniert die **Transmissionsmessung**:

Der „TX“-Ausgang der VSWR-Brücke stellt den schon erwähnten „Mess-Sender“ dar – er speist den Eingang des Messobjektes. Der Ausgang des Messobjektes wird mit dem RX-Eingang des VNWA3 verbunden (...dessen Eingangswiderstand natürlich  $Z = 50\Omega$  beträgt) und die dort messbare Spannung versorgt den „Umsetzer für das Transmissions-Signal“. Das IF-Signal hinter dem Umsetzer muss natürlich jetzt auch zum PC zur Auswertung – aber wie? Denn beide Stereokanäle der Soundkarte sind schon durch das Referenz-Signal und die „Reflected Wave“, also das Echo, belegt.

**Jetzt sehen wir, warum beim „einfachen VNWA3“ NIEMALS ein paralleler (= gleichzeitiger) Sweep von S11 und S21 möglich ist. Das Steuersignal „mode control“ entscheidet, welche der beiden Messungen gerade durchgeführt werden soll.**

Erst der **VNWA3E** (...das „E“ deutet auf die erforderliche Erweiterungsplatine hin...) ermöglicht die **gleichzeitige Übertragung des Transmissionsignals** über einen **zusätzlichen weiteren Audiokanal** („Audiocodec“) und damit die **entsprechende parallele Ausgabe beider Messungen** auf dem Bildschirm! Das wird bei vielen Punkten und langen Wartezeiten pro Punkt schnell zum Segen...

**Aber: wie bereits erwähnt: zur Messung von S12 und S22 müssen wir das Messobjekt weiterhin umdrehen bzw. umgekehrt an den Analyzer anschließen!**

Was ist sonst noch interessant?

Die beiden erforderlichen Oszillatoren (für RF – Signal und LO-Signal) werden durch moderne DDS-Bausteine realisiert, die von einem sehr frequenzstabilen Quarz-Taktoszillator gespeist werden. Diese Bausteine sind normalerweise für einen Einsatz bis 300 MHz vorgesehen. Aber selbst wenn man sie wie hier

„**übertak**tet“, kommt man niemals bis zu den angegebenen höchsten Messfrequenzen von 1300 MHz. Die **Übertaktung ist nicht risikolos und deshalb bekommen wir bei der Inbetriebnahme gleich die entsprechende Warnung präsentiert – kombiniert mit der Bitte um Einwilligung („auf eigenes Risiko...“)**.

Die Frequenzen dieser beiden Oszillatoren dürfen natürlich nie ganz gleich sein – schließlich ergibt ihre Frequenzdifferenz die Zwischenfrequenz, auf die alle drei RF-Signale gleichzeitig umgesetzt werden. Die liegt im Bereich unter 24 KHz, denn nur damit kommt die PC-Soundkarte z. B. bei 48 kHz Abtastfrequenz zurecht.

Oberhalb von 700 MHz wird nun nur noch mit den **Nebenwellen (= Aliasfrequenzen)** der DDS-Oszillatoren gearbeitet, ab 500 MHz lassen die Mischer ganz langsam die Flügel hängen.....wir werden das schnell an den deutlich schlechter werdenden Eigenschaften des Messgerätes merken, wenn wir den oberen Frequenzbereich bis 1300 MHz nutzen. Und dass da plötzlich auch vermehrt unerwünschte Störlinien („Fipse“) auftauchen, lässt sich auch nicht vermeiden. Zur Entschädigung haben wir dafür eine untere Frequenzgrenze bei etwa 1 kHz und bis hinauf zu 500 MHz einen Dynamikbereich von etwa 90 dB. Da kann man solche Schwächen in Liebe ertragen.

**Und das bringt die Erweiterungsplatine, die den VNWA3 zum VNWA3E macht:**

a) Die Sache mit dem zweiten Audiocodec hatten wir schon – er ermöglicht die **gleichzeitige Messung von Reflektion und Transmission**.

b) Über einen RJ11-Stecker stehen alle interessanten Signale (Gleichspannungen, Steuersignale usw.) an der Rückwand des Gerätes zur Verfügung.

Hier noch einige pdf-Dateien, die man sich (für alle Fälle...) aus der VNWA3-Homepage holen kann:

**VNWA-HELP**

**VNWA\_HELP\_deutsch**

**PA4TIM\_VNA\_calibration\_deutsch**

**USBview-deutsch**

**VNWA\_3\_Expansion\_board**

**VNWA3\_W8\_Installation**

**VNWA3-Installation**

**VNWA3\_Ans\_Laufen\_bringen\_W8.1\_W7**

### 3. Installation unter Windows 7

#### 3.1. Die Treiber-Installation

Dazu gibt es sowohl beim gekauften Gerät als auch in der obigen Liste sehr ausführliche und genaue Informationen, deshalb halten wir uns kurz.

Wichtig ist:

a) das Herunterladen der erforderlichen **Installer-Software „VNWA-installer.exe“** erfolgt aus der SDR-kits Homepage.

b) **Bis einschließlich WindowsXP gilt:** beim Installieren des Treibers darf der VNWA **NICHT am Rechner angeschlossen sein!**

c) Man sollte gleich die **Lizenz-Nummer** des Gerätes bereithalten. Sie findet sich in den mitgelieferten Unterlagen und lautet z. B. bei mir:

**A3920:INV-FIL\_HEO\_ZPS:**

Ein Tipp aus eigener Erfahrung: die **beiden Doppelpunkte** in dieser Nummer sind etwas tückisch. **Speziell der am Ende wird leicht übersehen** und dann sucht man....und sucht man....und sucht man...

**Und gleich nochmal ein Tipp: der schlaue Mann drückt sich diesen Lizenz-Code auf einem Stück Papier aus und klebt das auf die Unterseite des VNWA's.**

Dann kann man die **Installations-Anweisung abarbeiten**, aber auch da gibt es einen zusätzlichen Hinweis:

Man sollte den Vorschlag, das Verzeichnis für den **VNWA möglichst direkt auf der Festplatte „c:“ (als „c:\vnwa“)** einzurichten, wirklich beherzigen....**kann manchen Ärger ersparen, den uns der Windows-Dateischutz sonst einbrocken kann.**

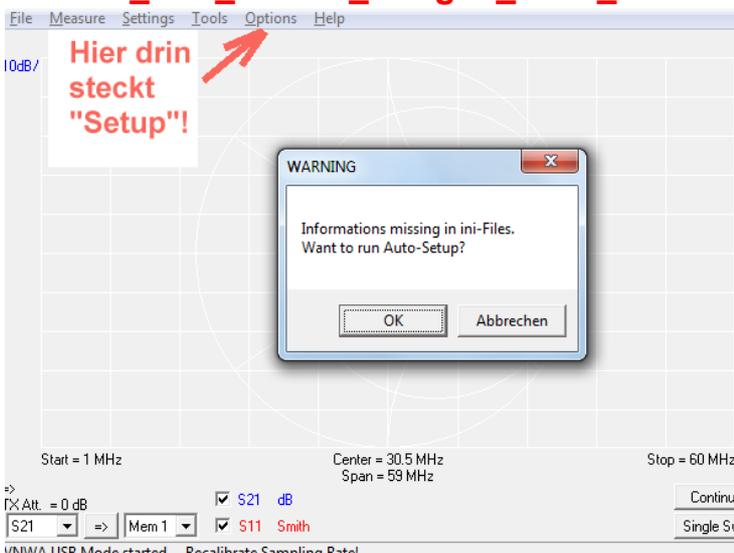
Kämpfen Sie sich durch, bis Sie mit „**Finish**“ die Software- und Treiber-Installation abschließen können.

#### 3.2. Die Konfiguration

Die haben wir vor uns, wenn wir nach der Treiber-Installation das USB-Kabel mit dem VNWA zum ersten Mal an unseren PC anschließen dürfen. Und gleich der nächste Tipp: **benützen Sie in Zukunft ab jetzt IMMER denselben USB-Port!**

Wir können für die Konfiguration den „Fahrplan“ verwenden, wie er z. B. im vorhin aufgeführten File

#### VNWA3\_Ans\_Laufen\_bringen\_W8.1\_W7



verwendet wird. Er ist sehr korrekt, entspricht auch dem beim Gerät mitgelieferten „Getting Started“ - Handbuch und führt bei Beachtung der Hinweise gut zum Ziel.

#### Nun geht es los:

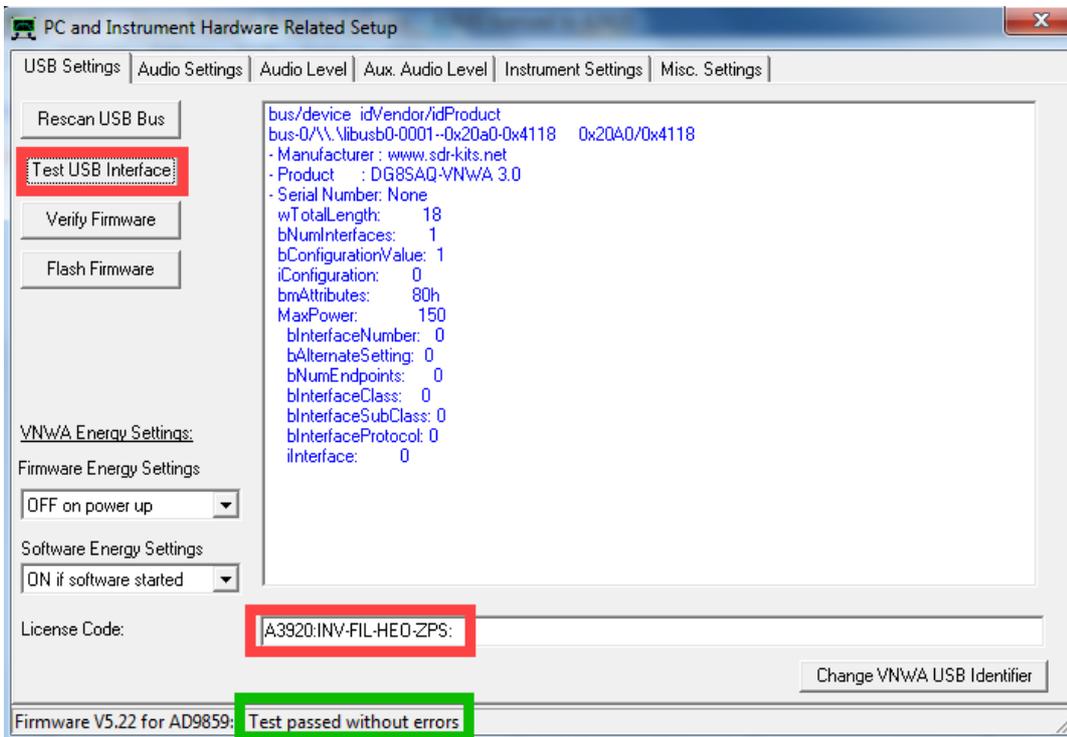
Durch das Einstecken des Kabels sollte unser Gerät automatisch erkannt und die Treiber-Installation beendet werden. Dann können wir das VNWA-Programm aus unserem Verzeichnis heraus (oder über einen Bildschirm-Icon) starten. Beim ersten Mal sollte da die besprochene „**Overclock-Warnung**“ auftauchen, bei der Sie das **Übertakten bis 700 MHz zulassen sollten** (sonst wird das Messen oberhalb von 500 MHz ganz trübe....).

Darauf folgt auf dem Bildschirm das „Hint“-File und wenn wir das mit OK bestätigen, bekommen wir zum

ersten Mal diesen **eigentlichen Analyzer-Bildschirm** zu sehen.

Da drückt man natürlich OK und läßt sich weiter führen. Geht problemlos und zum Schluß haben wir den Analyzer-Bildschirm ohne jede weitere Meldung vor uns. **Sollte das aber nicht so problemlos ablaufen, dann können wir die einzelnen Schritte jederzeit so nachvollziehen:**

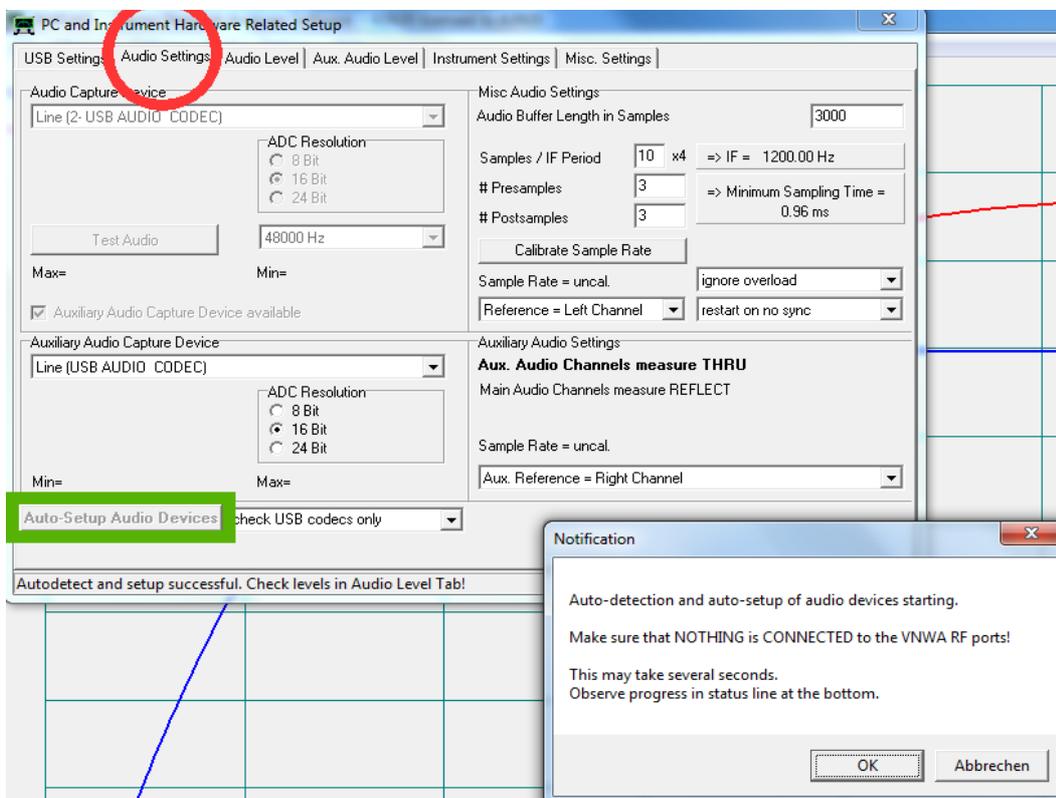
Man öffnet das Menü „**Setup**“ und wählt darin zuerst „**USB-Settings**“.

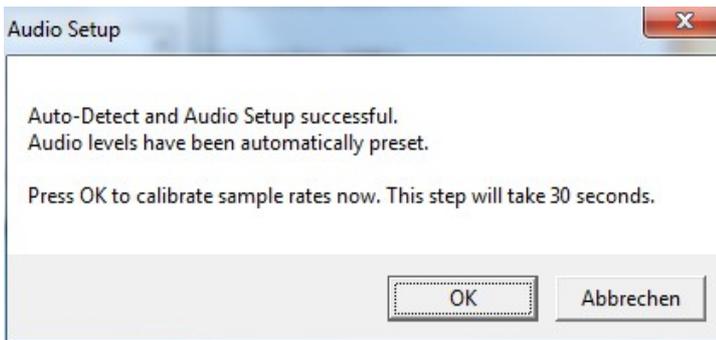


Bei irgendwelchen Startproblemen muss man nämlich hier – an der USB-Verbindung – anfangen.

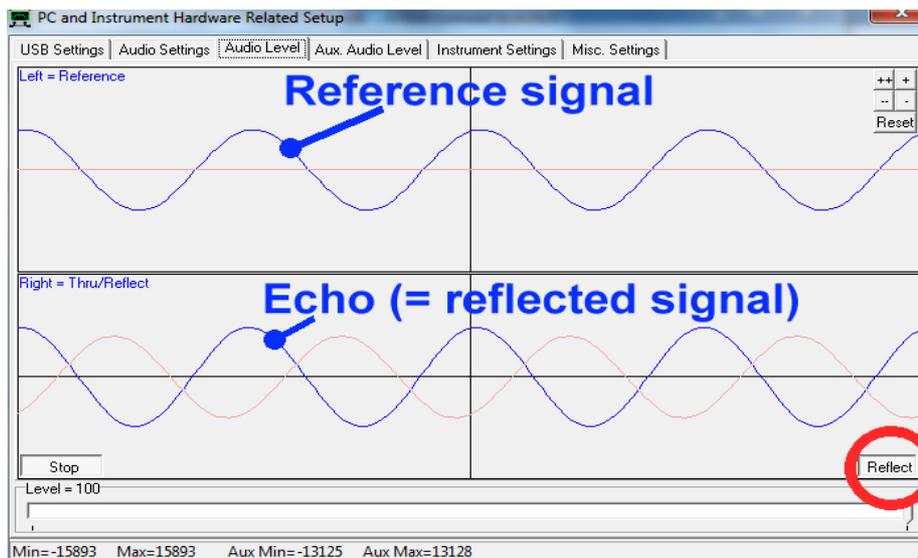
Wir drücken „**Test USB Interface**“ und können hinterher genau kontrollieren, ob unsere **Lizenz-Nummer** akzeptiert und der Test ohne Fehler bestanden wurde.

Dann geht es mit der rot markierten Karteikarte „**Audio Settings**“ weiter. Darauf wird „**Auto Setup Audio Devices**“ gedrückt, die Meldung gelesen und diese mit **OK** bestätigt:





Ist diese Stufe erfolgreich beendet, dann müssen die **Sample-Raten gemessen und kalibriert** werden.



Das Ergebnis wird anschließend am unteren Rand des VNWA-Bildschirms eingeblendet. Es lautet z. B.:  
**Measured sample rates:**  
**Main = 47995.9;**  
**Aux = 47995.8 samples per second**

Aber nach „OK“ wird es interessant! Da schalten wir in der rechten unteren Ecke auf „**Reflect**“. Dann wird nämlich in der **oberen Diagrammhälfte der zeitliche Verlauf des Referenzsignals (im linken Audio-Kanal) in blauer Farbe**

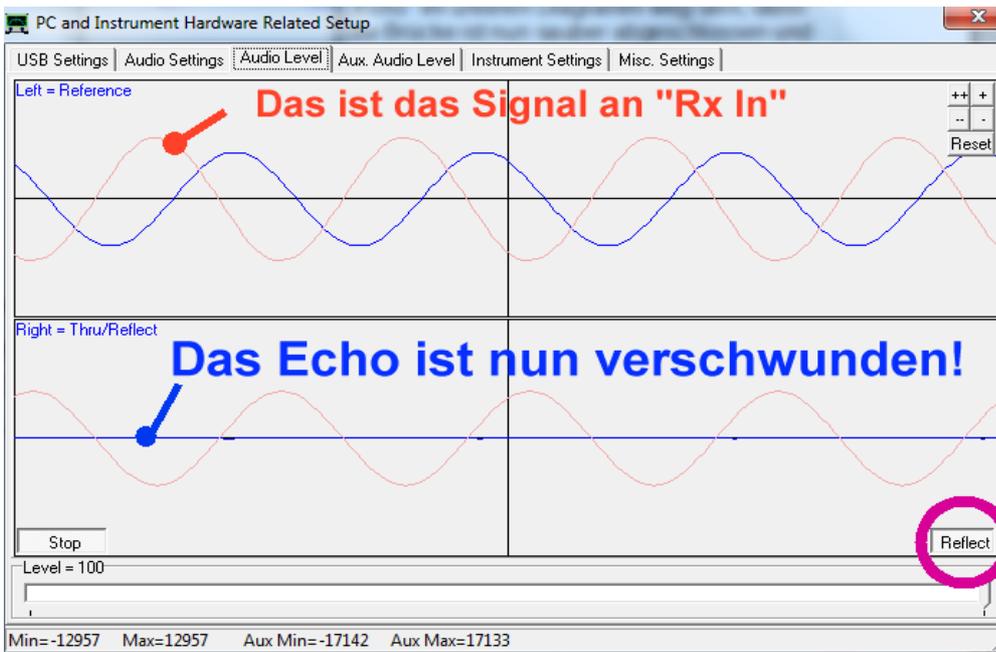
angezeigt.

