

NanoVNA

**ein Vektorieller Network
Analyzer für 50 kHz bis 900
MHz unter 50 Euro**

**„Getting Started Manual“ in
drei Teilen:**

Teil 1: Das Gerät

**Teil 2: Betrieb nur am PC mit der Software
„NanoVNA - saver V0.2.0.“
(einschließlich Praxis-Beispielen)**

Teil 3: Stand-Alone-Betrieb

Version 1.4.2.

Autor: Gunthard Kraus, DG8GB
Tettang, den 02. 12. 2019

Hinweis:

Die drei Teile des Manuals können getrennt voneinander benutzt werden

Wer sich für den **NanoVNA selbst** und sein Drumherum (Lieferumfang, Batteriebetrieb, Tasten usw.) interessiert, der lese **Teil 1**

Wer **nur am PC-Bildschirm** mit dem NanoVNA und der **NanoVNA-saver Software** arbeiten will, der steige sofort in **Teil 2** ein.

Und wer ausschließlich mit dem **Gerät alleine im Batteriebetrieb** arbeiten möchte / muss (Beispiel: Messung im Aussendienst an einer Antenne), der braucht **Teil 3** als Anleitung

Und noch eine Hilfe:
die **neueste Version v0.2.0. der NanoVNA-saver-Software** findet sich unter

<https://github.com/mihtjel/nanovna-saver/releases>

Inhaltsverzeichnis

Teil 1: Das Gerät (mit Akku oder Netzteil)

Kapitel	Seite
1. Eine kurze Vorstellung	5
2. Was steckt dahinter?	6
3. Was brauchen wir / was sollen wir bestellen?	7
4. Informationen zur Stromversorgung des Gerätes (Akku-Betrieb oder externe Spannungsquelle)	8

Teil 2: Der NanoVNA am PC

5. Vorbemerkung (und Spickzettel)	9
6. Vorbereitung und Start	10
7. Start der nötigen Software	11
8. Display - Settings = nötige Einstellungen beim Bildschirm	12
9. Sweep Settings	13
10. Sweep - Programmierung für 50 kHz....900 MHz	14
11. Start der Kalibrierung mit den Kalibrierdaten	15
12. Die SOLT-Kalibrierung	17
13. Kontrolle des Kalibrier - Erfolges	19
14. Praxistest an einem 110 MHz - Tiefpass	22
15. Das Passband: Grunddämpfung und Group Delay für unseren Tiefpass	23
16. Die Sache mit den Markern	25
17. Ein Bandpass für 10,7 MHz als zweites Praxisbeispiel	26
17.1. Die Analysis-Automatik	29
17.2. Set Sweep as Reference	33
17.3. Speichern der erzeugten Touchstone Files für S11 und S21	35

18. Drittes Beispiel: Ermittlung der Eigenschaften einer Filterspule	37
19. Viertes Beispiel: Ferritantenne für VLF-Experimente	39
20. Fünftes Beispiel: Ganzwellen-Loop - Antenne für das 70 cm - Amateurfunk-Band	41

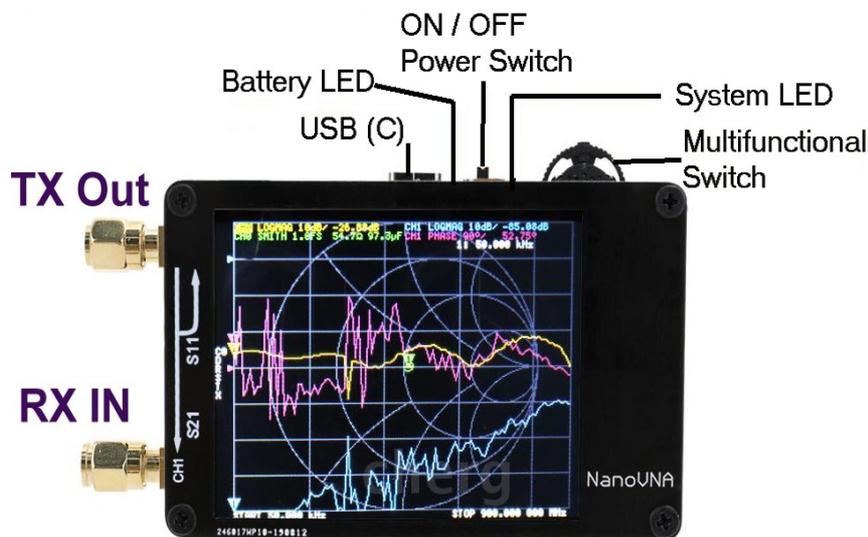
Teil 3: Stand alone Betrieb

21. Bedienermenü für den NanoVNA	43
22. Direkte Bekanntschaft mit dem Gerät	44
23. Die erste erfolgreiche Messung: Eigenschaften der LOAD	45
24. Die Sweep - Möglichkeiten	46
24.1 Start -Stopp - Betrieb	46
24.2. Center / Span - Betrieb bei 465 MHz	46
24.3. CW – Betrieb bei 465 MHz	47
25. Die Kalibrierung	48
26. Die Sache mit den Mess-Kabeln	49
27. SOLT - Kalibrierung (50 kHz bis 900 MHz) für Platz C0	50
28. Erstes Beispiel: wieder der Tschebyschef - Tiefpass mit 7 $f_g = 110$ MHz und $N = 5$	52
29. Eine Bilanz (= Gut / Schlecht / Änderungen...)	53

Teil 1: Das Gerät (mit Akku oder Netzteil)

1. Eine kurze Vorstellung

In diesem Bild sehen wir das kleine Gerät mit den Abmessungen einer Zigaretzenschachtel (54 mm x 86 mm x 12 mm) samt einem kleinen LCD-Touchscreen (2,8 Zoll - Diagonale). Es fehlt eine komplette Abschirmung und es ist nur ein Boden- und ein Deckblech



vorhanden – also Vorsicht beim Anfassen! Links haben wir in Form von **zwei SMA-Buchsen** den **HF - Eingang und Ausgang**. Die obere Buchse stellt den Sendepunkt dar und der bildet gleichzeitig den Kanal für die S11-Messung (= Reflektion). Die untere Buchse ist der Empfänger-Eingang und folglich brauchen wir sie für die Transmissionsmessung (= S21).