In der unteren Hälfte sehen wir jetzt **das Echo**, ebenfalls in Blau (und zusätzlich nochmals eingeblendet das Referenz-Signal). Das Echo ist natürlich auch ein Sinussignal mit derselben Frequenz, denn der **Generatorausgang „TX“ – also der Ausgang der VSWR-Brücke – läuft leer und das gibt Totalreflektion....**



Das können wir ganz leicht nachprüfen, indem wir den **im Kalibrierset mitgelieferten 50 Ohm – Widerstand mit dem Kabel verbinden, das zum linken „TX Out“- Anschluss des VNWA3 führt** und die angezeigten Ergebnisse miteinander vergleichen.

**Jetzt muss das „Echo“ im unteren Diagramm weg sein, denn die interne Messbrücke ist sauber abgeschlossen und es gibt keine Reflektionen.**

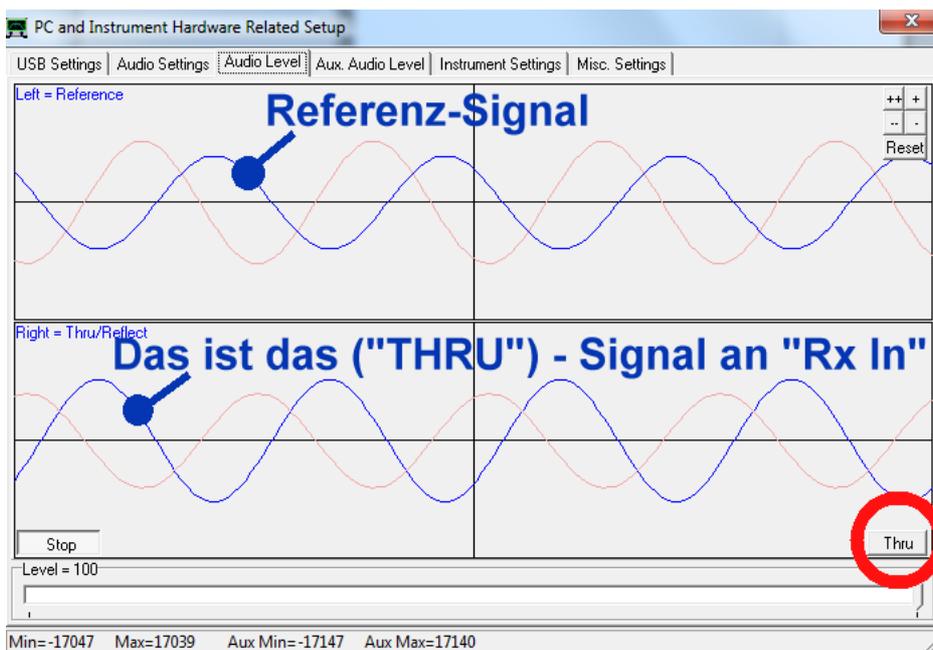


Interessant wird es nun, wenn wir den Abschlusswiderstand bei „Tx Out“ entfernen und dann mit einem SMA-Kabel den Sender direkt mit dem Empfänger verbinden.

Natürlich darf es auch hier kein Echo geben, denn der Empfänger-Eingang hat einen exakten Eingangswiderstand von 50 Ohm.

Aber man sieht, dass nun zusätzlich die Spannung an „Rx IN“ in der oberen Diagrammhälfte mit

angezeigt wird.



Und weil gerade das SMA-Kabel angeschlossen ist, schalten wir (unten rechts) um auf „Thru“ (= **Transmissions-Messung**). Dann sehen wir als blaue Kurve das am Empfänger-Eingang ankommende „THRU“ - Signal.

Das wär's mit der Installation und der Konfiguration – **jetzt sollte die Maschine korrekt funktionieren.**

(Man kann diese Prozedur z. B. beim nächsten Einschalten jederzeit als Funktionstest wiederholen und nochmals durchspielen: einfach unter „Options“ das Setup aufrufen und dann der Reihe nach erst „USB Settings“ und dann „Audio Settings“ ablaufen lassen).

## 4. Kalibrierung und S-Parameter-Messung

### 4.1. Hardware – Vorbereitungen und Referenz - Ebenen



Das sollte die erste Aktion sein:

Beide SMA-Buchsen am VNWA werden mit „**SMA-Verlängerungen**“ versehen, die dauerhaft und mit dem vorgeschriebenen Drehmoment aufgeschraubt werden. Eine Beschädigung des feinen Gewindes erfordert im Schadensfall nur den Wechsel dieser Verlängerung....die Buchse am VNWA zu wechseln ist wesentlich aufwendiger...



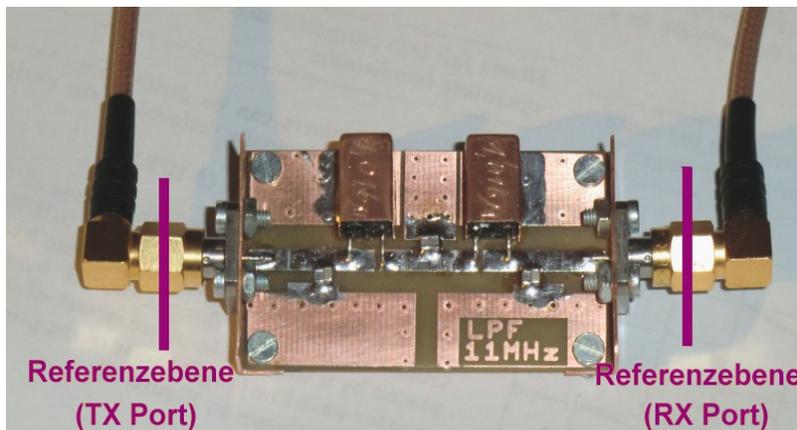
Dann sollte man **zwei identische Teflon-SMA-Kabel mit je 40 cm Länge und nur 2.5 mm Dicke** als dauerhafte flexible „Messadapter“ oder „Messleitungen“ verwenden, die an einem Ende einen geraden SMA-Stecker, am anderen Ende einen abgewinkelten SMA-Stecker tragen. So macht es keine Mühe, richtig an das Messobjekt heranzukommen, ohne die Kabel arg zu verbiegen oder Druck auf die Buchsen beim Aufschrauben der SMA-Stecker auszuüben.

Und damit sind wir an einem sehr wichtigen Moment angelangt:

**Jetzt ist es erforderlich, die Kalibrierung der Referenzebenen vor zu nehmen!**

Das klingt natürlich sehr geheimnisvoll, aber die Notwendigkeit und das Prinzip sehen wir uns an einer Ausschnitt-Vergrößerung dieses Bildes an.

(Aber zuerst nochmals eine Bemerkung zu den verwendeten Steckern:



Da ich meine Entwicklungen zunächst meist auf solchen Leiterplatten (Abmessungen: 30mm x 50mm) mit Kupfer-Winkelblechen für die SMA-Buchsen aufbaue, bewähren sich **SMA-Kabel mit einem Winkelstecker auf der Messobjekt-Seite** besonders gut und sorgen für ein bequemes Handling).

**Jetzt kommt das Wichtigste:**

Die Messkabel samt diesen Winkelsteckern stellen die „**Verbindung des VNWA3 zur Außenwelt**“ dar und **exakt mit den beiden violett markierten Ebenen (= Ende des SMA-Steckers am Kabel = Kontakt mit der**

**Buchse des angeschlossenen Messobjektes) beginnt bzw. endet die Außenwelt für den VNWA3!** Sie heißen deshalb

### **Referenzebenen.**

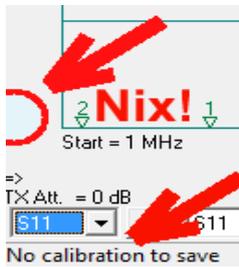
**Genau dort werden nacheinander unsere „Kalibrierstandards“ angeschlossen, vermessen und die erhaltenen Mess- bzw. Korrekturwerte in einer Datei gespeichert.**

Nur so können wir sicher sein, dass die Eigenschaften der Messobjekte innerhalb dieser beiden „**violetten Grenzen**“ vom Network-Analyzer korrekt erfaßt und angezeigt werden.

(Beispiel: Die linke violette Linie wäre z. B. dann, wenn wir nur S11 messen wollen, die „**S11 Referenzebene**“).

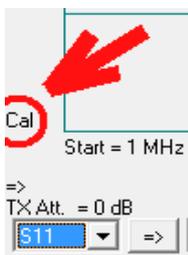
Und noch etwas, das leicht Verwirrung stiften kann: In den Bedien-Menü's des Programms wird zwischen „**Kalibrierung**“ und „**Master-Kalibrierung**“ unterschieden. **Das ist wichtig und das müssen wir uns deshalb genauer ansehen. Bitte drei Fälle unterscheiden und dabei genau in die linke untere Ecke des Bildschirms schauen:**

---



**Fall a) = nichts kalibriert:**

Wenn es an dieser Ecke so aussieht, macht es **keinen Sinn, mit der Messerei anzufangen**. Da gehen alle Unvollkommenheiten des Analyzers in die Messung ein, die Ergebnisse sind unbrauchbar. **Wir müssen deshalb sofort zu Kapitel 4.3 (= Sweep – Einstellungen), gefolgt von Kapitel 4.4. (= SOLT-Kalibrierung) springen. Dort ist dann alles Weitere beschrieben.**



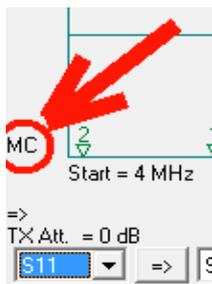
**Fall b) = Normale Kalibrierung (Anzeige = „Cal“)**

Wer oft zwischen verschiedenen Messaufgaben, Sweep-Zeiten, Sweep-Bereichen, Zahlen der Messpunkte, Kabellängen usw. wechseln muss, der sollte stets mit dieser Option arbeiten. Dabei wird ebenfalls nach Kapitel 4.3 und 4.4. eine SOLT-Kalibrierung für die aktuelle Anordnung vorgenommen. **Allerdings darf hinterher keine einzige Einstellung mehr verändert werden, sonst geht die komplette Kalibrierung verloren und muss wiederholt werden. Eine Ausnahme bildet die Sweep-Dauer und damit die Messzeit pro Punkt. Eine möglichst lange Messdauer pro Punkt vermindert das Rauschen und das spürt man anschließend bei der DUT (= device under test) – Messung!**

Da kann man sich nun verschiedene Konfigurationen für bestimmte Messaufgaben unter passenden Namen abspeichern und die später wieder aufrufen. (Aber meist verliert man irgendwann den Überblick...deshalb lieber jedesmal neu kalibrieren....da ist man dann sicher, dass alles stimmt....).

---

**Fall c) = Master Kalibrierung (Anzeige = „MC“)**  
**(...den nehmen wir...)**



Wenn der **Messaufbau nie verändert wird** (...so haben wir das bei unserem aktuellen Projekt vor), **dann speichert man das Ergebnis der SOLT-Kalibrierung besser in einem „Master Calibration File“.**

Das hat den Vorteil, dass man **innerhalb des Sweep-Bereiches auch mal einen kleineren Bereich herauspicken und anzeigen kann**. In diesem Fall **interpoliert die Software**, falls wir nicht mehr genau auf die vorher in der SOLT-Kalibrierung festgelegten Messpunkte treffen – und es ist nicht gleich die komplette Kalibrierung (wie bei „Cal“) verschwunden. Aber da sollten wir dann auch bereits bei der Kalibrierung genügend Messpunkte einplanen.

**Es empfiehlt sich aber, beim Abspeichern des Master-Calibration-Files die wichtigsten Details (einschließlich Kabellängen) in den Dateinamen hineinzunehmen.** Sonst findet man später wieder nicht mehr....

So könnte dann ein solcher Dateiname aussehen:

**VNWA\_Mastercal\_1300M\_5001p\_40cm.cal**

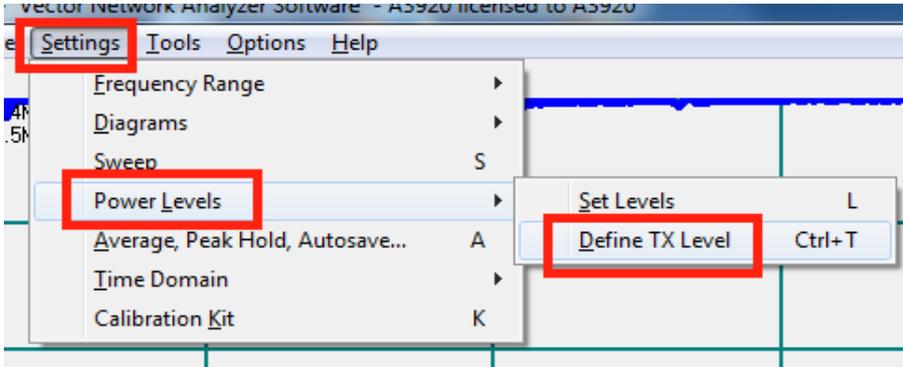
und dahinter versteckt sich eine Master-Kalibrierung bis 1300 MHz, mit 5001 Punkten und mit 40cm langen Messkabeln im Aufbau.

## 4.2. Einstellung und Anzeige des TX-Sendepegels

Bevor wir mit irgendwelchen Kalibrierungen oder Messungen anfangen, sollte man diese Einstellung vornehmen, denn

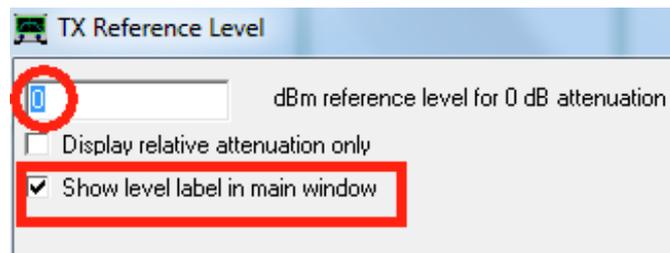
a) ein **zu hoher Eingangspegel** wird einen **Verstärker** übersteuern und wir wundern uns dann u. U. über die zu geringe Verstärkung sowie über irgendwelche unerklärlichen Effekte, die durch den Klirrfaktor (= erzeugte Oberwellen) entstehen.

b) Untersuchen wir dagegen **Filter**, dann führt ein **zu kleiner Eingangspegel** sehr früh zu **starkem Rauschen im Sperrbereich**, da wir dann in die Nähe des VNWA3-Eigenrauschens geraten.

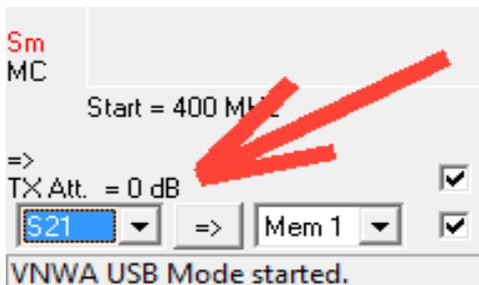


Wir wollen in den folgenden Kapiteln Filterschaltungen untersuchen und wählen deshalb einen **hohen Referenzpegel von Null dBm**.

Das geht so: Wir öffnen erst „**Settings**“, dann „**Power Levels**“ und schließlich „**Define TX Level**“.



Als Referenzpegel wird „**Null dBm**“ eingetragen und die Option „**Show level label in main window**“ gewählt.

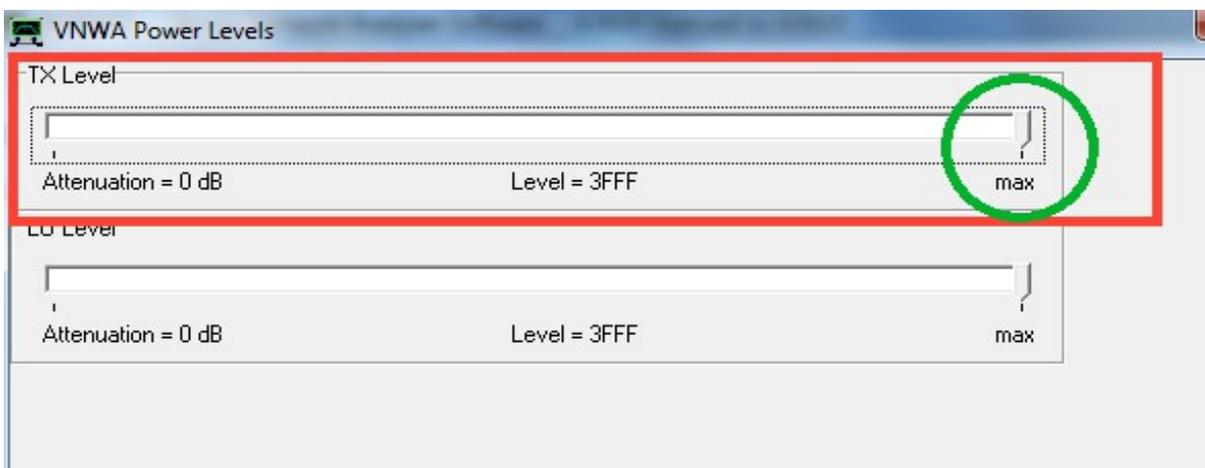


Dieser Referenzpegel kann nun vom Bildschirm aus abgeschwächt werden, um z. B. einen Verstärker nicht zu übersteuern.

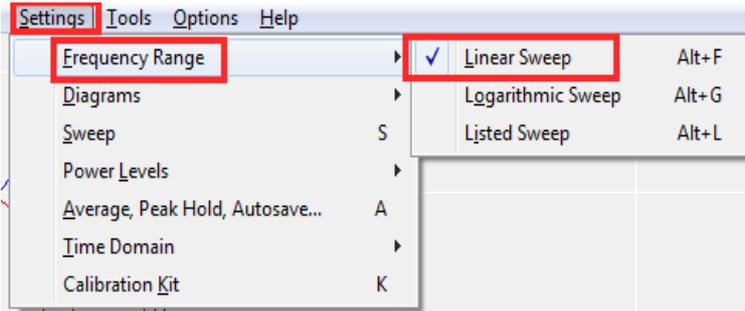
Dazu klickt man doppelt auf diese Anzeige der „TX Attenuation“.....

...und kann nun über den grün markierten Schieberegler den **Ausgangspegel an der TX-Buchse einstellen**.

**(Bitte – außer bei Verstärkern – den Regler immer auf Maximum schieben!)**

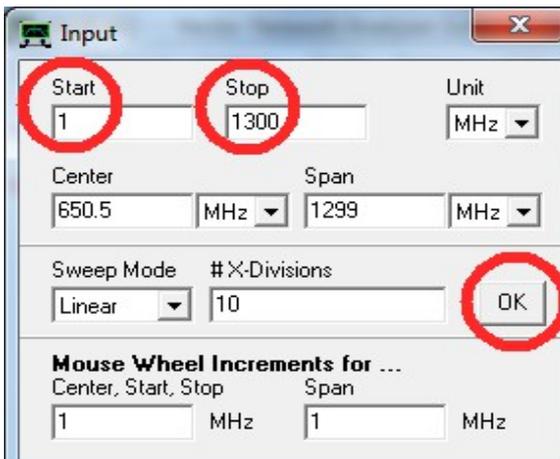


### 4.3. Sweep-Einstellungen



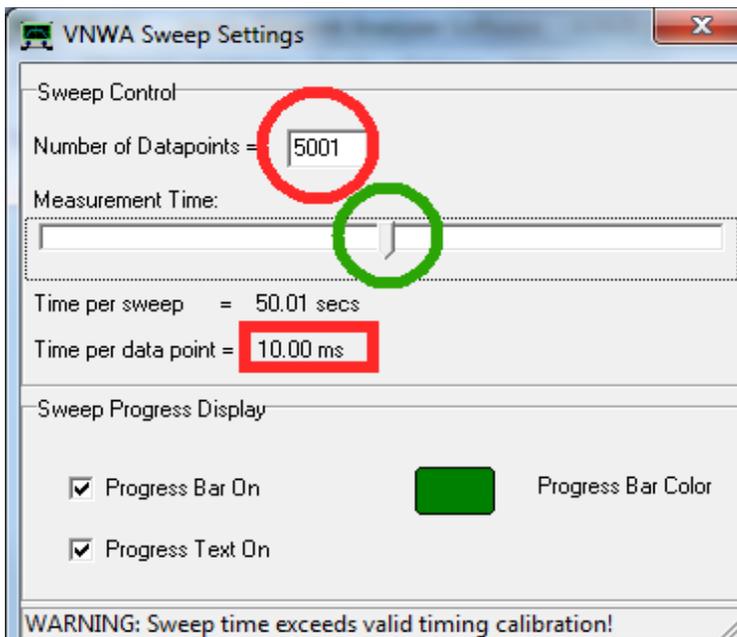
Wir wollen den kompletten Bereich von **1 MHz bis 1300 MHz mit 5001 Messpunkten** kalibrieren und starten dazu mit der Sweep-Einstellung.

Da wird unter „**Settings**“ in der Menüleiste der „**Frequency Range**“ angeklickt und „**Linear Sweep**“ aktiviert.



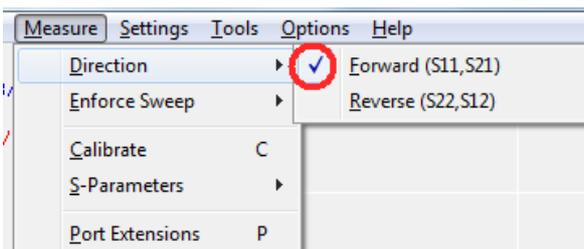
Da öffnet sich diese Maske, in der wir „**Start = 1 MHz**“ und „**Stop = 1300 MHz**“ eintragen müssen.

Die übrigen Einstellungen lesen wir nur durch. Aber bei „**#X-Divisions**“ achten wir darauf, dass die Frequenzachse auch wirklich in **10 Divisions** aufgeteilt wird.



Jetzt geht es nochmals in den Menüpunkt „**Settings**“, aber diesmal brauchen wir „**Sweep**“.

Es werden **5001 Messpunkte** gewählt, die **Messzeit pro Datenpoint** setzen wir mit dem Schieberegler auf **10 ms** (...Bei einer kürzeren Zeit wären wir früher mit der Messung fertig, aber längere Messzeit mittelt das Rauschen besser aus).



Schließlich rufen wir unter „**Measure**“ die Messrichtung der S-Parameter auf und wählen „**Forward**“.

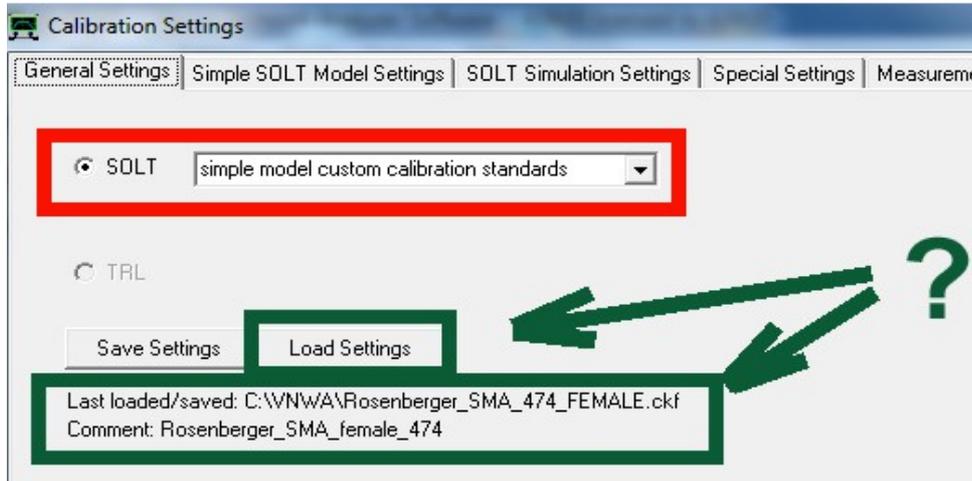
## 4.4. SOLT-Kalibrierung im Frequenzbereich von 1 MHz bis 1300 MHz

### 4.4.1. Laden der Calibration Settings

**SOLT (= Short / Open / Load / Through)** ist ein Standard-Kalibrierverfahren, bei dem der Messplatz nacheinander diese

**vier „Kalibrier-Standards“ zu sehen bekommt.**

Es werden dann die Abweichungen vom Ideal erfaßt, gespeichert und bei anschließenden Messungen entsprechende Korrekturen vorgenommen.



Unter „**Settings**“ finden wir „**Calibration Settings**“ und dazu gehört dieses Menü.

Es wird **SOLT** aktiviert und im rot markierten Pull-down-Menü

**simple model custom calibration standards**

eingestellt.

Der nächste Schritt ist das **Laden der Settings mit den Eigenschaften aller Kalibrierstandards**, die in einer passenden Datei abgelegt werden müssen (= grüne Felder).

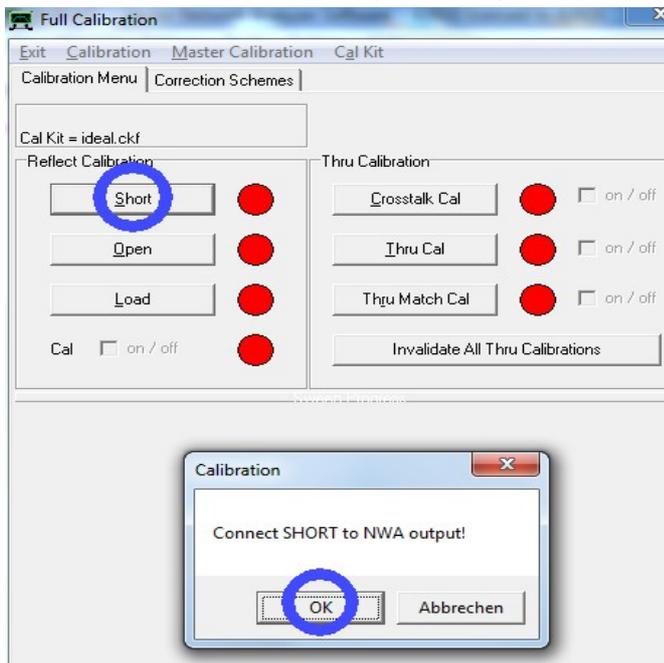
### **Achtung:**

**Beim ersten Mal** steht uns diese Datei noch nicht zur Verfügung und wir müssen sie selbst erstellen.

In diesem Fall bitte gleich in den **Anhang** wechseln und die nötige Aktion nach der dort zu findenden Anleitung ausführen!

## 4.4.2. Ablauf der SOLT-Kalibrierung

Dann geht es unter „Measure“ mit „Calibrate“ weiter und jetzt wird es ernst. Fangen wir mit der **Short-Kalibrierung** an. Dazu schraubt man erst an das offene Ende des am „Tx Out“ angeschlossenen SMA-Messkabels den **Kurzschluss (= „Short“)** in **FEMALE-Ausführung auf**.



Ein Klick auf „**SHORT**“ (im blauen Kreis) fordert uns auf, den Kurzschluss an den Senderport anzuschließen (...haben wir ja schon....) und „**OK**“ startet die Short-Kalibrierung.

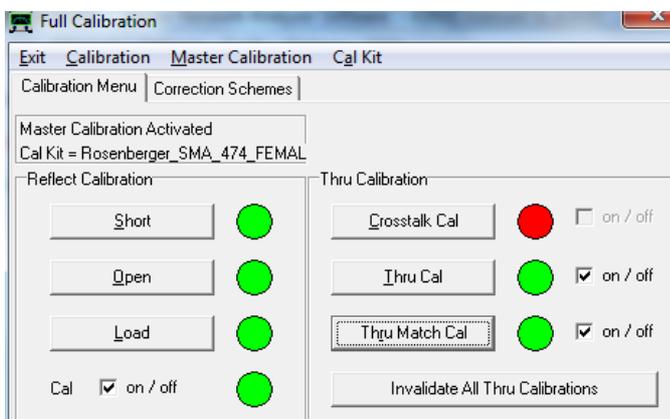
Hat das funktioniert, dann verändert der Kreis neben der „Short“-Taste seine Farbe und wird grün.

Anschließend wiederholen wir diese Prozedur mit „**LOAD**“ (= mitgelieferten 50 Ω – Widerstand aus dem Kit aufschrauben).

Dann wird die Load entfernt und **nichts am Kabelende angeschlossen (...denn das Innere des SMA-Steckers soll ja unsere Bezugsebene sein)**. Damit führen wir in gleicher Weise die „**OPEN**“-Kalibrierung durch .

Jetzt verbinden wir die beiden Kabel ( am TX-Ausgang und am RX-Eingang) über eine SMA-Kupplung – so haben wir den „**THROUGH**“ vor uns.

Ein Druck auf „**Thru Cal**“ startet den nächsten Kalibrierprozess und wir schließen die ganze Aktion mit einem Klick auf „**Thru Match Cal**“ ab.



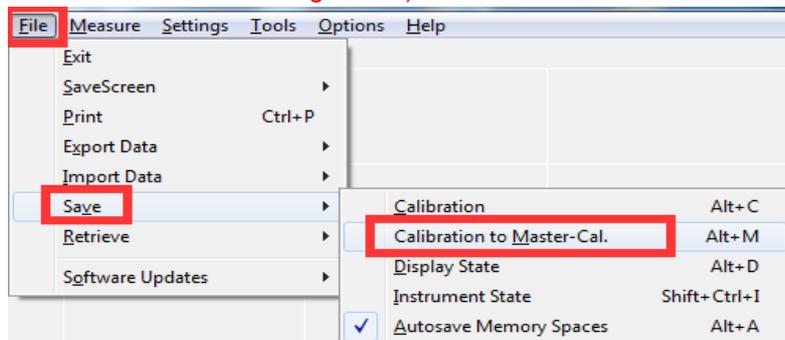
**Jetzt sollten diese Kreise in grüner Farbe leuchten!**

(Crosstalk Calibration wird nicht benötigt).

Ein Klick auf „**Exit**“ schließt nicht nur das Kalibrieremenü, sondern speichert auch automatisch die Korrekturwerte in der Datei „**VNWA-Cal.cal**“.

Doch damit wollen wir uns nicht zufrieden geben. Wir speichern nämlich diese Kalibrierdaten in einem zusätzlichen neuen **Master Calibration File** und geben im **File-Namen die Einstellungen für diesen Sweep an**.

(So können wir uns eine Sammlung anlegen und (wenn wir mit anderen Sweep-Bereichen oder Sweep-Geschwindigkeiten oder Messkabeln arbeiten) jederzeit die für diesen Anwendungsfall gültige Kalibrierung vor dem Start der Messung laden!)



Das ist die Prozedur:

Wir öffnen „**File**“ / „**Save**“ / „**Calibration to Master-Calibration**“

Nun kann das Ergebnis als **VNWA\_Mastercal\_101M\_1001p\_40cm.cal** gespeichert werden.

Fertig!

Und daran denken:

will man irgendwann mal wieder mit diesen Einstellungen und diesem Messaufbau sweepen, dann öffnet man VOR DER MESSUNG den Pfad

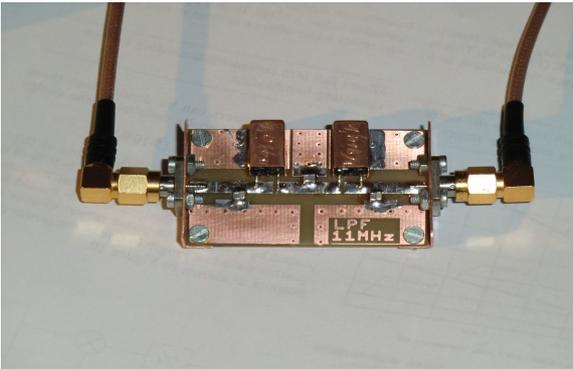
## **File / Retrieve / Master-Calibration**

Dort findet man alle bisher abgelegten Master-Calibration -Files und von dort kann man die gewünschte Version laden!

**Aber jetzt holen wir unseren Tiefpass her und messen seine S-Parameter!**

## 4.5. Untersuchung des 11 MHz Low Pass Filters

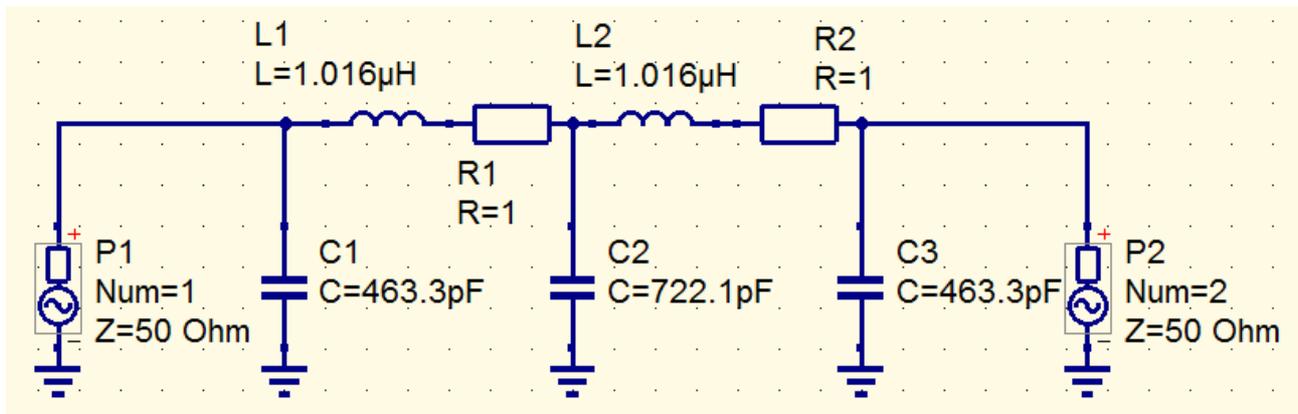
### 4.5.1. S11 und S21 im Bereich von 1 MHz bis 101 MHz



Nach der erfolgreichen SOLT-Kalibrierung entfernen wir die SMA -Kupplung (= THROUGH – Standard) zwischen den Kabelenden und fügen den Tiefpass ein (...dieses Bild haben wir schon mal gesehen...)

Zur Information:

Das ist der Stromlaufplan für die Filterschaltung aus Projektteil 1, wenn die Spulen-Verluste ( $Q = 75$  bei 11MHz) berücksichtigt werden:



Nun wieder zurück zum VNWA-Bildschirm.

Da schauen wir uns zuerst nacheinander die Informationen an, die wir in drei Ecken des Bildschirms finden.

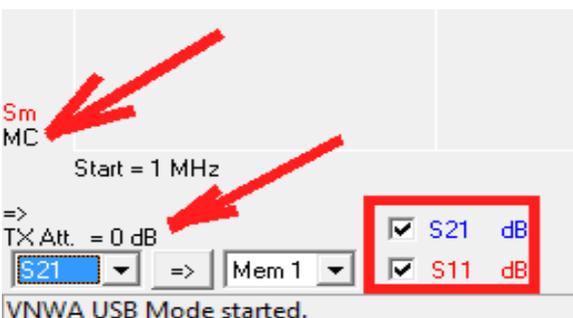
File Measure

10dB/

10dB/

Oben links sehen wir die **vertikale Skalenteilung** (in zwei verschiedenen Farben, getrennt für S11 und S21). Wir bleiben bei „10dB / Div“.

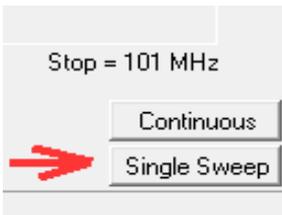
Diese Teilung kann durch einen Doppelklick auf den eingeblendeten Wert geändert werden, denn dann öffnet sich ein passendes Menü. Darin können wir auch die Referenzlinie verschieben.



Unten links finden wir die Einstellungen „**MC = Master Calibration**“, den vollen **Sendepiegel (TX Attenuation = Null dB)** und die Aktivierung der beiden Parameter **S11 und S21**.

Um einen Sweep von 1 MHz bis 101 MHz zu programmieren, öffnen wir **unter „Settings“ und „Frequency Range“ den „Linear Sweep“**. Der Start- und Stoppwert werden eingetragen und das Menü mit OK geschlossen.

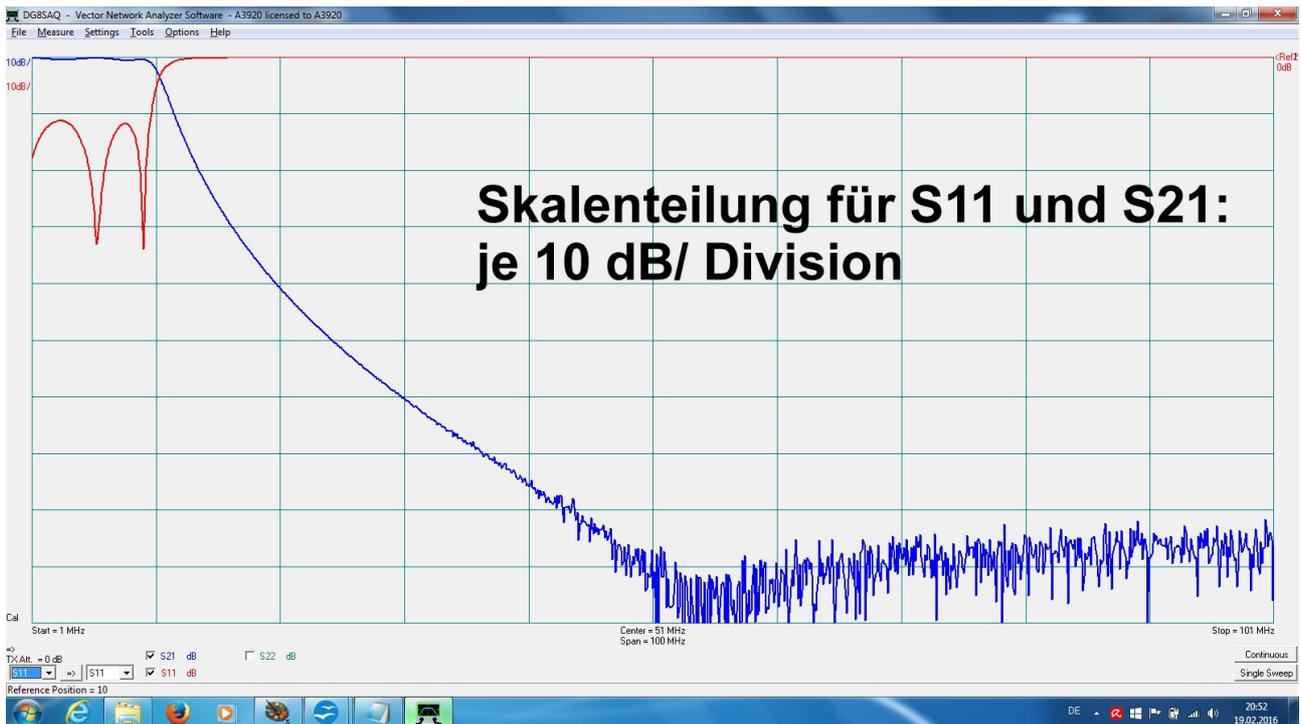
Und nochmals öffnen wir „Settings“, suchen aber diesmal die **Sweep-Einstellungen** auf. Wir arbeiten mit **1001 Punkten mit einer Messzeit von 10 ms pro Punkt-**



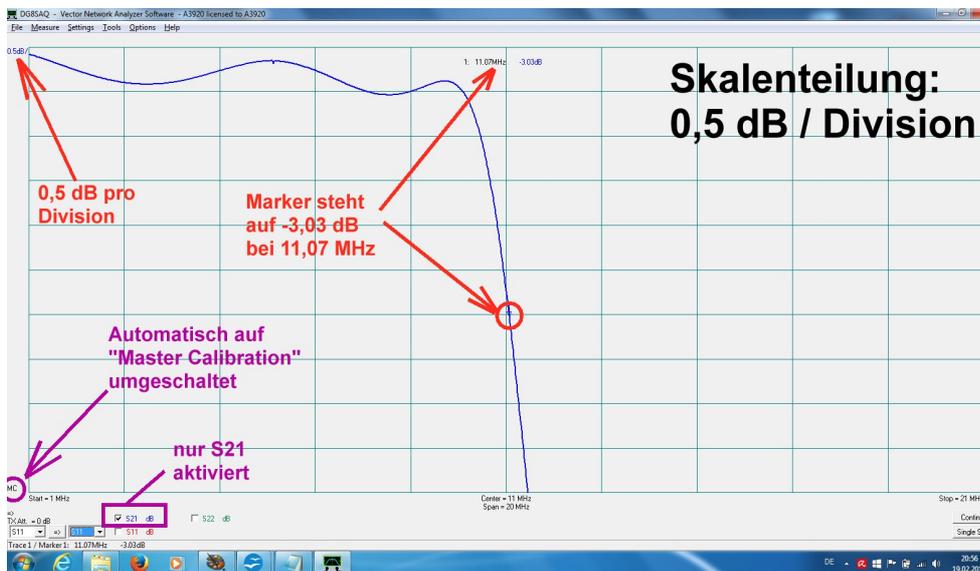
Ganz unten rechts haben wir die Start-Buttons. Wir können zwischen Einzel- und Dauermessung wählen **und starten einen Single Sweep**.