Oben in der Mitte ist eine **USB – Buchse vom Typ „C“** angebracht. Damit ist es wegen der symmetrischen Konstruktion egal, wie herum das USB-Kabel eingesteckt wird. Über diesen USB-Anschluss können wir das Gerät mit +5V versorgen und die Daten zum PC senden. Die daneben angeordnete blaue LED dient als „**Battery LED**“ und leuchtet, sobald eine Versorgungsspannung anliegt.

Rechts daneben folgt der **Ein / Aus – Schalter**, gefolgt von einer blauen „**System LED**“. Sie blinkt bei bestimmten Ereignissen oder Zuständen und den Abschluss bildet ganz rechts der **Multi-Funktionsschalter** („**Multi Function Switch MFS**“). Er hat eine Doppelfunktion:

Drücken wir nach dem Einschalten darauf, so rufen wir das **Haupt-Bedienermenü** auf.

Da der MFS außerdem eine **Wippe** darstellt, können wir z. B. beim Messergebnis einen **Marker** entlang der Frequenzachse in beiden Richtungen **verschieben**. So holt man sich eine bestimmte interessierende Frequenz auf den Schirm.

Die wichtigsten Eigenschaften:

Measurement frequency:	50KHz ~ 300MHz (50KHz -900MHz, extended firmware)
RF output:	-13dbm (maximum -9dbm)
Measurement range:	70dB (50kHz-300MHz), 60dB (300M-600MHz), 50dB (600M-900MHz)
Port SWR:	< 1.1
Display:	2.8 inch TFT (320 x240)

USB interface: USB type-C communication mode: CDC (serial)

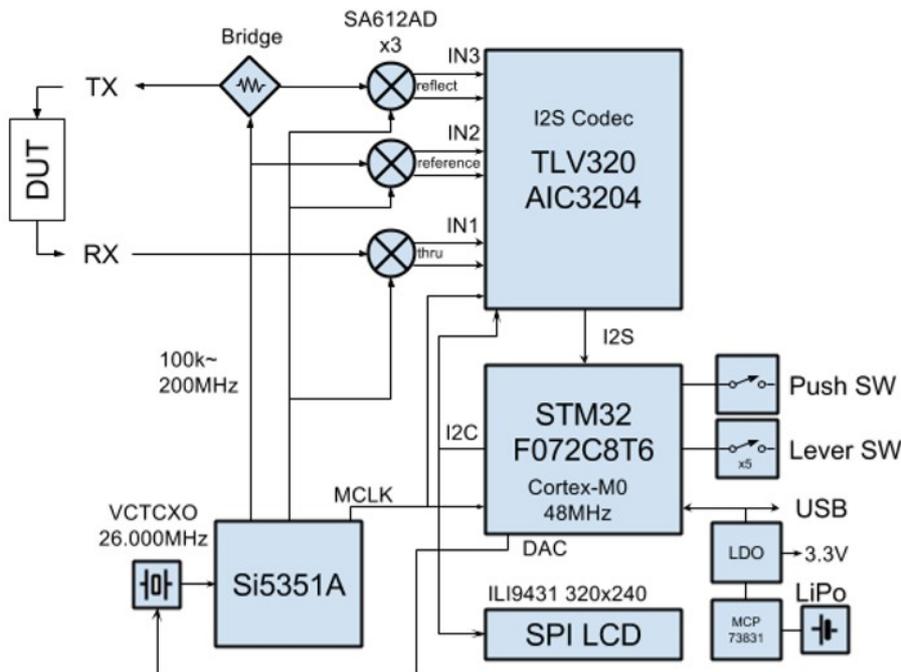
Power: USB 5V 120mA

Number of scanning points: 101 (fixed)

Display Tracking: 4 Traces. Marking: 4, Setting Save: 5

Frequency error: <0.5ppm

2. Was steckt dahinter?



Wer sich den nebenstehenden Übersichtsschaltplan ansieht und sich etwas auskennt, ruft sofort:

....Aber, das ist ja der VNWA3 von Thomas Baier, DG8SAQ“!

Recht hat er bei der Elektronik und ihrem Konzept (z. B. dem Einsatz einer Messbrücke und der Mischung mit der Grundwelle eines DDS – Oszillators im Bereich von 50 kHz....300 MHz,

dann Oberwellenmischungen für 300 bis 600 MHz bzw. 600 bis 900 MHz). Darauf folgt die Auswertung im Audibereich bei einigen kHz. Ausgefeilt und sehr aufwendig ist dagegen die installierte Software und ihre Bedienung über Menüs mit Untermenüs und weiteren Untermenüs auf dem kleinen Bildschirm.

Eine genaue Übersicht des **Bedienermenüs** findet sich in **Teil 3 dieses Manuals**. Die sollte man sich genauer ansehen und einprägen, damit man weiß, wo und wie man etwas suchen muss....