In der **rechten oberen Ecke** finden wir die **Anzeige der Referenzlinien für jede Kurve**. Die können wir bei Bedarf durch „Ziehen mit der Maus“ nach unten oder oben verschieben.

**Und jetzt wird simuliert!**



So ein Ergebnis gehört sich für einen anständigen Tiefpass:  
Eine schöne kleine Welligkeit im Durchlaßbereich und selbst bei 101 MHz noch eine Sperrdämpfung von mehr als 80 dB.



Doch nun wollen wir den Durchlaßbereich etwas genauer ansehen.  
**Wir programmieren dazu einen neuen Single Sweep von 1 bis 21 MHz, stellen die Teilung der vertikalen Achse bei S21 auf „0,5 dB / Div“ um, schalten die Darstellung von S11 aus und setzen hinterher einen Frequenzmarker zur exakteren Ablesung der „-3dB“-Grenzfrequenz“.**

Den Frequenzmarker bekommen wir, wenn wir mit der rechten Maustaste auf die Kurve klicken und „Add Frequency Marker / Normaler Marker“ wählen.

Sehr schön erkennt man das „S21-Ripple“ (= die sogenannten Tschebyschef-Wellen) im Durchlaßbereich. Sie schlängeln sich um eine mit der Frequenz ansteigende Grunddämpfung, an der die Spulenverluste schuld sind.

#### 4.5.2. Korrekter Abgleich der Filterkurve

Falls der Tiefpass nicht korrekt abgeglichen ist, sind die beiden „Höcker von S11“ unterschiedlich hoch und das „Tschebyschef-Ripple“ wird beim „höheren Höcker“ (= mehr Reflektion...) größer.

Zur Korrektur enthalten die beiden Spulen Abgleichkerne und die erforderliche Prozedur läuft so ab:

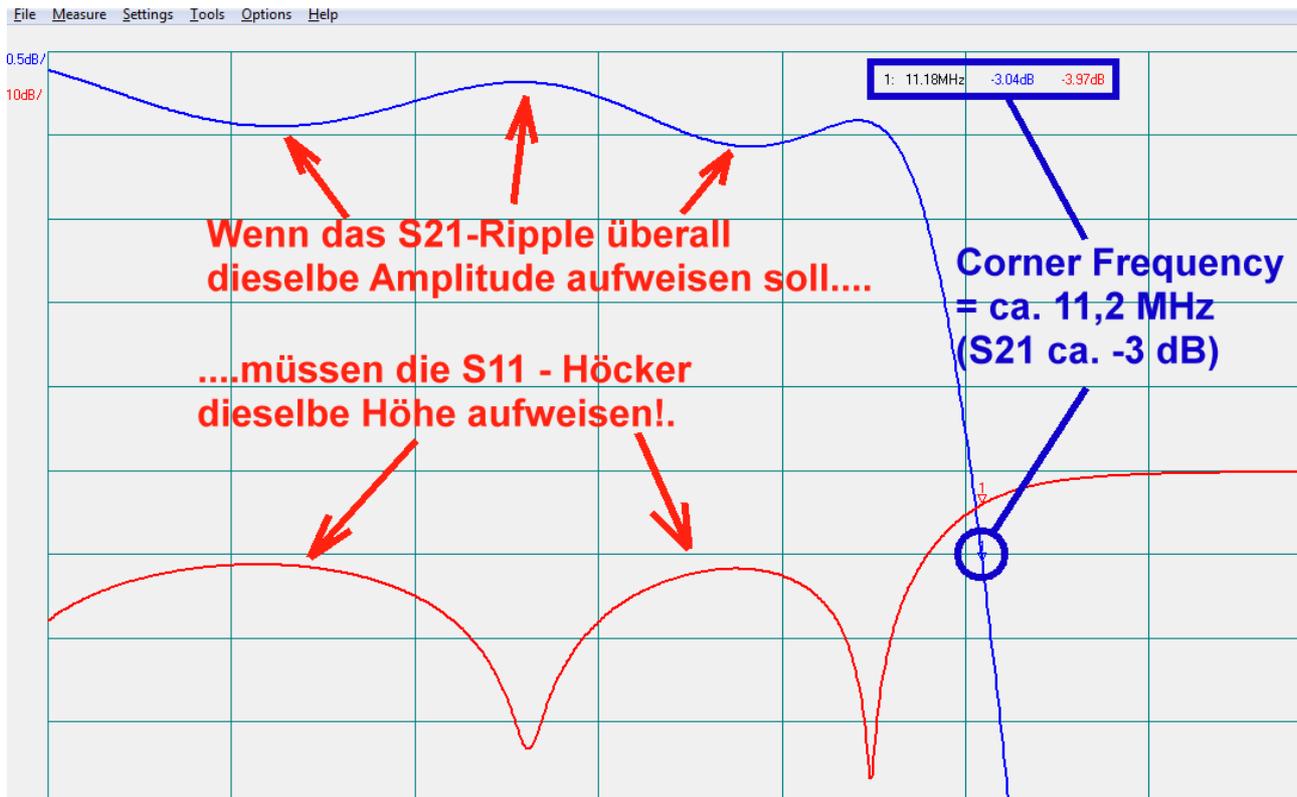
a) Wir wählen beim **Sweep** einen **Frequenzbereich von 1 MHz bis 21 MHz** und zeigen **S11** und **S21** an.

b) Wir stellen die **vertikale Skalenteilung von S21** um auf **„0.5dB / Div“**, ihre **Referenzlinie** muss auf **„10“** stehen.

**Die S11-Teilung** soll **„10dB / Div“** sein. Die **Referenzlinie der S11 – Kurve** selbst wird auf die **Position „5“** (Mitte des Diagramms) verschoben.

c) Nun wird auf eine Anzahl von nur 300 Punkten mit 1 oder 3,33 ms pro Punkt umgestellt und dann ein **„Continuous Sweep“** gestartet.

d) Jetzt wird der Kern der ersten Spule z. B. um maximal  $\frac{1}{4}$  Umdrehung hineingedreht und die Auswirkung bei S11 beobachtet. Dann dreht man genau so an der zweiten Spule und schaut sich die Wirkung an. So wird abwechselnd an den Kernen gedreht, bis man das beste Ergebnis erzielt hat = **beide S11 – Höcker gleich hoch**.



Die **3dB-Grenzfrequenz** ermittelt man hinterher – nachdem man den „Continuous Sweep“ durch einen Klick auf diesen Button gestoppt hat – über einen „Normalen Frequenzmarker“. Sie beträgt ca. **11,2 MHz**.

Bei der blauen S21-Kurve sieht man außerdem, dass die **höchste Dämpfung im Durchlaßbereich** gerade einen Wert von **0.6 dB** hat.

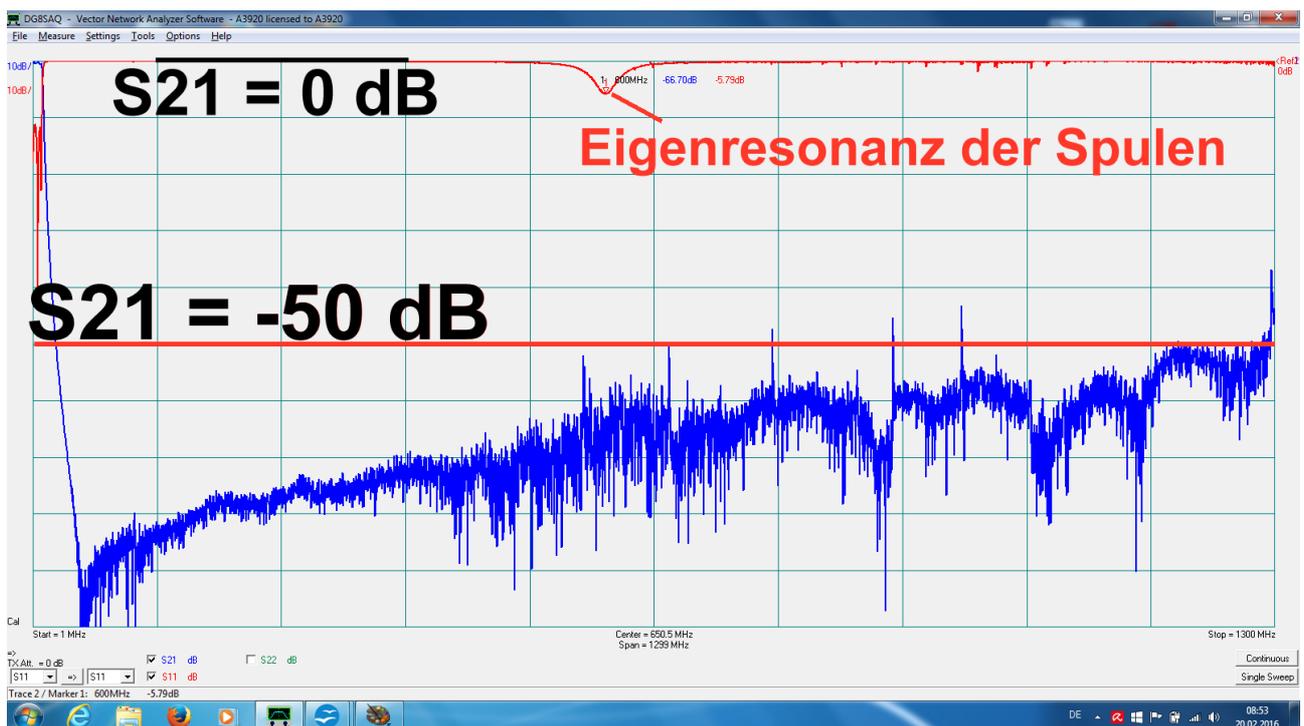
### 4.5.3. Ermittlung der „Weitab-Selektion“ (= Sperrdämpfung) bis 1300 MHz

Zur Lösung dieser Aufgabe sind folgende Schritte erforderlich:

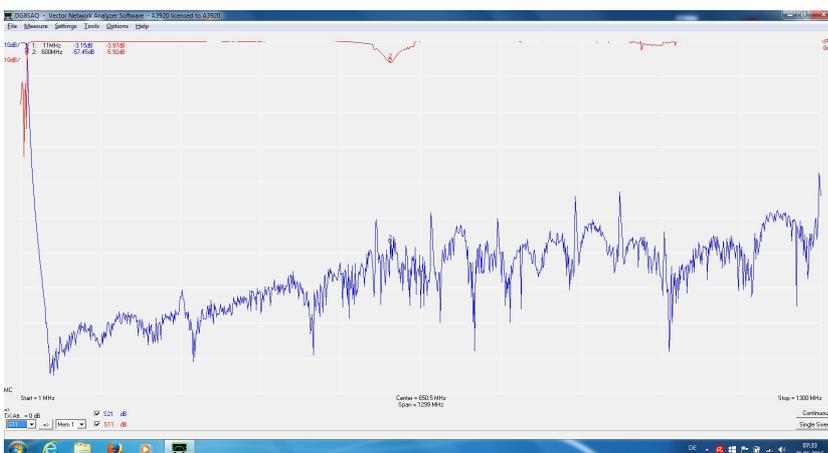
- Stellen Sie nun den „Frequency Range“ auf 1 MHz bis 1300 MHz um
- Stellen Sie die Punktezahl unter „Sweep“ auf 5001 und wählen Sie 3.33 ms Messzeit pro Punkt
- Starten Sie einen **Single Sweep**

**Vergleichen Sie** Ihr Simulationsergebnis mit diesem Screenshot:

Die angezeigte Sperrdämpfung ist **bis 1300 MHz höher als 50 dB**. Bis  $f = 100$  MHz erreicht man sogar



einen  $S_{21}$ -Wert kleiner als  $-80$  dB. Bei  $f = 600$  MHz zeigt  $S_{11}$  einen kleinen „Fips“, der durch die (identischen) Eigenresonanzen der beiden Spulen verursacht wird.



Noch eine Information:

Das „Rauschen“ kann man auch durch „**Smoothing**“ reduzieren. Diese Option findet man unter „**Settings**“ und **Average**“. Bitte mal die Schieberegler für Trace 1 und Trace 2 verstellen und nochmals simulieren.

Zum Vergleich sollte man auch mal mit einer kleineren Punktezahl simulieren. **Hier folgt das Ergebnis für 1001 Punkte:**

#### 4.5.4. Speichern und Ausdrucken des Ergebnis-Bildschirm

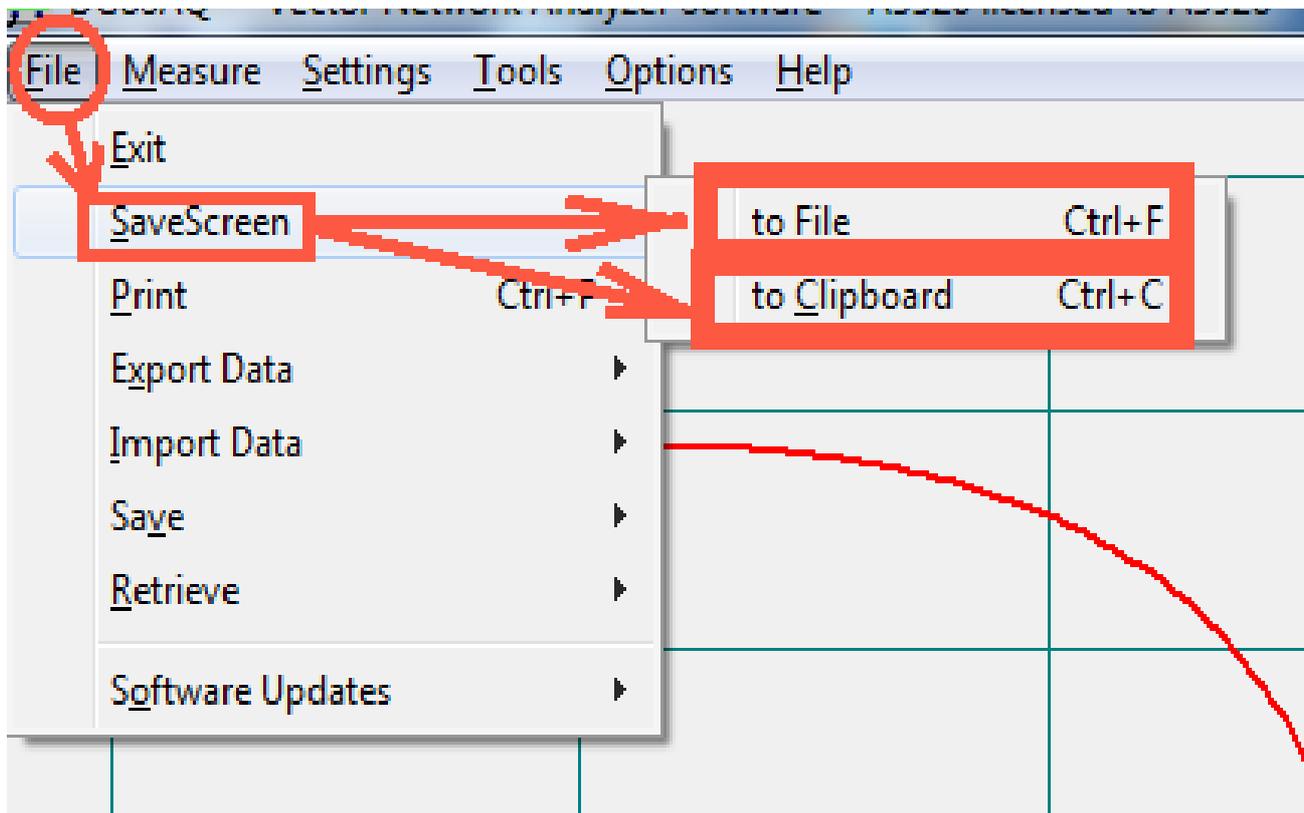
Das ist nicht schwer:

Unter „**F**ile“ gibt es die Option „**S**ave **S**creen“.

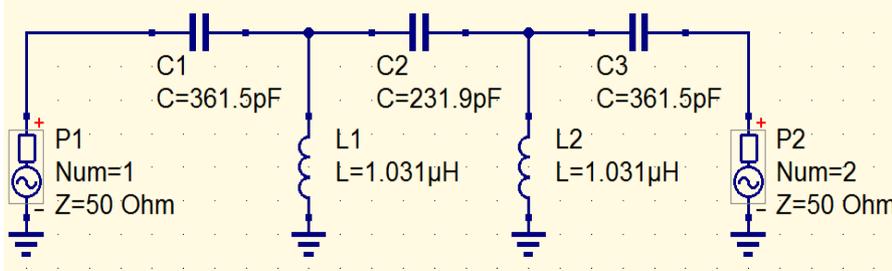
Das eröffnet uns zwei Möglichkeiten.

Entweder wir speichern den Bildschirm mit einem **von uns gewählten Namen in einem beliebigen Verzeichnis**.

Oder wir schieben das Bild einfach ins **Clipboard** und können es dann mit einem Grafikprogramm weiter bearbeiten.

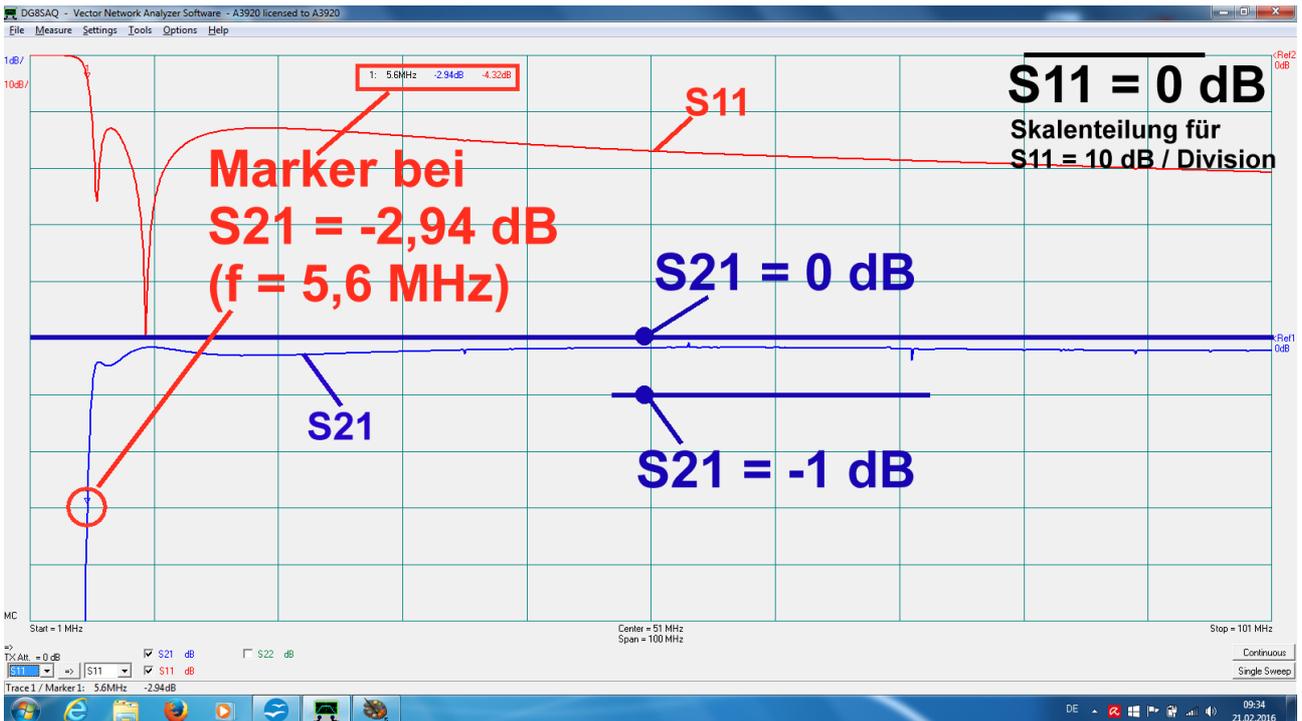


## 4.6. Untersuchung des 6 MHz - Hochpassfilters

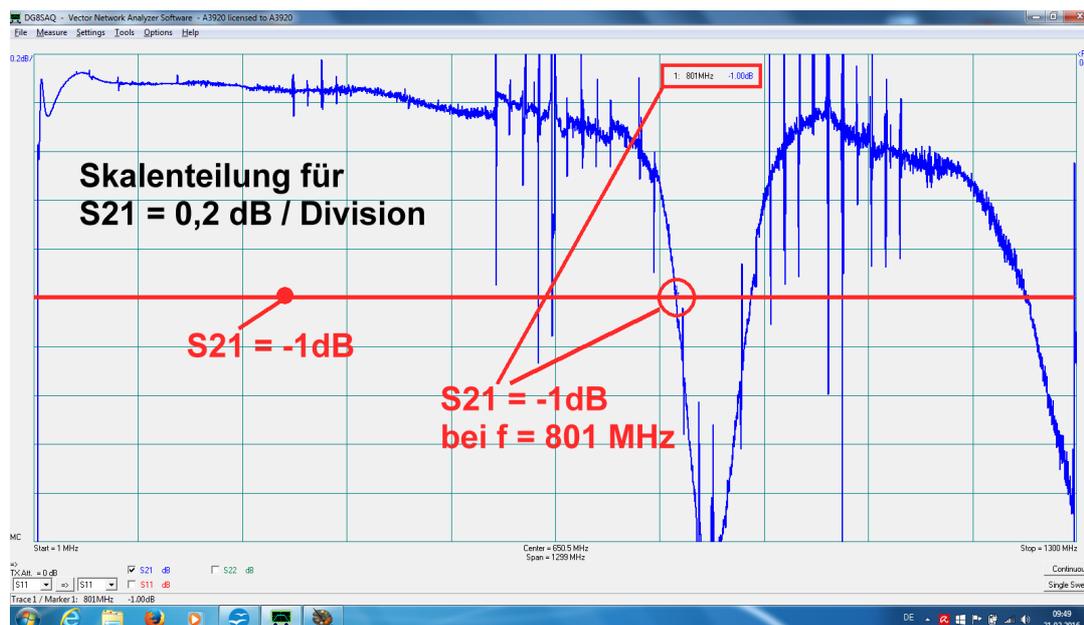


Zunächst wieder die verwendete Schaltung:

Wir brauchen wieder einen Sweep von 1 MHz bis 101 MHz mit 1001 Punkten und starten die Simulation. Er liefert dieses Ergebnis:

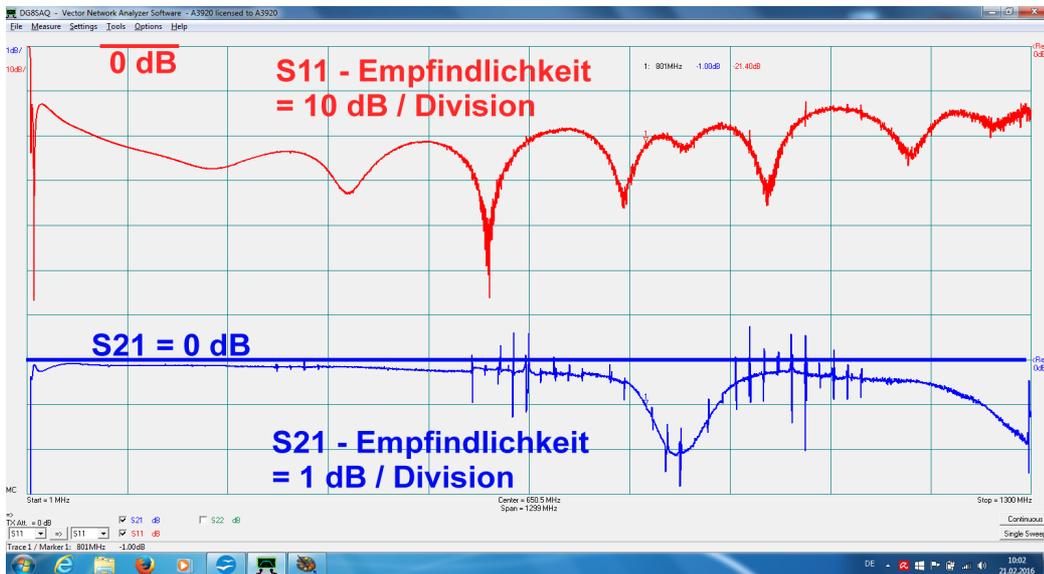


Auch eine Simulation von 1 bis 1300 MHz mit 5001 Punkten ist kein Problem.



Sie zeigt uns, wie niedrig die Dämpfung im Durchlaßbereich bis zu hohen Frequenzen verläuft. Erst bei ca. 800 MHz sinkt S21 auf **-1 dB**. Dann folgt wieder die Eigenresonanz der Spulen.

So sehen S11 und S21 bis 1300 MHz aus:



Die Reflektion S11 bleibt bis 1300 MHz unter -13 dB.  
Und bei S21 stört nur das „Loch“ zwischen 800 und 900 MHz.

(Übrigens:

a) Die „Spikes“ im Verlauf von S21 sind durch das Arbeitsprinzip (z. B. Umschaltung von Grundwellenmessung auf Oberwellenmessung bei bestimmten Frequenzen oder Interpolationen usw.) bestimmt.

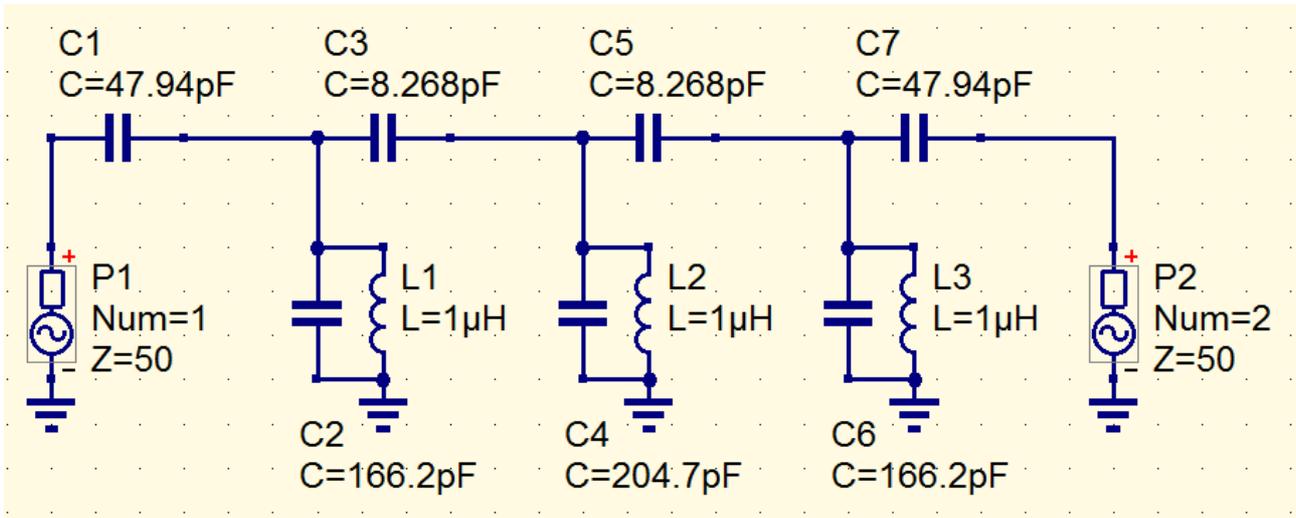
b) Auch hier gilt:

Bitte mal unter „Settings“ die Option „Average, Peak Hold, Autosave“ aufrufen und auf die Karteikarte „Smoothing“ gehen. Da gibt es für jede Kurve einen Schieberegler. Bitte mal ausprobieren, was eine „Aufdrehen“ des Reglers bei der zugehörigen dargestellten Kurve bewirkt!

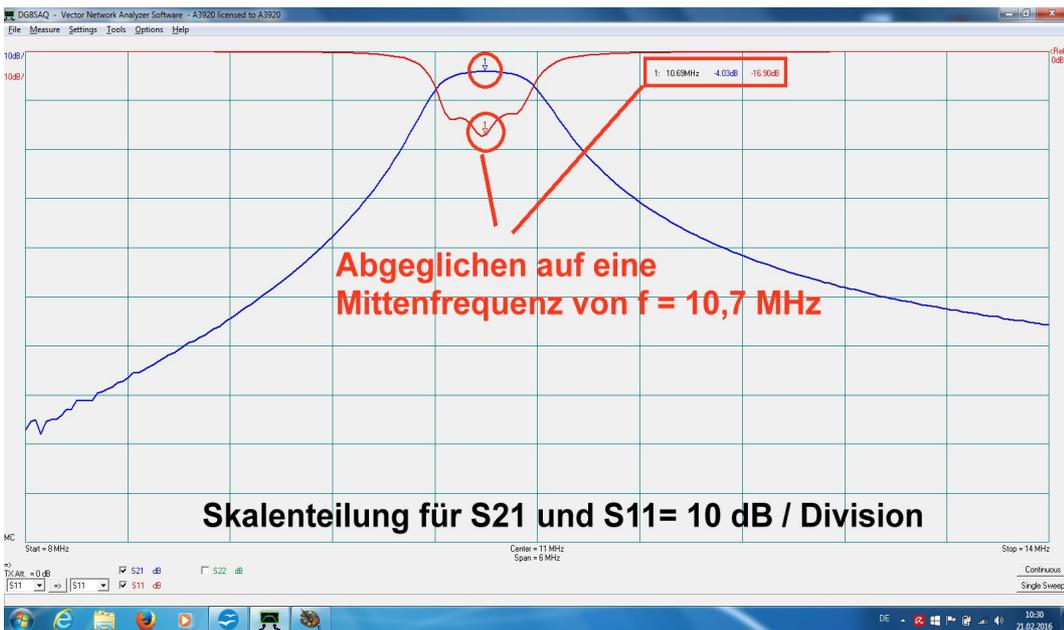
## 4.7. Untersuchung des Bandpasses für $f = 10,7 \text{ MHz}$

### 4.7.1. Das Durchlass-Verhalten

Auch hier zuerst zur Information die Schaltung aus Teil 2 des Laborprojektes:



Nun nehmen wir einen Sweep von **8...14 MHz** mit 300 Punkten und 2 ms Messzeit pro Punkt. Benutzt wird der „Continuous Sweep“.



Versuchen Sie, diesen Abgleich bei Ihrem Filter ebenso hin zu bekommen und verwenden Sie einen Marker zu Kontrolle der Mittenfrequenz!

(Warnung: es handelt sich um nur 1 / 10.....1 / 20 Kern-Umdrehungen...).

## 4.7.2. Einblendung der Simulation in das Messergebnis

Das ist eine hübsche Zugabe, denn da sehen wir gleich direkt

a) wie weit Simulation und Prototyp übereinstimmen und

b) wo wir an den Simulations-Vorgaben oder an der Schaltungsauslegung noch drehen müssen, damit diese Übereinstimmung perfekt wird.

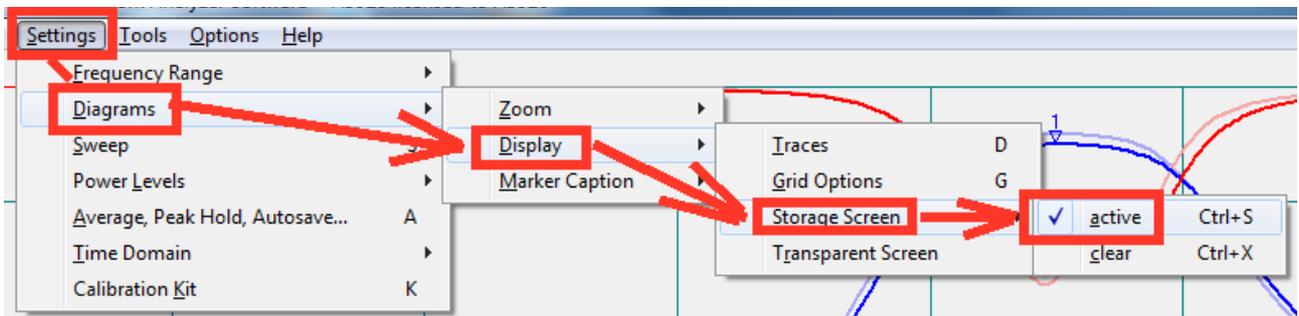
Im entsprechenden Download-Ordner meiner Homepage (bzw. im entsprechenden Transfer-Verzeichnis der Dualen Hochschule) findet sich dazu das passende mit qucsstudio simulierte S-Parameter-File des Bandpasses für diesen Frequenzbereich von 8....14 MHz. Es heißt

### BPF\_VNWA\_03.s2p

Laden Sie es herunter und kopieren Sie es in den VNWA-Programm-Ordner.

Dann geht es los:

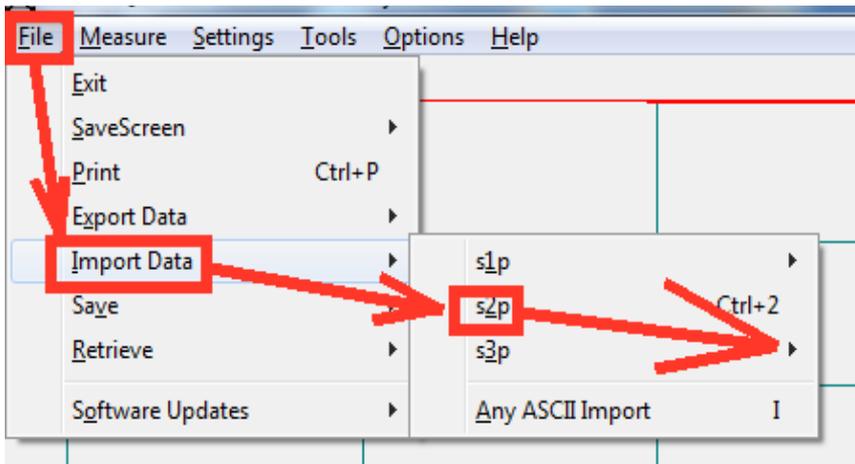
Zuerst müssen wir die „Bildschirm-Speicherung“ (storage screen) aktivieren:



Dann messen wir S11 und S21 unseres Bandpasses (= Sweep von 8....14 MHz) mit dem VNWA und zum Start der Messung reicht ein Druck auf die Leertaste der Tastatur.

Hinterher haben wir das schon bekannte Messergebnis vor uns:



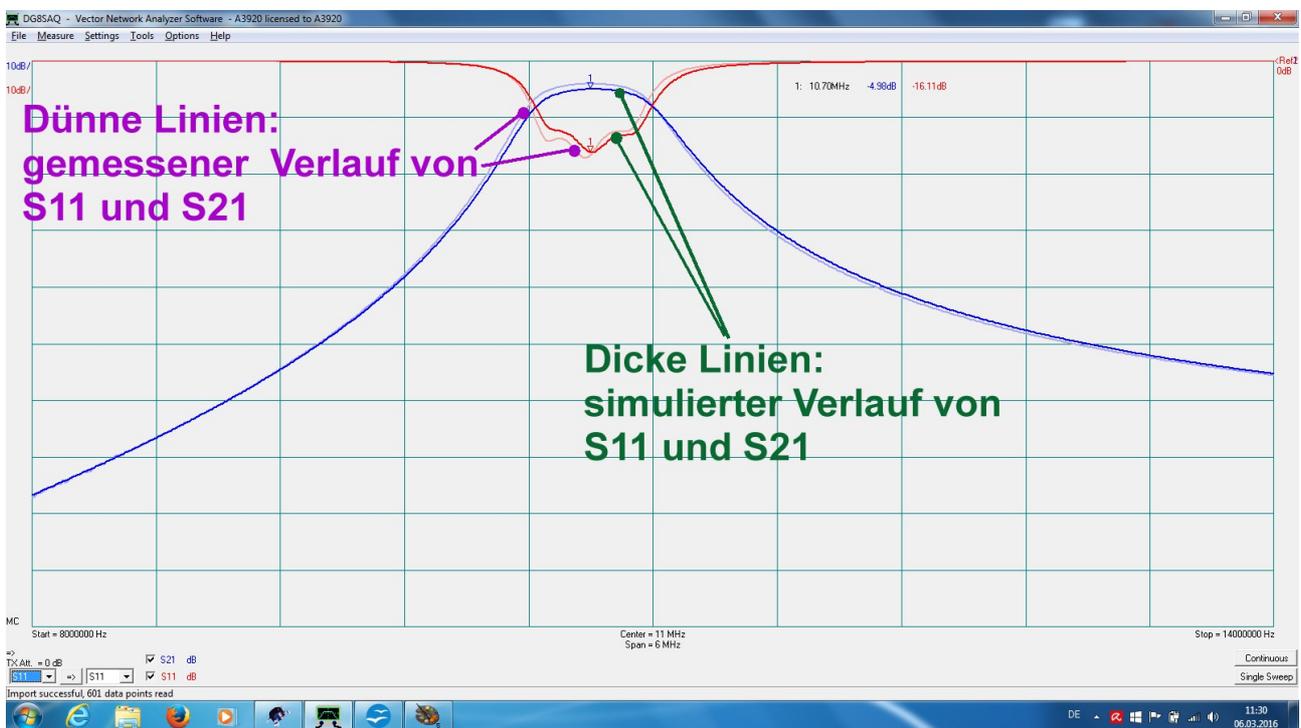


Jetzt wird es spannend:

Wenn wir auf dem nebenstehenden Weg beim von Ihnen gespeicherten File

**BPF\_VNWA\_03.s2p**

angekommen sind und das Einfügen starten, sollten wir folgendes Ergebnis erhalten:



Wenn man einen **Marker** setzt, kann man nun den gewünschten Vergleich von Messung und Simulation durchführen.

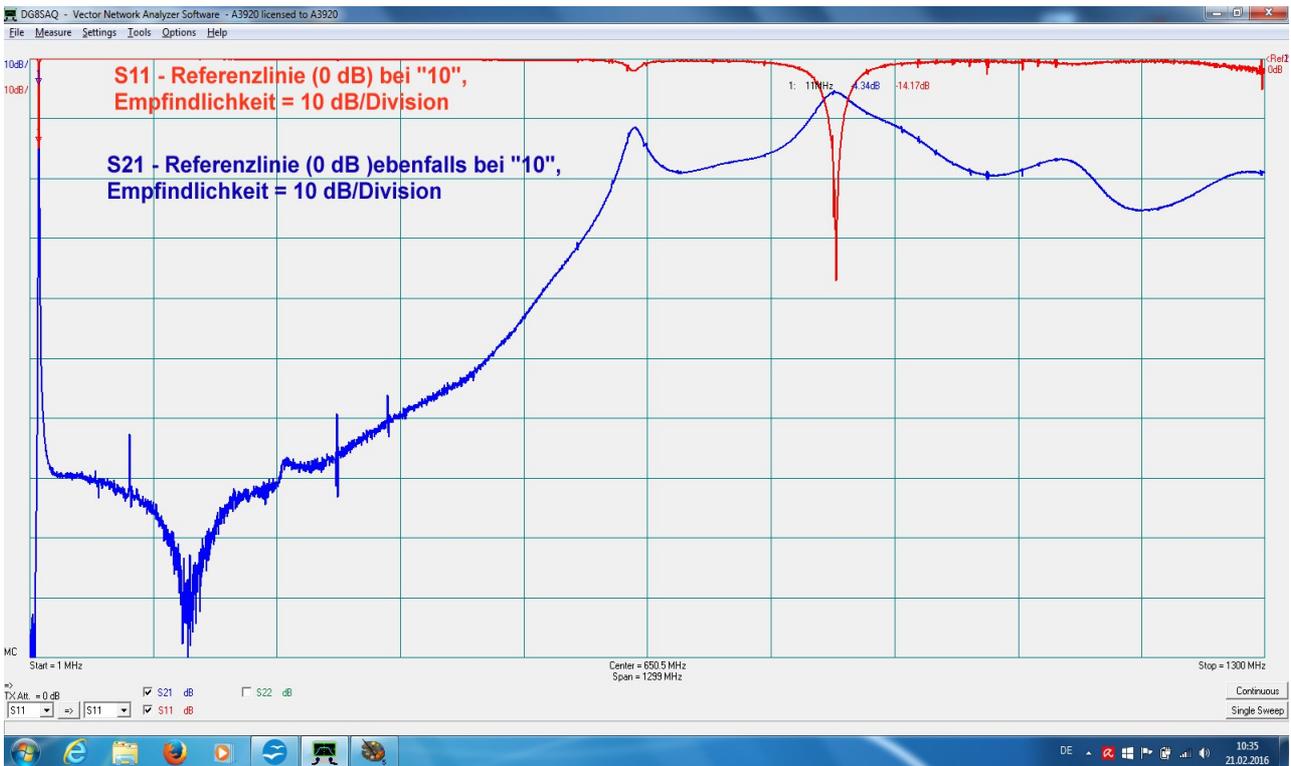
**Übrigens:**

Die **letzte vorher dargestellte Messkurve** können Sie mit **<CTRL> + <X>** löschen.