3. Was brauchen wir / was sollen wir bestellen?

Wenn man in Ebay nach diesem Gerät sucht (Eingabe: z. B. „vectorial network analyzer“ oder gleich „NanoVNA“), so erhält man unzählige Treffer, meist in der Gegend zwischen 35 und 60 Euro. **Da sollte man aber genau prüfen, was außer dem Gerät mitgeliefert wird, denn wir brauchen nämlich unbedingt**

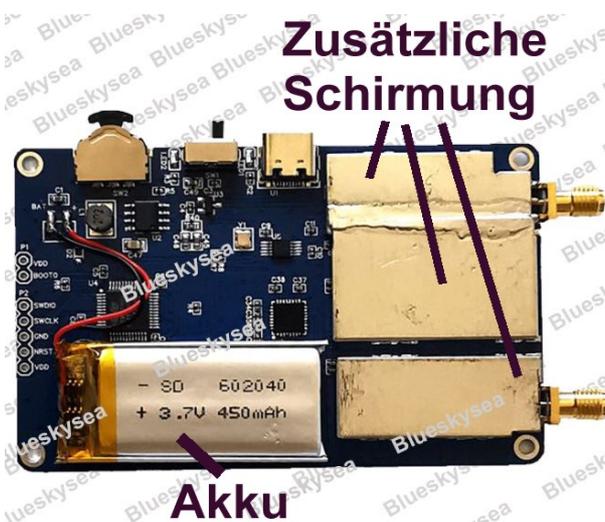
- a) zwei **kurze Koaxialkabel** (meist: RG174) mit **SMA – Steckern** (= male - male) an beiden Enden und
- b) ein **USB-C-Verbindungskabel** zum PC, sowie
- c) einen **SOLT – Kalibriersatz** (SOLT = Short / Open / Load / Through). Der besteht aus vier Teilen:

Short = Idealer Kurzschluss im SMA - Stecker (male)

Open = Idealer Leerlauf in Form eines SMA - Steckers (male), der im Inneren scheinbar nur ein kleines offenes Röhrchen aufweist

Load = Idealer SMA - Abschlusswiderstand (male) mit **50Ω**

Through = SMA – Kupplung mit **Buchsen** an beiden Enden (= **SMA-Female – Female - Adapter**)



Es gibt auch Angebote, bei denen bereits ein kleiner, flacher **Akku** (Höhe: etwa 4 mm) mit **+3,7 V / ca. 300...500 mAh** dabei ist.

(War bei mir nicht Fall, deshalb habe ich mir dieses Teil im Internet besorgt). Weitere Informationen zum Akkubetrieb gibt es im nächsten Kapitel 4.

(Quelle des Bildes: Blueskysea)

Sehr schön ist im Bild auch die sorgfältige zusätzliche Abschirmung der RF- Eingänge zu erkennen.

Wichtig:

Wir müssen ja später kalibrieren. Und wer da den letzten Rest an Genauigkeit herausholen möchte, der wird noch einen **weiteren SMA - male - Abschlußwiderstand mit 50 Ω** sowie einen **weiteren SMA - Female - Female-Adapter benötigen**. Muss man sich selbst im Internet beschaffen.

Auch lohnt es sich, zwei besonders hochwertige Teflon – SMA - Kabel mit ca. 30cm Länge zu besorgen (z. B. von Huber-Suhner). Die beiden im Kit mitgelieferten Exemplare sind leider nicht ganz so präzise.

4. Informationen zur Stromversorgung des Gerätes (Akku-Betrieb oder externe Spannungsquelle)

a) Die einfachste Möglichkeit ist die Versorgung vom PC aus über die **USB - Verbindung**. Das Board enthält entsprechende Regel- und Schutzschaltungen, damit bei +5V - Speisung und einem Bordnetz mit +3,7V nichts passieren kann. Eine blaue „**Battery LED**“ zeigt an, ob die Versorgungsspannung korrekt anliegt, und beim Einschalten leuchtet zusätzlich eine blaue „**Status LED**“.

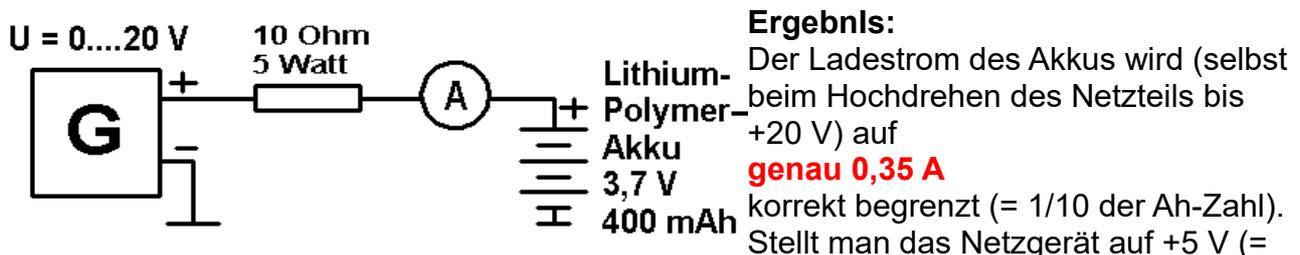
b) Auf der Leiterplatte ist Platz für einen dieser modernen flachen Lithium – Polymer - Akkus und zwei Lötstellen auf der Leiterplatte sind mit „+ / - / **Battery**“ markiert (...bei manchen Anbietern findet man dort eine hübsche kleine Steckverbindung samt dem bereits eingebauten Akku).



Die Dicke des Akkus sollte allerdings 4 mm nicht wesentlich überschreiten, sonst kriegt man die Bodenplatte nicht mehr drauf.

Ich habe mir so einen Akku im Internet bestellt und entdeckte im Batteriepack eine winzige schmale Leiterplatte.

Um ihre Funktion auszutesten, wurde folgende kleine Schaltung zusammengestellt:



USB-Anschluss) ein, dann sinkt der Strom entsprechend ab und nach 1...2 Stunden ist er bei Null angelangt (= Akku voll geladen).

Erste Erkenntnis:

Keine Gefahr der Überladung beim Auflöten des Akkus auf die Platine und USB-Speisung des NanoVNA mit +5 V.

Deshalb wurde nun der Akku auf das Board gelötet und der **NanoVNA ohne USB-Verbindung gestartet**. Es dauerte fast genau vier Stunden, bis der Touchscreen dunkel wurde und die Elektronik abschaltete. Bei einer Stromaufnahme von etwa 110 mA beträgt also die im Akku gespeicherte Energie etwa 440 mAh – das passt zum Aufdruck. Jetzt wurde die USB - Verbindung zum PC hergestellt und damit lädt sie den Akku sofort wieder auf. Das wurde nach einigen Stunden geprüft - stimmt!