Und wenn Sie von diesem Spiel genug haben und zum normalen Bildschirm zurückkehren wollen, dann löschen Sie (Siehe vorige Seite) das Häkchen bei „Storage Screen active“.

### 4.7.3. Der Sperrbereich

Wenn Sie das alles geschafft haben, sollten Sie wieder die Weitab-Selektion von 1 bis 1300 MHz mit einem Sweep von 5001 Punkten ermitteln (...mit 3,33 ms pro Punkt).



Die mit einem normalen Frequenzmarker im Sperrbereich ermittelten Dämpfungswerte lauten:

Bei f = 200 MHz:	S21 = -75 dB
Bei f = 300 MHz:	S21 = -67dB
Bei f = 400 MHz:	S21 = -58 dB
Bei f = 500 MHz:	S21 = -47dB
Bei f = 600 MHz:	S21 = -25 dB

Bis ca. f = 500 MHz also ein sehr anständiger und brauchbarer Verlauf...

Aber man sieht doch sehr deutlich, ab wann die Eigenresonanzen der Filterbauteile die Sperrdämpfung brutal reduzieren.

## 5. Oft benötigt: Messergebnisse als s2p-File (Touchstone-File) speichern

### 5.1. Erzeugung mit dem VNVA3

Das ist das Standard-Format bei der Beschreibung der Eigenschaften eines Bausteines durch seine S-Parameter. Jeder Parameter wird hier in der Form „**magnitude plus phase**“ in einer Tabelle für einen bestimmten Frequenzbereich aufgelistet. Mit der kompletten Datei können nun Verläufe der Frequenzabhängigkeit dargestellt, Fehler gesucht oder Simulationen durchgeführt werden. Sehen wir uns an, wie wir für unsere Filterschaltung ein solches Touchstone-File erzeugen.

#### Schritt 1:

Wir schließen unserer Filterschaltung (z.B. unseren 10,7 MHz - Bandpass) an den VNVA3 an.

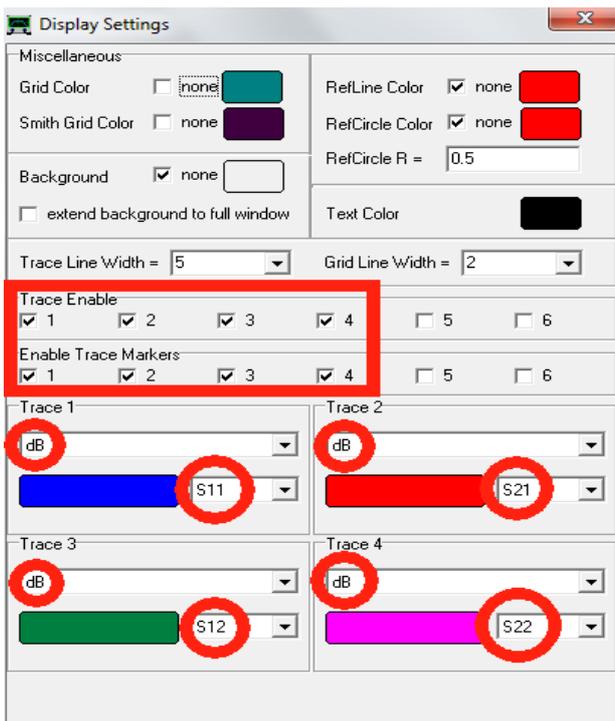
#### Schritt 2:



Im linken unteren Eck des Bildschirms müssen die vier S-Parameter (S11, S21, S12, S22) durch Häkchen aktiviert sein.

Ist das nicht der Fall, dann gibt es zwei Möglichkeiten:

a) wenn zumindest **ein Parameter sichtbar ist**, klicken wir doppelt darauf und öffnen dadurch das „Trace“-Menü.



Zuerst setzen wir **acht Häkchen**, um **4 Traces** und ihre **zugehörigen Marker zur Anzeige freizugeben** (= rotes Rechteck).

Dann werden nacheinander **den einzelnen Traces die vier S-Parameter (S11, S21, S12, S22) zugeordnet**.

Ausserdem können wir **jedem einzelnen Trace eine Farbe** nach Wunsch verpassen und eine Ausgabe in dB vorsehen (= rote Kreise).

b) Falls noch keiner der Parameter auf dem Bildschirm angezeigt wird, gehen wir so vor:  
Wir hangeln uns im Hauptmenü über

„**Settings / Diagrams / Display**“

bis zu „**Traces**“ durch. Dann empfängt uns das obige Diagramm für die Trace-Einstellungen und wir füllen es aus.

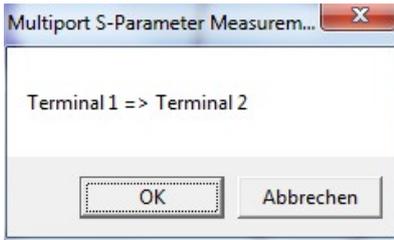
### Schritt 3:

Jetzt werden die Einstellungen für „**Frequenz**“ und „**Sweep**“ vorgenommen oder kontrolliert. Bei unserem 10,7 MHz-Bandpass interessiert der **Frequenzbereich von 5 MHz bis 15 MHz** und wir wählen einen **linearen Sweep mit 2001 Schritten**. Die **Messzeit bei jedem Schritt beträgt 22 ms**.

#### Ganz wichtig:

**Man sollte sicher sein, dass die SOLT-Kalibrierung für diesen eingestellten Frequenz- und Sweepbereich stimmt. Also entweder sicherheitshalber nochmals kalibrieren oder kontrollieren, ob das korrekte Master-Calibration-File verwendet wird. Sonst ist alles umsonst und das Ergebnis ist Schund...**

### Schritt 4:

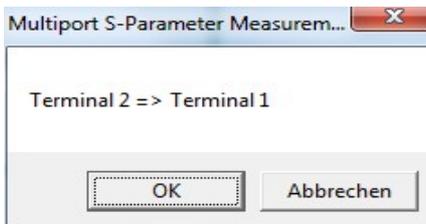


Nun geht es weiter mit

„**Measure / S-Parameters / 2-port / to memory F2**“

und wenn wir das bestätigen, erscheint diese Meldung. Sie besagt, dass die gemessenen Parameter als **S11 und S21** gespeichert werden und ein Klick auf OK löst sofort den Messvorgang aus.

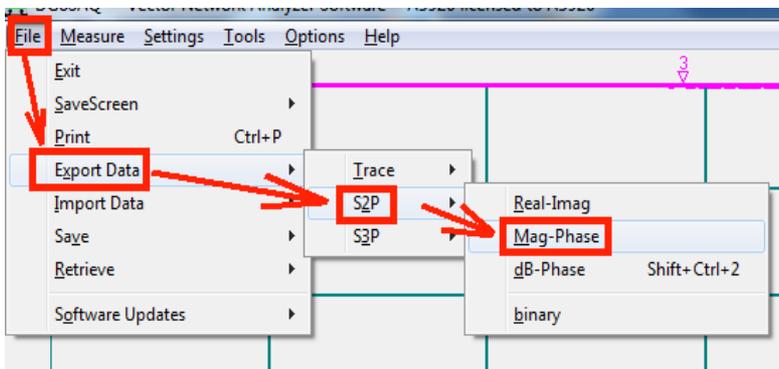
### Schritt 5:



Sobald der Messdurchlauf beendet ist, kommt automatisch diese Meldung.

Sie fordert uns auf, dem **Baustein umgekehrt anzuschließen**, damit die Ergebnisse der folgenden Messung korrekt als **S12 und S22 abgelegt werden**.

### Schritt 6:



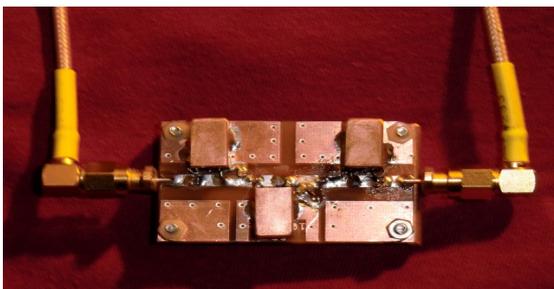
Jetzt müssen wir uns über

„**File / Export Data / S2P / Mag - Phase**“

und über einen darauf folgenden Kommentar bis zum **Abspeichern des Files durchhangeln**.

Nun haben wir es geschafft und können z. B. dieses File in ein qucs-Projekt kopieren. Dann kann man die komplette Messung und Simulation vergleichen oder andere

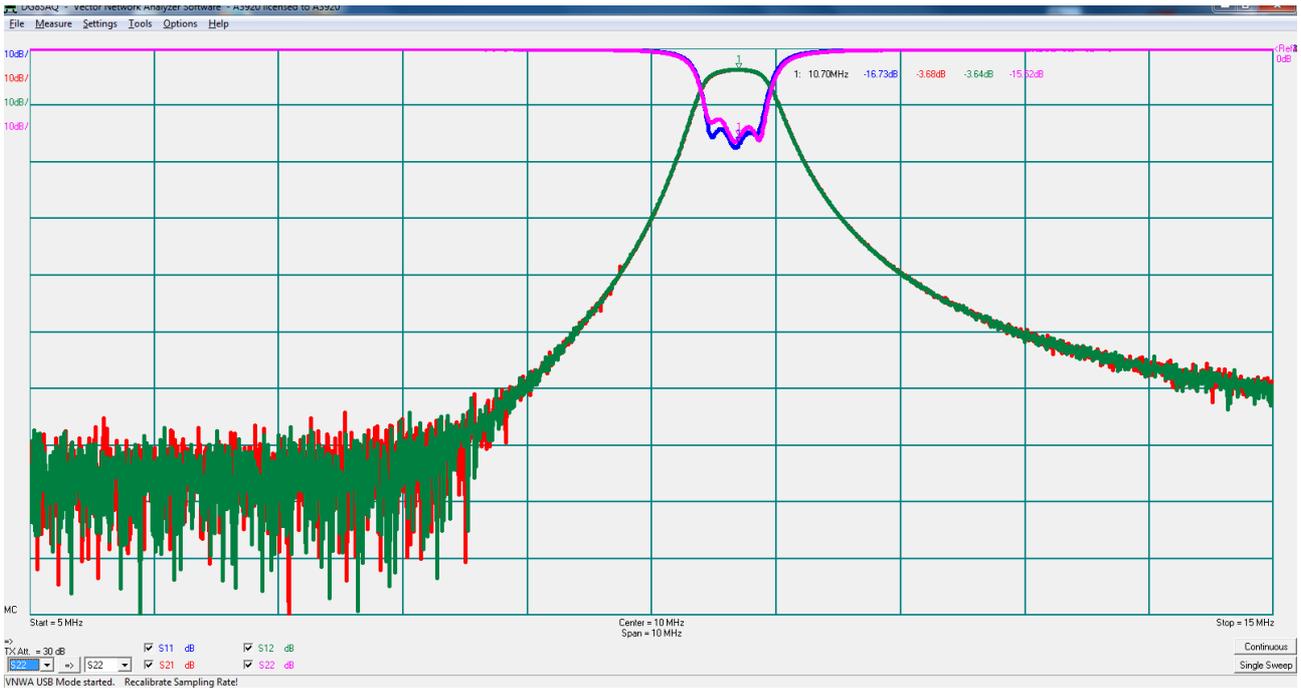
Sachen anstellen (...z. B. die ausgemessene Filterschaltung mit einem Verstärker kombinieren. Aber bitte aufpassen, dass man bei der Simulation nicht einen größeren Frequenzbereich wählt als bei der Messung...)



#### Zur Information:

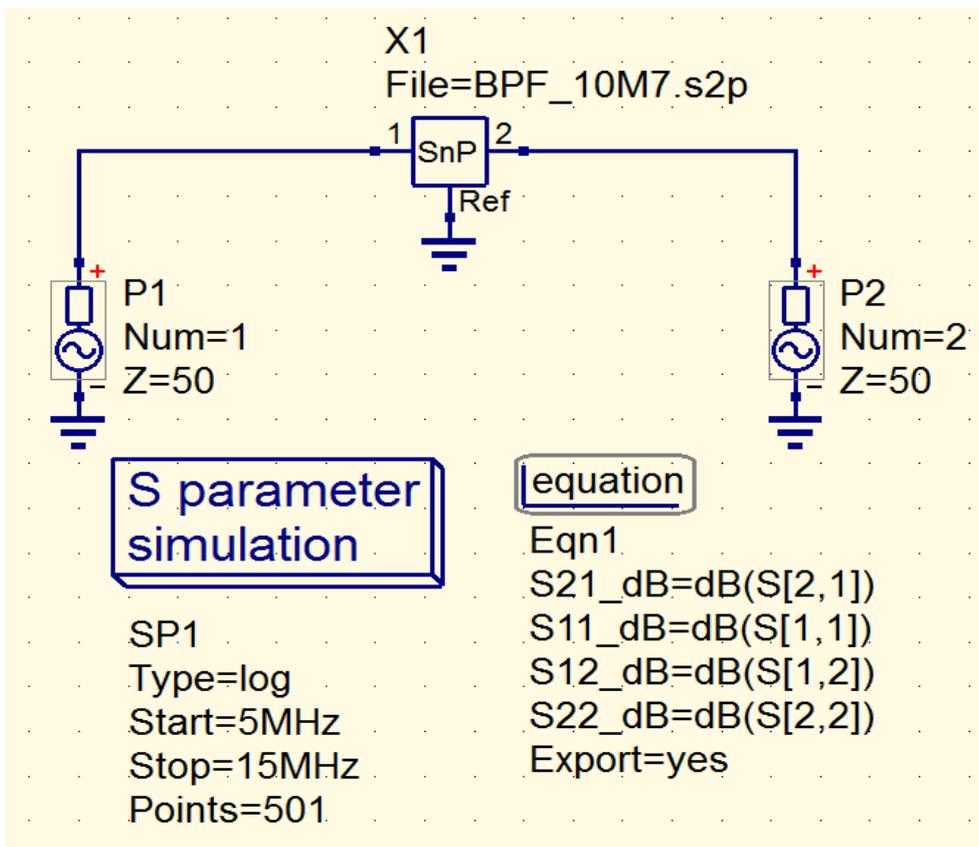
So sieht der Messaufbau aus....

.....und das ist der VNWA3-Bildschirm nach der S-Parameter-Messung:

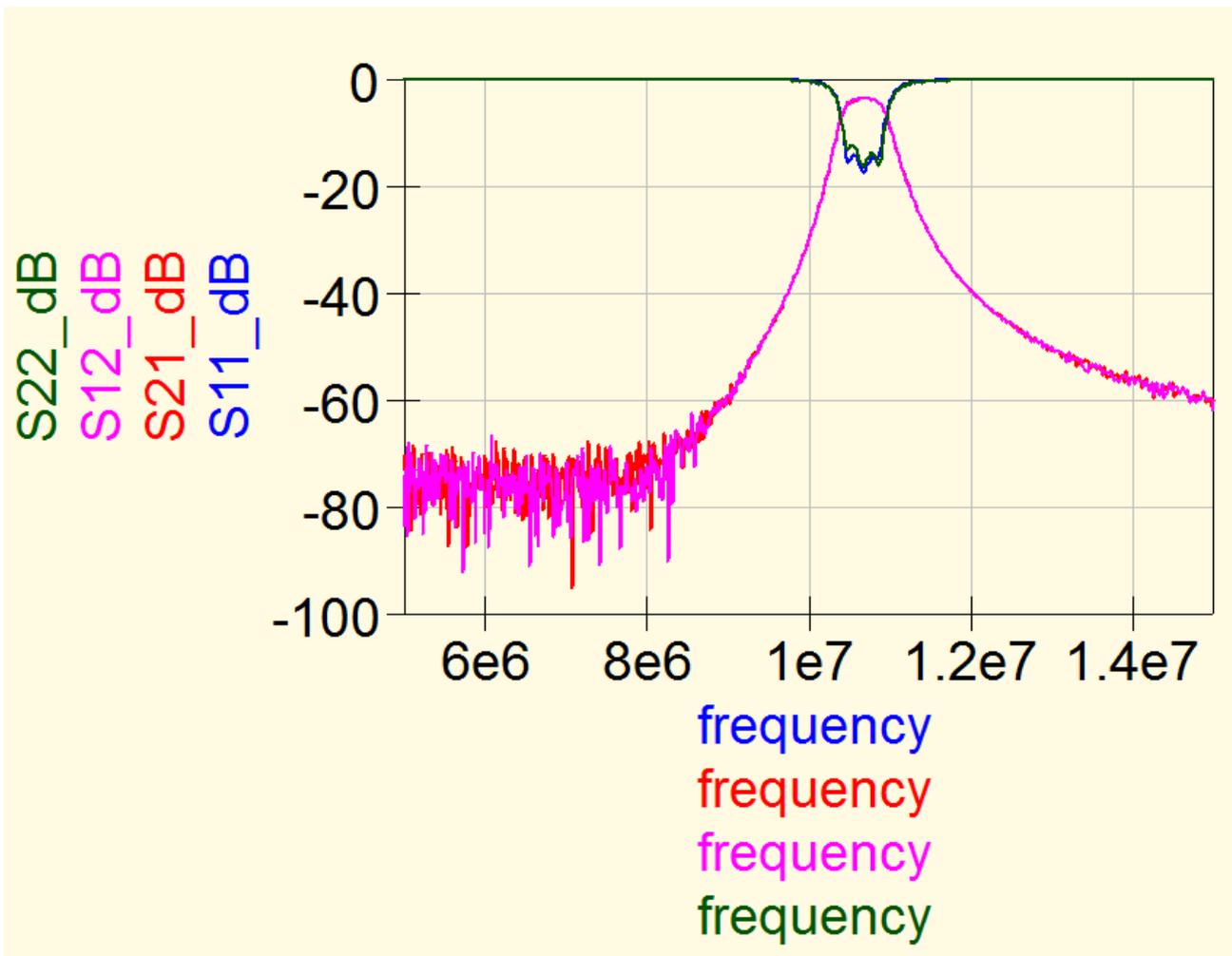


## 5.2. Kontrollsimulation mit qucsstudio

Dazu müssen wir in qucsstudio zuerst ein passendes neues Projekt anlegen und das eben erzeugte S-Parameter-File hineinkopieren. Anschließend wird diese Schaltung zusammengestellt.



Das liefert die Simulation und wir können es mit dem Entwurf des Bandpasses vergleichen.