Zweite Erkenntnis:

Ohne USB versorgt der Akku das Board (z. B. im Außenbereich bei der Messung an einer Antenne), mit USB und eingeschaltetem PC wird es korrekt versorgt und der Akku ebenso korrekt nachgeladen. Und für eine Laufzeit von mehreren Tagen kauft man sich zusätzlich eine „Power Bank“, wie sie die Smartphone oder Handy - Benutzer längst besitzen..

Teil 2: Der NanoVNA am PC

5. Vorbemerkung (und Spickzettel!)

Wer dieses **Kapitel bereits vollständig durchgearbeitet hat**, der kann beim nächsten Mal hier nachsehen, wie die **korrekte Startprozedur** beim Arbeiten am Bildschirm auszusehen hat. Man übersieht da leicht etwas...

Programm starten /

NanoVNA über USB mit PC verbinden und einschalten /

USB-Verbindung herstellen /

Sweepbereich und Zahl der Segmente wählen /

Bei Bedarf „averaging sweep“ einstellen und programmieren /

Calibration File laden /

Diagramme für die gewünschten Verläufe vorwählen /

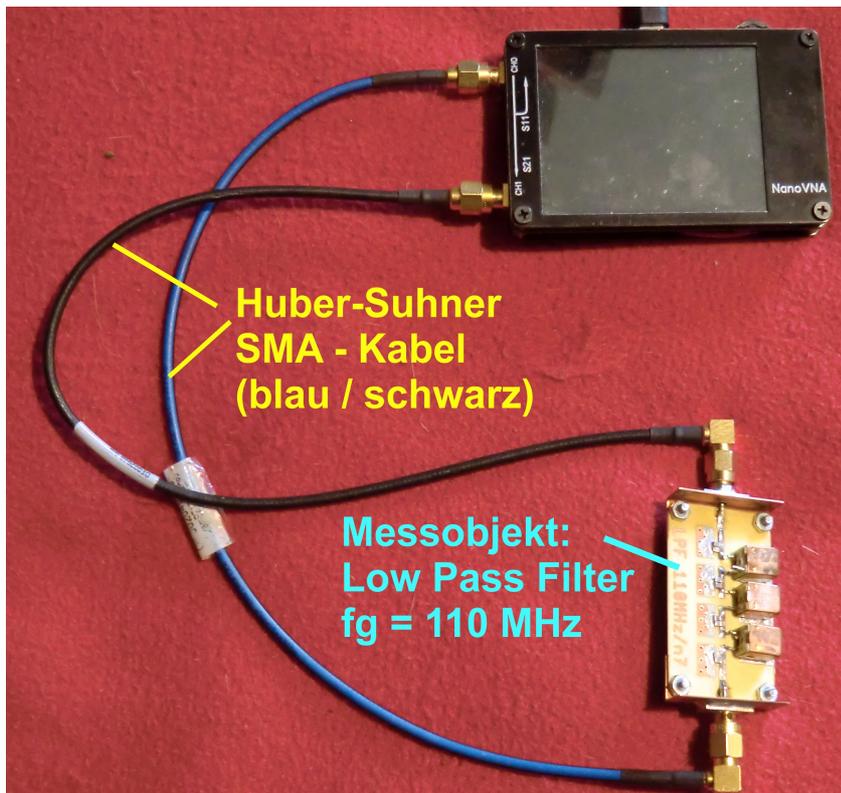
Sweepen und warten /

Ergebnis anschauen.

6. Vorbereitung und Start

Leider können manchmal die im Kit mitgelieferten beiden SMA - Kabel Ärger machen.

Nicht nur ihr Wellenwiderstand stimmt nicht ganz (mit Time Domain Reflectometer gemessen: **irgendwo zwischen 52 Ω und 54 Ω statt 50 Ω**), sondern es fiel bei mir einfach an einem Ende der SMA - Stecker ab, da die Crimpung des Steckers am Kabel schludrig ausgeführt war und wohl irgendwann die Lötverbindung zum Innenleiter abbriss. Daher ergab die Kalibrierung oft sinnlose Werte, und bis man das findet....



Die rigorose Abhilfe besteht aus der Beschaffung und Verwendung von **zwei sehr hochwertigen Kabeln (= Huber-Suhner mit blau-schwarzem Mantel), die bis 18 GHz spezifiziert sind.**

Sie verbleiben dauernd am NanoVNA und ihre SMA – Verbindung zum Board wird mit einem passenden SMA-Drehmoment - Schlüssel aus dem Internet kontrolliert.

(Unterlässt man die Kontrolle mit dem Drehmomentschlüssel bei allen SMA-Verbindungen, so kämpft man bei der Wiederholung der

Kalibrierung mit Abweichungen bis zu 0,4 dB bei S11)

Zur Beschaffung:

Auf und unter allen Tischen beim HAM – Radio - Flohmarkt genau schauen. Irgendwo liegen sie herum..

7. Start der nötigen Software

Wer nicht dauernd im Akkubetrieb irgendwo in der Landschaft messen muss, der wünscht sich sehr schnell eine übersichtlichere Ergebnis-Darstellung mit großen Diagrammen auf einem schönen PC-Bildschirm. Das wollen wir jetzt anpacken und gleichzeitig OM Andreas Zimmermann, DG3SAZ, für seine Hinweise und seine Unterstützung danken. Und natürlich Rune Broberg für die Erstellung und Pflege des Programms, sowie Kurt Poulsen als Kalibrierungs-Spezialisten.