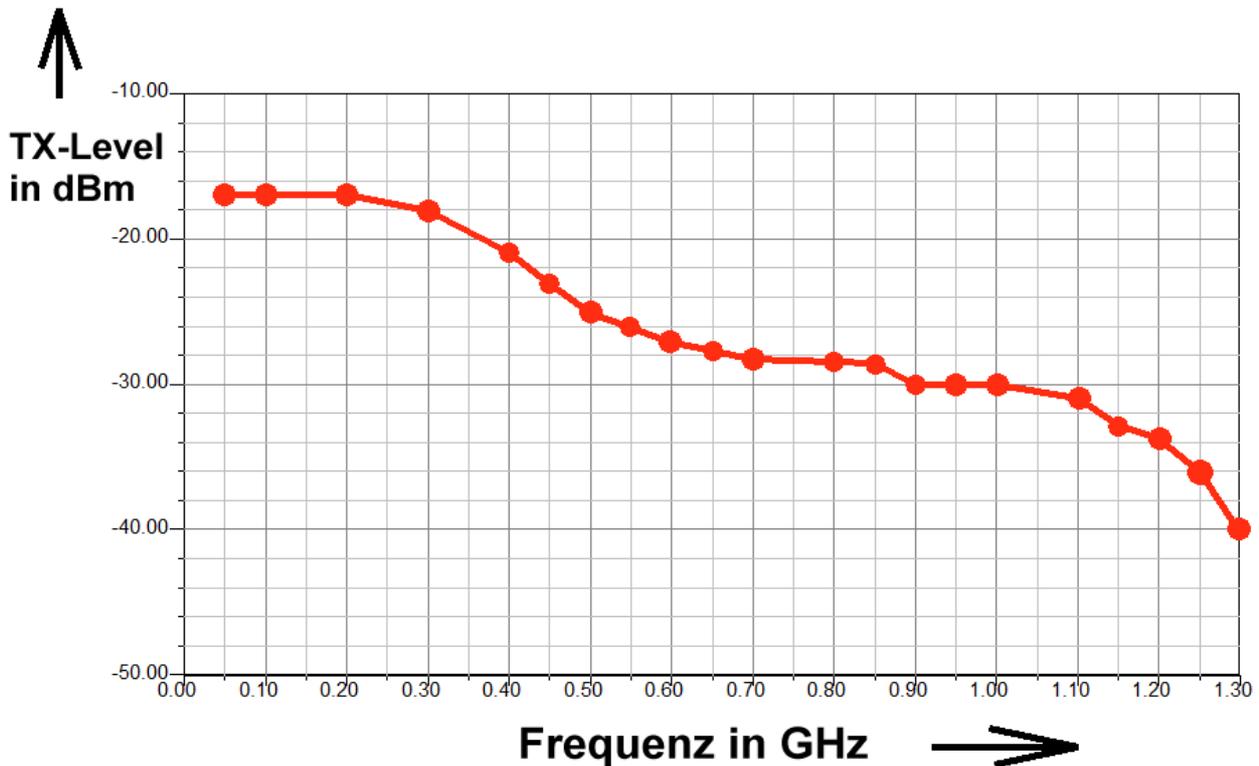


## 6. Wie komme ich zu einer optimalen Bildschirm-Anzeige (= richtige Einstellungen bei der Messung / Nachbearbeitung der Ergebnisse)

### 6.1. Welche Probleme erwarten uns?

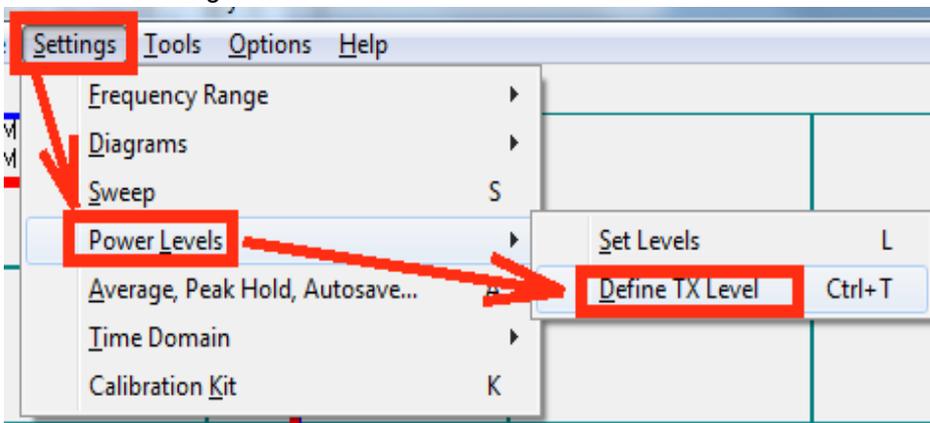
#### 6.1.1. Wie soll der TX-Pegel eingestellt werden?

Überlagertes Rauschen ist meist die am stärksten störende unerwünschte Beigabe beim Ergebnis auf dem Bildschirm. Über die Sache mit dem **richtigen Sendepiegel** haben wir bereits gesprochen. Hier folgt deshalb die Zusammenfassung der Empfehlungen:



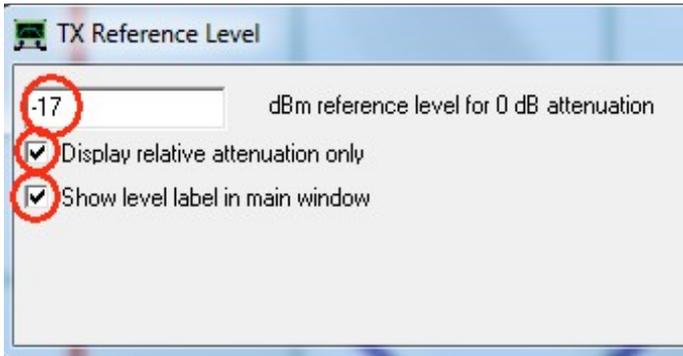
a) bei **passiven Schaltungen** (Filter, Koppler etc.) arbeitet man mit dem **höchsten möglichen TX-Sendepiegel**, damit im Sperrbereich der Schaltung das Eigenrauschen des Network-Analyzers nicht zu sehr stört. Er beträgt maximal **-17 dBm** und ist stark von der Meßfrequenz abhängig (Siehe obiges Diagramm).

b) Bei **aktiven Schaltungen** muss man den **Eingangspegel reduzieren**, um **Übersteuerung** (Folge: Begrenzung und Oberwellen) zu vermeiden. Dazu gibt es einen hübschen Schieberegler, mit seiner Hilfe kann der TX-Pegel um bis zu **50 dB abgeschwächt** werden. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten, die man je nach Anwendungsfall einsetzt.



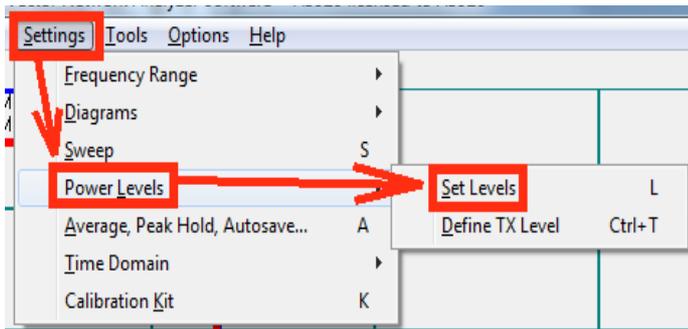
#### Fall 1:

Man schwächt den laut obigem Diagramm gerade zur Verfügung stehenden maximalen TX-Pegel ab und benützt dabei den bereits erwähnten Dämpfungsregler. Dazu öffnet man über „Settings / Power Levels / Define TX Level“ das nächste Menü.

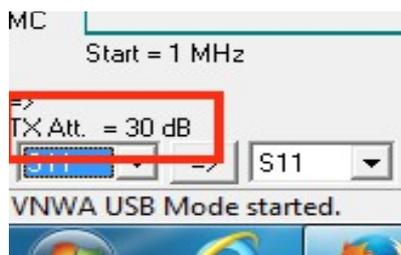


Darin setzen wir die beiden Häkchen für „**Display relative attenuation only**“ und „**Show level label in main window**“

Ausserdem tragen wir den bei tiefen Frequenzen in einem breiten Bereich gültigen TX-Referenz-Pegel von etwa -17 dBm im zugehörigen Fenster ein.



Öffnet man nun nochmals denselben Pfad und geht in „**Set Levels**“, dann taucht anschließend der gewünschte Schieberegler mit dem **Einstellbereich von 0...50 dB Dämpfung** auf.



Dabei wird die damit eingestellte Dämpfung in dB im linken unteren Eck des Bildschirms angezeigt.

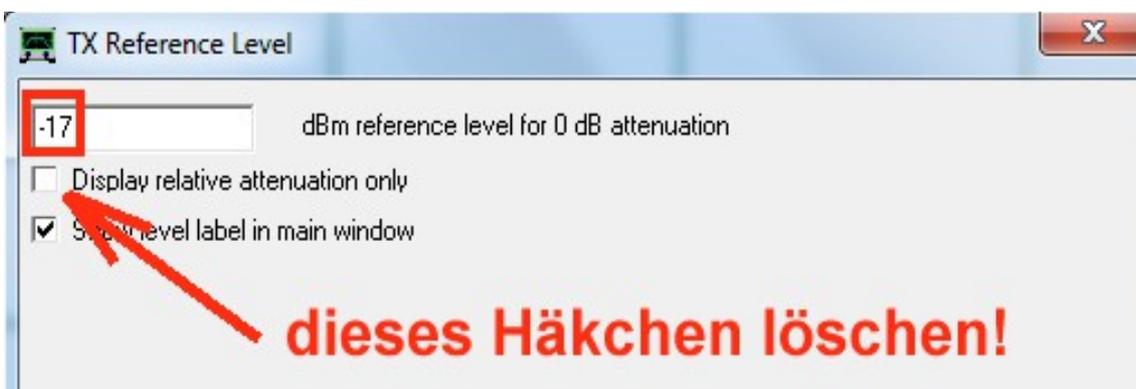
### Fall 2:

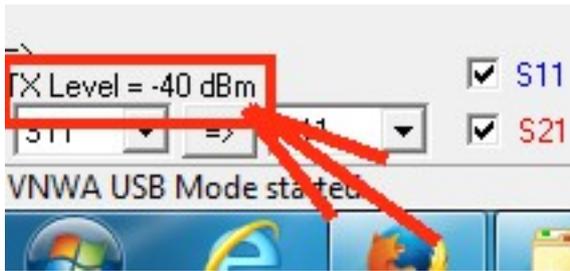
Wünscht man dagegen für die Messung in einem engen Frequenzbereich eine einigermaßen zutreffende **Anzeige des tatsächlich ausgegebenen TX-Pegels**, dann geht man so vor (Beispiel:  $f = 100 \dots 200$  MHz, benötigt werden -40 dBm).

a) Man liest im Diagramm auf der vorigen Seite diesen ungefähren Pegel in diesem Bereich ab (...es sind -17 dBm)

b) Man öffnet wieder den Pfad „**Settings / Power Levels / Define TX Level**“ und trägt dort zuerst den Pegel von **-17dBm** ein.

Dann entfernt man das Häkchen bei „**Display relative attenuation only**“





Nun kann man auf die **Anzeige des TX Levels** (links unten im Eck des Bildschirms) **doppelt klicken** -- dann taucht wieder der **Schieberegler** auf und man kann damit den gewünschten Pegel von -40 dBm exakt einstellen.

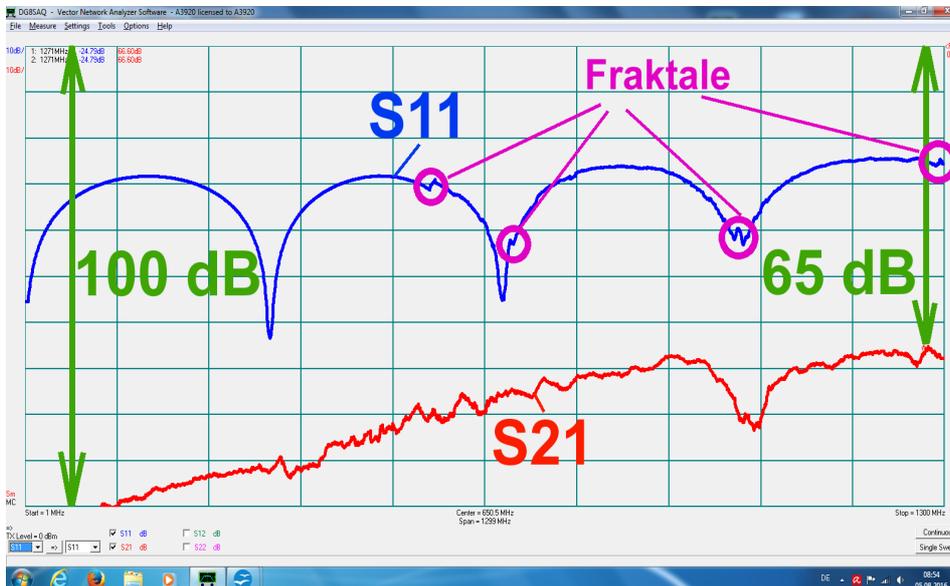
### 6.1.2. Unerwartete Erlebnisse und Ergebnisse bei der Anzeige

Wegen seines Funktionsprinzips kann der VNWA3 nicht mit einem bis 1300 MHz durchgehenden Oszillator aufwarten – es wird immer zwischen gerade passenden Oberwellen und Nebenwellen umgeschaltet, wenn die Frequenz erhöht wird. Das führt zu sogenannten „Fraktalen“ oder Spikes (...manche sagen auch „Fipse“ dazu...) bei der Anzeige – an manchen Stellen leider kombiniert mit einem plötzlichen und leider gut sichtbaren kleinen Pegelsprung beim Ergebnis. Damit muss man leben – oder eines der sündhaft teuren professionellen Geräte anschaffen.

Und wenn man das Gerät als Spektrum-Analyzer verwendet, sieht man halt doch manchmal irgendwelche Störlinien, die nicht zum Eingangssignal gehören. Das muss man einfach alles wissen und wie in einer guten Ehe den Partner (= VNWA3) in Liebe annehmen sowie seine Eigenheiten kennen und ertragen.

### 6.2. Die Grenzen des VNWA3

Das zeigt dieser Sweep von **1 MHz bis 1300 MHz**. Dabei ist der TX-Ausgang mit dem „Load“-Widerstand aus dem Kalibrierkit abgeschlossen. Auf den RX-Eingang wurde ein SMA-Präzisions-Abschlußwiderstand der Firma Huber und Suhner (= Rolls Royce in der Messtechnik) aufgeschraubt. Gesweept wurde mit **2000 Punkten bei 40 ms Meßzeit** für jeden Punkt.



Beeindruckend ist wirklich der Dynamikbereich bei S21 von 100 dB bei tiefen Frequenzen (unter 100 MHz) und immerhin 65 dB bei 1300 MHz

Außerdem sehen wir, was vorhin mit „Fraktalen“ gemeint war.

**Das merken wir uns:**

**Mehr Messpunkte geben eine feinere Auflösung und zeigen u. U. mehr Details.**

Empfehlung: **Beginne mit 1000 Punkten**

**Eine lange Meßzeit pro Punkt reduziert kräftig das überlagerte Rauschen (durch Mittelwertbildung), erhöht aber die Gesamt-Messzeit beträchtlich (= Geduld nötig).**

Empfehlung: **möglichst mehr als 10 Millisekunden pro Punkt einstellen.**

**(Also: lieber runter mit der Punktezahl, aber dafür rauf mit der Messzeit. Bitte selbst mal ausprobieren und vergleichen).**

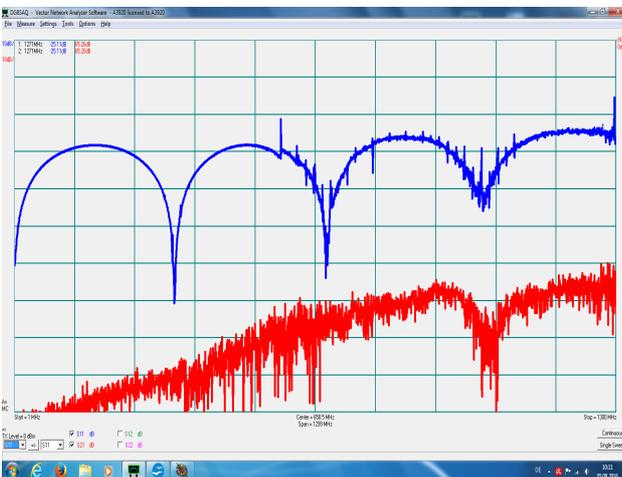
Zur weiteren Rauschverminderung gibt es über „**Settings / Average, Peak Hold, Smoothing**“ die Option „**Smoothing**“. Sie ermöglicht eine weitere Mittelwertbildung aus direkt benachbarten Punkten der Kurve, die das Rauschen stark vermindert und man kann über einen Schieberegler die Anzahl der zu verrechnenden Punkte einstellen.

**Achtung:**

**Diese Einstellung ist äußerst sensibel und man sollte sie nur im Notfall verwenden. Man muß nämlich genau hinsehen bzw. dauernd mit der Ausgangskurve vergleichen, weil bei höherer Punktezahl schnell zuviel Informationen verloren gehen.**

Beispiel:

**Ohne Smoothing**



**Smoothing mit 96 Punkten**



**Warnung und Empfehlung (= eigene Erfahrung):**

Bei einem Microstrip-Tiefpass mit einer Grenzfrequenz von 1300 MHz durften

**nur maximal 2 bis 3 Punkte**

beim Smoothing eingestellt werden. Das gab eine wirklich gute Verbesserung, aber darüber verschlechterte sich sofort die Steilheit der Filterflanken auf dem Schirm und die Minimalwerte von S11 wurden angehoben – also Vorsicht und immer genau prüfen.

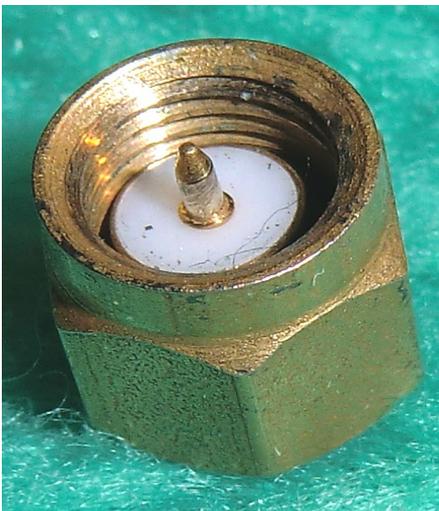
**Deshalb lieber das Smoothing ignorieren und zuerst mit längerer Messzeit pro Punkt arbeiten!**

# Anhang 1: Erstellung der Calibration Settings

Da müssen wir zunächst über „**Stecker und Buchsen**“ reden.

Verwendet wird beim VNWA3 das „**SMA-System**“ mit einer Schraubverbindung. Es kann normalerweise bis zu 12 GHz ohne Qualitätseinbußen verwendet werden, ist aber auch in verbesserter Version bis 18 GHz erhältlich. Schön klein und handlich, nicht zu dicke Kabel, präzise und zuverlässig....eine feine Sache. Wenn man allerdings auf die volle Präzision Wert legt, dann sollte man die Verbindung mit dem vorgeschriebenen Drehmoment (und einem dafür erhältlichen Drehmomentschlüssel) anziehen. Diese Prozedur kann man garantiert 500x wiederholen, bevor die elektrischen Werte (durch evt. mechanische Deformationen oder Abnützungen) schlechter werden. Wer aber die Verbindung nur mit den Fingern anzieht und löst, braucht da überhaupt keine Bedenken zu haben. Nur das feine Gewinde – das kann man durch falsches Ansetzen und anschließendes „Festknallen“ ruinieren....und für ein Gerät mit einer SMA-Buchse ist es auch nicht gesund, wenn es herunter- und auf die Buchse fällt....

**In der Anleitung und speziell im folgenden Anhang über die Kalibrierung wird stets von „MALE“ und „FEMALE“ gesprochen. Sehen wir uns das doch an zwei Teilen genauer an:**



Das ist ein SMA-Abschlußwiderstand als „**Stecker**“ = „**MALE**“ - **Ausführung (= männlich)**.

Gut zu erkennen ist der **zentrale Steckerstift** sowie die **Überwurfmutter mit Innengewinde**.

(Übrigens sieht man an diesem Bild, dass man die SMA - Teile regelmäßig mit einem Wattestäbchen und Isopropyl-Alkohol reinigen sollte. Sonst verschlechtern sich die Daten oberhalb von 1 GHz...ist hier wohl mal wieder dringend nötig....)



Das ist nun das Gegenstück, also die **Buchse = FEMALE – Ausführung (= weiblich)**.

(Dieses Ding hier heißt offiziell „Female-Female-Kupplung“)

Es gibt nun die Calibration – Standards in MALE oder FEMALE-Ausführung als „Calibration Kits“ zu kaufen.