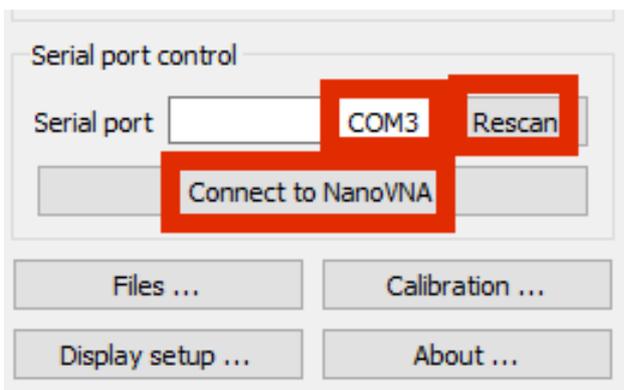
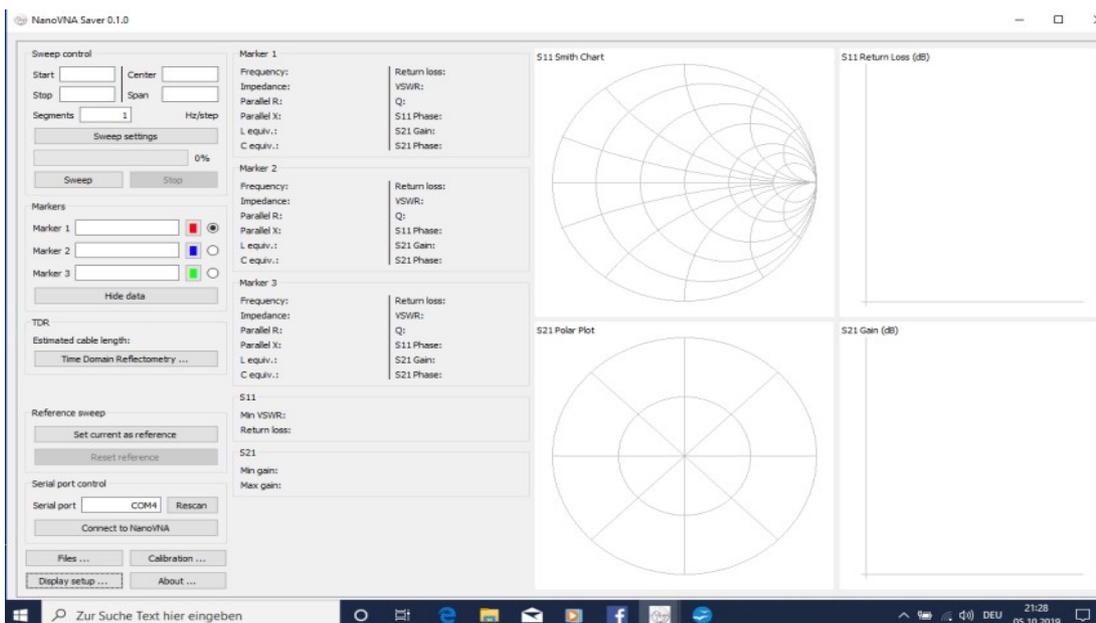
Wir brauchen dazu nur noch den NanoVNA, das USB-C-Verbindungskabel sowie den PC mit dem nötigen Programm. Und am Board selbst nur den Ein-Aus-Schalter.

Es geht mit dem **Download einer erforderlichen kostenlosen Software** aus dem Internet los. (<https://github.com/mihtjel/nanovna-saver/releases>).

Die hier verwendete heißt

NanoVNA – saver v0.2.0.exe

Sie lässt sich sogar problemlos auf einen USB-Stick kopieren und von dort aus betreiben. Nach dem Programmstart ist erst mal 10 Sekunden Wartezeit vor einem dunklen DOS-Bildschirm angesagt, dann erscheint dieses Bild.

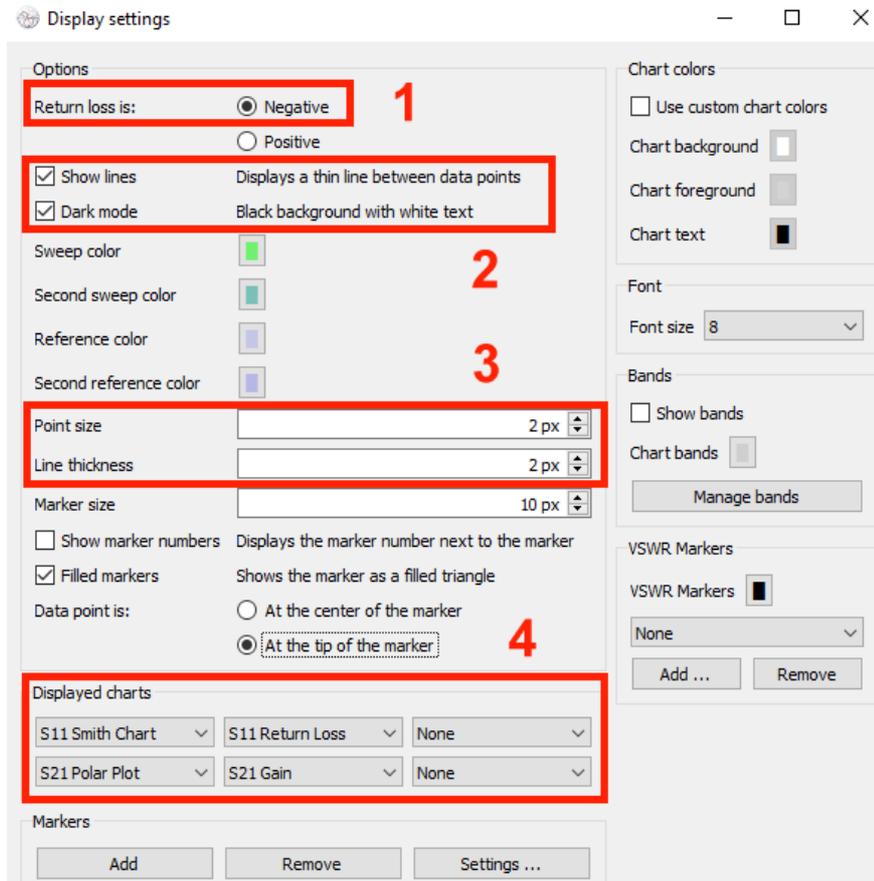


Nun wird die USB-Verbindung zum PC hergestellt, der NanoVNA eingeschaltet, auf „**Connect to NanoVNA**“ (= unten links) geklickt und (notfalls mit **Rescan**) dafür gesorgt, dass der dafür gültige USB-Port erkannt wird.