Sie enthalten nicht nur die für die gleich folgende Kalibrierung einen „SHORT“ (= Kurzschluß), eine „LOAD“ (= einen präzisen 50  $\Omega$  -Widerstand), sondern auch als OPEN eine Female-Female-Kupplung sowie eine Male-Male -Kupplung,

Nehmen wir uns das vor, was wir haben...

und werfen zuerst einen Blick auf den **Rosenberger Calibration Kit**, wie er bei unseren Geräten im Nachrichtentechnik-Labor verwendet wird.

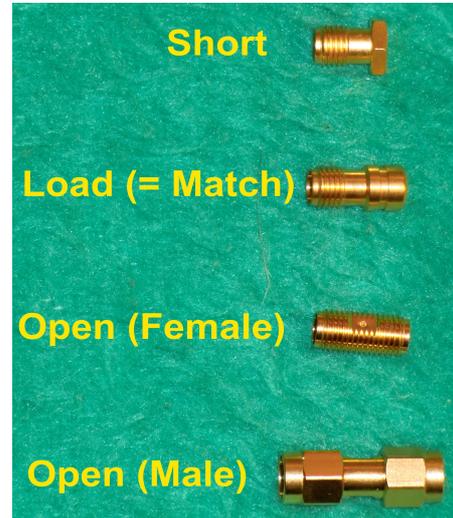
**(Female - Version)**

Sehr gut ist seine Serien-Nummer (= 474) und der genaue Wert des Abschlußwiderstandes (= Load) mit 49,35 Ohm zu erkennen.

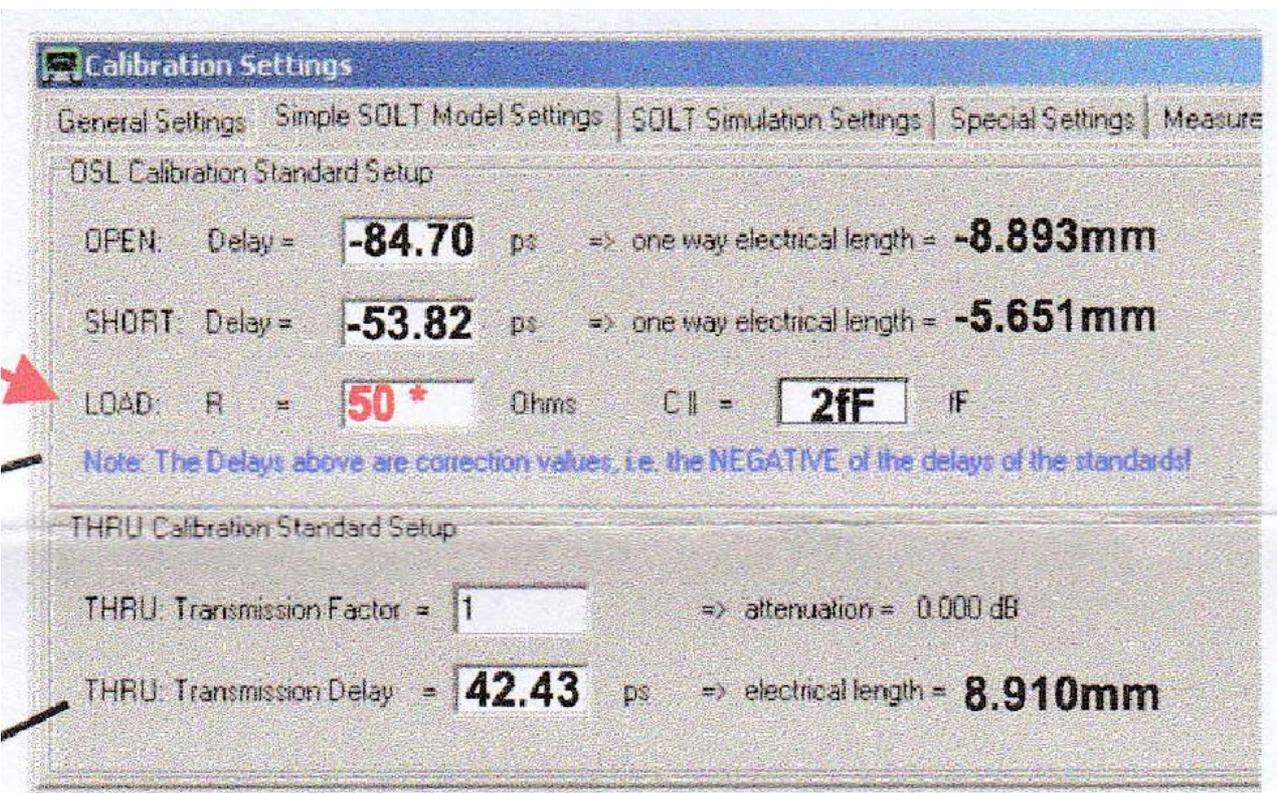


Und das sind die 4 Teile, von denen wir bei dieser Anwendung nur drei brauchen werden:

**Short (Female)**  
**Load (Female)**  
**Open (2 x Female)**  
**Open (Male)**

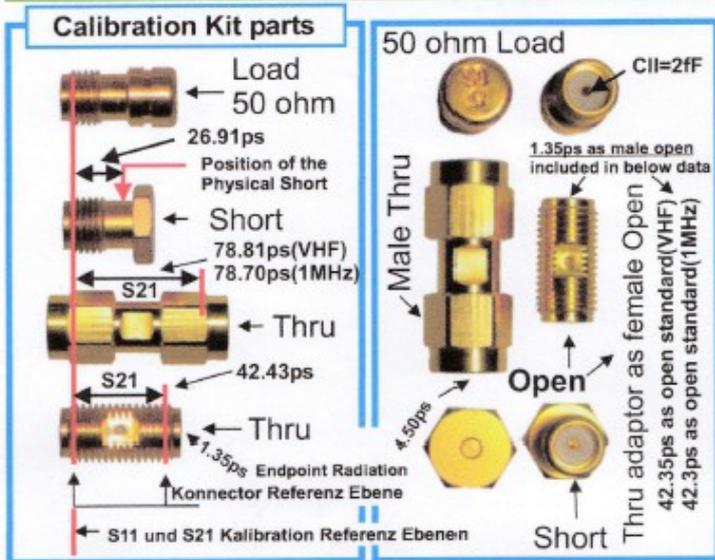


Bei jedem Kit ist ein Blatt beigelegt, in dem die für die Erstellung der Kalibrier-Datei wichtigen Daten zu finden sind. Ein Scan davon findet sich auf der nächsten Seite und darin sind rechts unterhalb der Mitte die für unseren „FEMALE“ - Calibriersatz wichtigen Einträge enthalten:



# SDR-Kits Female Calibration Kit of Rosenberger parts for the DG8SAQ VNWA

by Kurt Poulsen OZ7OU Revision 4 of Oct 2014



Auf dieser Seite finden Sie die benötigten Einstellungen in "Calibration Settings" und "Simple SOLT" für die Reflektions (S11/S22) und Transmissions (S21/S12) Kalibrierung.

-Bitte beachten Sie, dass, wenn Sie die Referenzebene der VNWA-TX-SMA-Buchse, an der Vorderseite, kalibrieren wollen, müssen Sie ein männl. Kalibrierungsset benutzen, oder schauen Sie weiter unten bei "Wie man...".

-Wenn Sie Testkabel benutzen und sowohl S11 und S21 messen, dann wird der Thru-Adapter, während der Kalibrierung, benutzt, aber bei der echten Messung entfernt. Um das geänderte Transmissions-Delay zwischen dem TX und Rx Port, zu kompensieren, müssen Sie das Delay für den Thru-Adapter, in die Kalibrierungstabelle eingeben. Wenn so getan, müssen die Referenzebenen, für beides, Reflektion und Transmission, "synchron" sein, mit der gewählten Testkabel-Kalibrierungsebene.

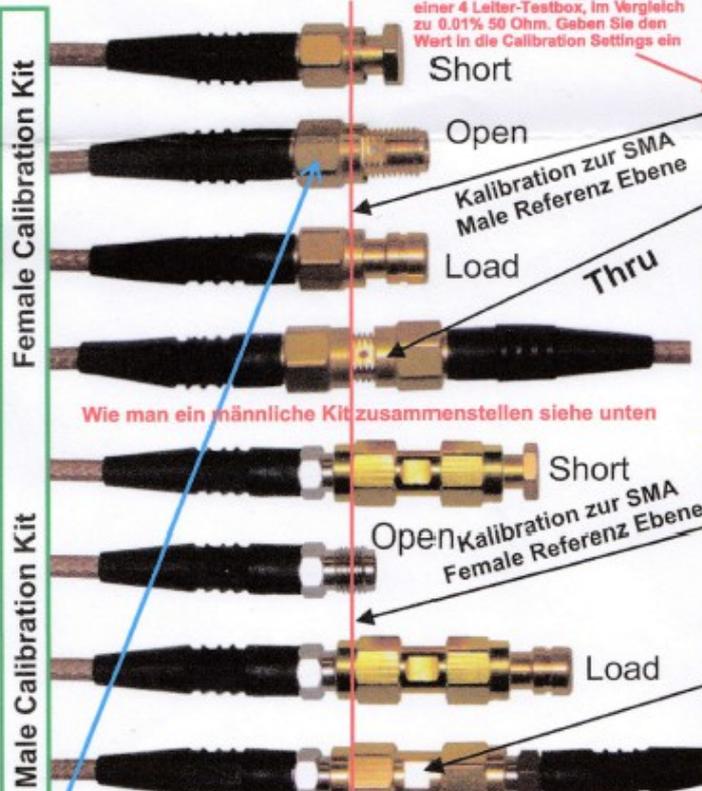
-Wenn die Testkabel am Ende einen SMA-Stecker haben muss der weibl. Kalibrierungsstandard benutzt werden, und entspr. für den weibl. SMA, die männl. Cal.Kit Daten.

-Crosstalk Calibration wird normalerweise nicht benutzt. Setze das Delay Thru immer auf 0 ps, sonst ist Transmission und Reflektion nicht mehr "synchron".

Der Rosenberger weibl.-weibl. Adapter hat ein Delay von 42.35 ps.

Der Rosenberger männl.-männl. Adapter hat ein Delay von 78.81 ps bei VHF, abfallend auf 78.7 ps bei 1 MHz.

Der DC-Widerstandswert des Load wurde von SDR-Kits gemessen mit einer 4 Leiter-Testbox, im Vergleich zu 0.01% 50 Ohm. Geben Sie den Wert in die Calibration Settings ein



Wenn Sie einen leeren weibl. Thru Adapter (ohne Mittelverbinder und Tefloneinsatz) verwenden, wird der SMA männl. Mittelverbinder als Openstandard verwendet. Der Wert des Delays ist sehr klein: 2 x -3.0ps = -10ps

**Einige Hinweise:**  
Die Kalibrierungsebene kann vorwärts und rückwärts bewegt werden, durch die Benutzung von Measure/Port Extensions. Port 1 wird für die Vorwärtsrichtung (S11 und S21), und Port 2 für die Rückwärtsrichtung (S22/S12). Für die Rückwärtsrichtung muss das DUT umgedreht werden. Bei einem positiven Delay wird die Kalibrierungsebene von dem TX-Port weg bewegt und umgekehrt.  
Eine Änderung des TX-Pegels, verändert auch die Kalibrierung einwenig. Siehe Hilfe-Datel.

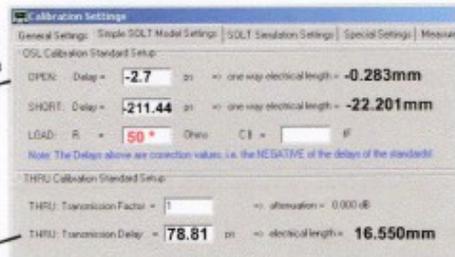
Veröffentlichungsdatum: 28/12/2014  
Übersetzung: Manfred Zillmer



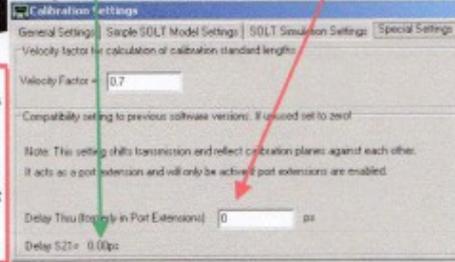
**Bemerkungen zum männlichen Kalibrier Satz**  
Bessere Ergebnisse erhalten Sie mit einem Rosenberger männl. Kalibrier-Load Typ Nr.32S15R-0,5E3 Benutze ein CII von 35 fF

Wenn Sie bereits ein Amphenol Connex männl. Short haben, ergibt eine bessere Short Kalibrierung 2 x -17.24ps = -34.48ps (-34.2ps bei 1 MHz)

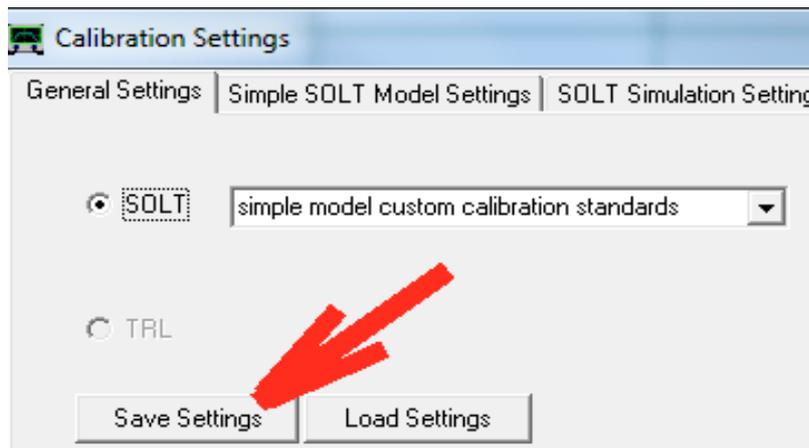
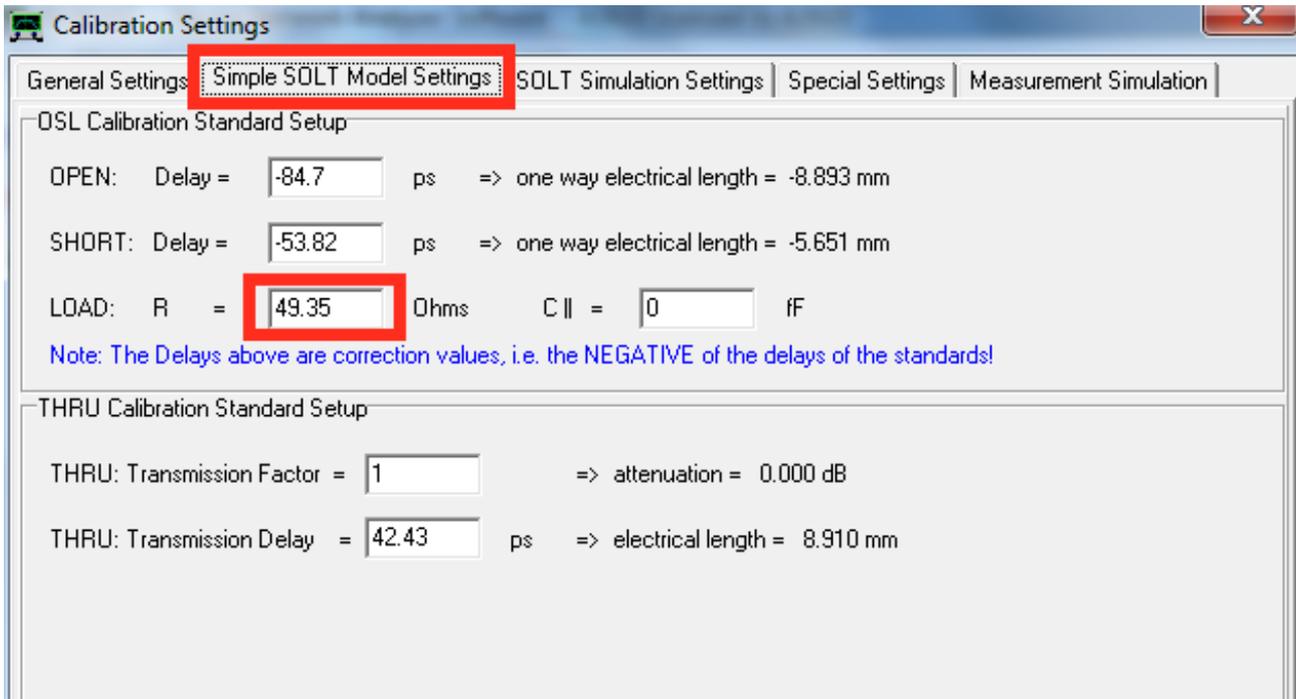
Jeder zusätzlicher Adapter erniedrigt den Reflektions Koeffizienten



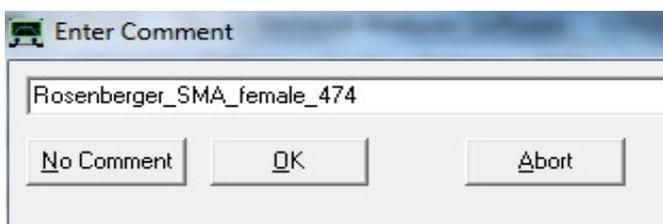
Bitte kontrollieren Sie Delay Thru ist gesetzt auf 0 ps  
Delay S21 ist nur aktiv, wenn Port Ext. ON



An dieses Menü kommen wir über „**Settings / Calibration Settings / Simple SOLT Model Setting**“ heran und wir tragen diese Werte ein. Allerdings dürfen wir nicht vergessen, den **tatsächlichen Widerstandswert der „LOAD“ laut Aufkleber im Holzkasten (hier: 49,35 Ohm) zu verwenden.**  
 So muß das schließlich aussehen:



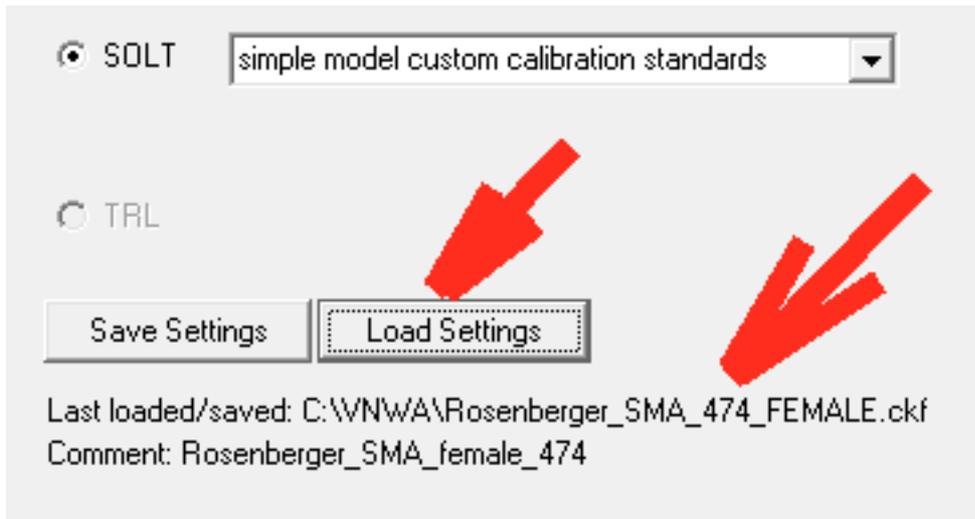
Dann geht es zurück auf die linke Karteikarte „General Settings“, denn da müssen wir diese Angaben speichern und der Settings-Datei einen passenden Namen geben.



Wir dürfen zuerst einen Kommentar eintippen....

...und nach „OK“ das Ganze als **Rosenberger\_SMA\_474\_FEMALE** speichern.

(Bitte beachten: die Zahl „474“ ist die Serien-Nummer des gerade benützten Rosenberger-Kits. Werfen Sie also bitte einen Blick in das Holzkästchen und verwenden Sie die dort eingeklebte Serien-Nummer....)



Dann sollten wir folgenden Bildschirm vor uns haben (Bitte ggf. mit „Load Settings“ nachhelfen)!

Jetzt kennt unser Programm die Daten unseres Kalibrierstandards und wir können zur nächsten Aktion „SOLT-Kalibrierung unserer Messanordnung“ (in Kapitel 4.4) zurückkehren.

=====