Wenn alles funktioniert, ändert sich diese Meldung in „**Disconnect**“.

8. Display-Settings – = nötige Einstellungen beim Bildschirm

Dieses Menü wird über eine Taste im linken unteren Eck des Bildschirms aufgerufen. Da sind am Anfang **vier Einstellungen** wichtig:



1:
Die Eingangs-Reflektion S11 soll in gewohnter Weise als **negativer dB-Wert** dargestellt werden.

2:
Die einzelnen Messpunkte sollen durch Linien miteinander verbunden werden UND der Diagramm-Hintergrund soll schwarz sein. (Kann man aber auf jede beliebige Farbe umstellen – auch bei den Kurven).

3:
Punktgröße und Linienbreite sind auf 2 Pixel voreingestellt. Bitte bei Bedarf ändern.

4:
Wir können bis zu **6 Diagramme gleichzeitig** auf den Schirm holen (Meist reichen uns vier).

Bei jedem einzelnen Diagramm kann man für die Ausgabe unter folgenden Verläufen wählen:

S11 Smithchart
S11 Return Loss

|S11|

S11 |Z|

S11 Phase

S11 Group Delay

S11 VSWR

S11 R + jX

S11 Quality Factor

S11 Real / Imaginary

S11 R/ω & X/ω

S21 Polar Plot

S21 Gain

|S21|

S21 Phase

S21 Group Delay

S21 Real / Imaginary

S11 & S21 Log / Mag

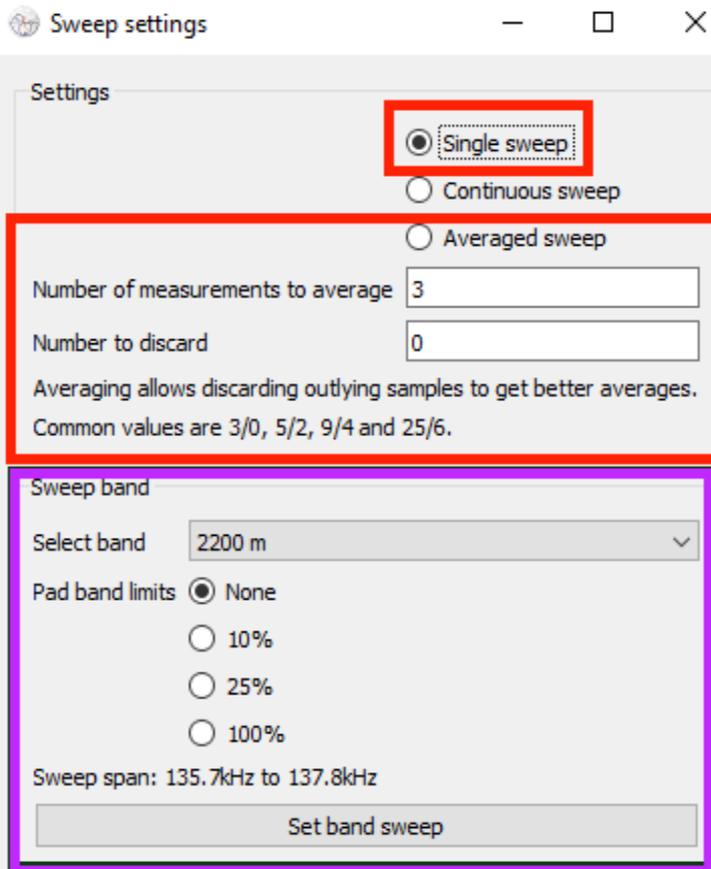
TDR

None

Bitte diese Möglichkeiten im Menü bei Gelegenheit selbst untersuchen..

9. Sweep Settings

Wir beginnen mit einem Klick auf „**Sweep Settings**“ in der linken oberen Hälfte des Bildschirms:



Üblich ist ein **einzelner Sweep** (= „**single sweep**“).

Aber den „**Continuous Sweep**“ gibt es natürlich auch.

Im **mittleren Rahmen** wird es interessant.

Da können wir nämlich eine **Mittelwert-Bildung** (= **averaged sweep**) aufrufen, um den **Einfluss des Rauschens oder der „Ausreißer“** (= Artefakte) zu vermindern. Das verbessert die Darstellungsqualität und man gibt die Zahl der Messwerte an, aus denen der Mittelwert berechnet wird.

Und noch eine raffinierte Möglichkeit gibt es:

Solche Ausreißer können wir in der Zeile „**Number to discard**“ auflisten und sie **wegwerfen** lassen.

Wir müssen sie halt genau identifizieren

(= **Messwert-Nummer, gefolgt von der Segment-Nummer**) und die eingegebenen Werte durch ein **Komma trennen**).

Ein besonderes Bonbon enthält der **violette Rahmen**.

In ihm steht uns eine **Zusammenstellung aller Amateurfunk-Bänder** zur Verfügung, aus der wir eines durch einen Mausklick auswählen können. Sofort sind dann alle Sweep-Einstellungen fertig und wir können den Sweep-Bereich auf Wunsch noch eingrenzen. Bitte mal ausprobieren.

10. Sweep-Programmierung (Beispiel: für 50 kHz900 MHz)

Die finden wir im linken oberen Eck des Bildschirms und dort erfolgt die Wahl des Frequenzbereichs sowie die Anzahl der Zahl der Segmente.

The screenshot shows the 'Sweep control' window. The 'Start' field is set to 50.000kHz and the 'Stop' field is set to 900.00MHz. The 'Center' field is 450.02MHz and the 'Span' field is 899.95MHz. The 'Segments' field is set to 20, and the 'Sweep rate' field is set to 445.5 kHz/step. A green progress bar is at 100%. Buttons for 'Sweep' and 'Stop' are at the bottom.

Den gesweepeten Frequenzbereich legen wir durch die **Startfrequenz von 50 kHz** und die **Stoppfrequenz von 900 MHz** fest.

Die Eingabe der Werte ist in **Zahlenform** (z. B. 900000000), in **Exponentialform** (z. B. 900e6) oder in **anderen Einheiten** (kHz, MHz) möglich.

Bei den **Segmenten** finden wir eine ganz raffinierte Lösung:

Der NanoVNA selbst kann einen eingestellten Bereich immer nur mit 101 Messpunkten untersuchen und ihn deshalb auch nur in 100 „frequency steps“ aufteilen. Und die Sweep-Geschwindigkeit ist stets gleich, egal welchen Bereich wir wählen.

Bei der NanoVNA-saver-Software können wir dagegen die Zahl der Segmente erhöhen, in die der gesamte Sweepbereich aufgeteilt werden soll.

Wählen wir 20 Segmente, dann wird nochmals eine Unterteilung bei jedem einzelnen Segment in weitere 101 Messpunkte vorgenommen und so die Auflösung und Kalibrier - bzw. Messgenauigkeit beträchtlich gesteigert. Das dauert nun natürlich etwas länger, bis man das Ergebnis sieht und man verfolgt das am Besten beim grünen Fortschrittsbalken...

Wie man im **violetten Rahmen** sieht, haben wir nun mit **20 Segmenten einzelne Frequenzschritte** („Steps“) mit einer **Breite von 445.5 kHz**.

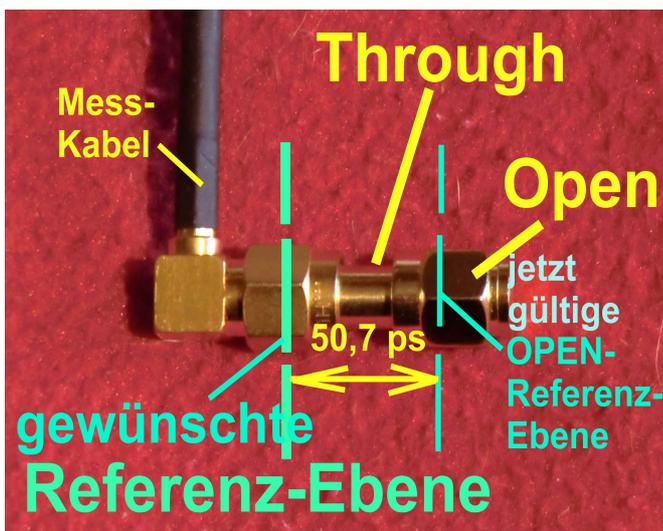
11. Start der Kalibrierung mit den Kalibrier - Standards

Kurt Poulsen, der schon für den VNWA3 die Kalibrierdaten ermittelt und publiziert hatte, kümmerte sich auch um das Problem „Kalibrierung des NanoVNA mit dem mitgelieferten SOLT - Kalibriersatz“. Nochmals Danke dafür!

Für unseren Fall (= fest aufgeschraubte Messkabel mit SMA - Steckern = male / male) gibt er folgende einzutragende Werte für die drei „SOL - Standards“ an:

SHORT:	Delay = 51,16 ps
OPEN:	Delay = 51,13ps
LOAD:	R = 49,86 Ω , Delay = 61,59 ps
THROUGH:	Delay = 50,7 ps

Da alle drei Standards beim Kauf eines NanoVNA als „male-Ausführung“ mitgeliefert werden, brauchen wir den ebenfalls vorhandenen „Through“ (= SMA - female – female) Adapter zum SMA - Anschluß an das Messkabel (...das den Mess-Eingang bilden soll). Der Adapter verursacht jedoch eine zusätzliche Signal-Laufzeit von 50,7 Picosekunden und damit eine Phasenverschiebung bis zum gerade verwendeten Kalibrier-Teil.



Sehen wir uns das bei der „OPEN“-Kalibrierung an:

Durch den SMA - female – female - Adapter „Through“ hat sich die gewünschte „Referenzebene“ vom Stecker des Meßkabel-Einganges nach rechts bis zum Stecker des OPEN-Standards verschoben.

Diese „Through“-Verzögerung von 50,7 ps (die ja eine Phasenverschiebung bewirkt) korrigiert die Software nun wieder automatisch zurück bis zur gewünschten Referenz-Ebene.

Das vollständige „Calibration Setting File“ und seine Erstellung folgen auf der nächsten Seite.

Anmerkung:

Bei der „LOAD“-Kalibrierung sollten wir den **Widerstandswert** des verwendeten LOAD-Standards auf **2 Nachkommastellen genau** angeben. Nicht Jeder kann das, denn ein simples Digital-Multimeter reicht dazu nicht aus (korrekt kann man das nur mit einer speziellen 4 Punkt-Messmethode erledigen). **Wer diese Möglichkeit nicht hat, der trägt einfach 50 Ω ein.** Gibt nur einen kleinen Fehler.

(Ich selbst habe mir mit einem historischen Stück aus meinem Messgerätepark geholfen, nämlich einer alten, aber sehr genauen analogen Wheatstone-Messbrücke mit Zeigerinstrument. Sie lieferte bei meinem LOAD-Exemplar einen angenäherten Wert von **49,85 Ω**).

Das ist die Liste der Calibration Standard Daten, die wir eingeben müssen:

Calibration standards

Use ideal values

Short

L0 (H(e-12))	0
L1 (H(e-24))	0
L2 (H(e-33))	0
L3 (H(e-42))	0
Offset Delay (ps)	51.16

Open

C0 (F(e-15))	50
C1 (F(e-27))	0
C2 (F(e-36))	0
C3 (F(e-45))	0
Offset Delay (ps)	51.13

Load

Resistance (Ω)	49.85
Inductance (H(e-12))	0
Offset Delay (ps)	61.59

Through

Offset Delay (ps)	50.7
-------------------	------

Saved settings

Poulsen_Suhner Cables 30cm

Load Save Delete

1. Schritt:

Links unten auf dem Bildschirm „Calibration“ anklicken.

2. Schritt:

Im aufgehenden Menü ganz oben das Häkchen bei

„Use ideal values“

entfernen. (Violetter Rahmen)

3 Schritt

Alle Daten korrekt eintragen.

4. Schritt

„Save“ anklicken, einen Namen vergeben (bei mir lautet er

Poulsen_Suhner Cables 30cm

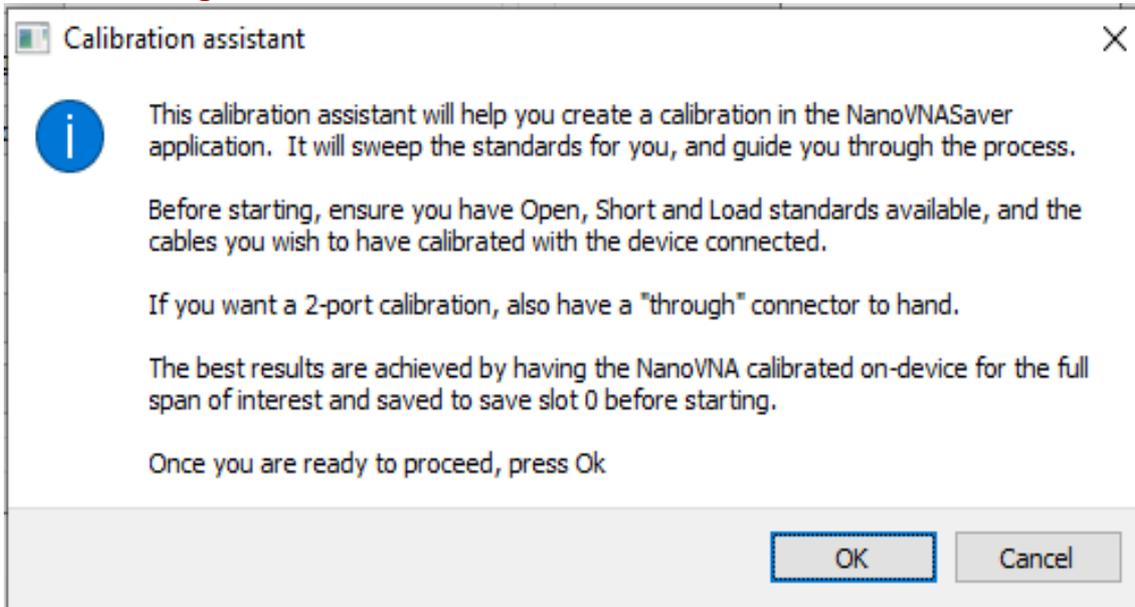
und speichern.

5. Schritt:

Abschließen mit „LOAD“.

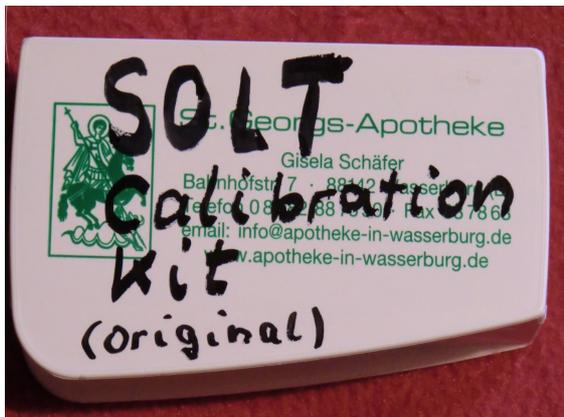
12. Die SOLT-Kalibrierung

Links in der Mitte des geöffneten Kalibrier-Menüs finden wir diesen „**Calibration assistant**“. Er führt uns sehr schön an der Hand durch die Prozedur der „**SOLT**“-Kalibrierung für S11.



Natürlich muss jetzt auch der **SOLT - Kalibriersatz** bereit liegen.

Hier ein praktischer Tipp zur Aufbewahrung meines privat „erweiterten“ SOLT - Vorrats:



Das leere Pillendöslein stammt als kleines Geschenk aus meiner Apotheke. Und in die drei entscheidenden Bauteile (= SOLT) des Inhaltes habe ich nacheinander die Buchstaben „S“, „O“ und „L“ mit der Reissnadel eingeritzt...

Mit OK starten wir die Prozedur und folgen einfach den Anweisungen.

Bitte nicht die Geduld verlieren, wenn der Rechner länger werkelt. Einfach immer nur den grünen Fortschrittsbalken im Sweep - Feld beobachten!

Wir werden nach der „**SOL**“ (= **Short / Open / Load**) - Kalibrierung darauf aufmerksam gemacht, dass wir noch nicht fertig sind und deshalb für eine **komplette SOLT-Kalibrierung** mit „**Yes**“ weiter machen müssen. Dazu fehlt nämlich noch „**Isolation**“ und „**Through**“.

Ist das geschafft, kann „**apply**“ angeklickt und damit die erfolgreiche Kalibrierung aktiviert werden.

Wichtig:

Vernünftig ist es, diese Kalibrierung unter einem eigenen Namen abzuspeichern (...wer weiß, wie viele andere Kalibrierungen noch dazu kommen werden...).

Als Beispiel: bei mir heißt sie „**Poulsen_Suhner 30cm_50k – 900MHz_20Seg**“

Aber bitte dann nicht vergessen, beim nächsten Start gleich das richtige Calibration File zu laden (..wenn man bereits einen Vorrat für verschiedene Frequenzbereiche oder Amateurfunk-Bänder angelegt hat..)

Man sollte sich nicht zu fein sein – speziell am Anfang! – , die korrekte Kalibrierung zu überprüfen und das machen wir im folgenden Kapitel.

13. Kontrolle des Kalibrier - Erfolgs

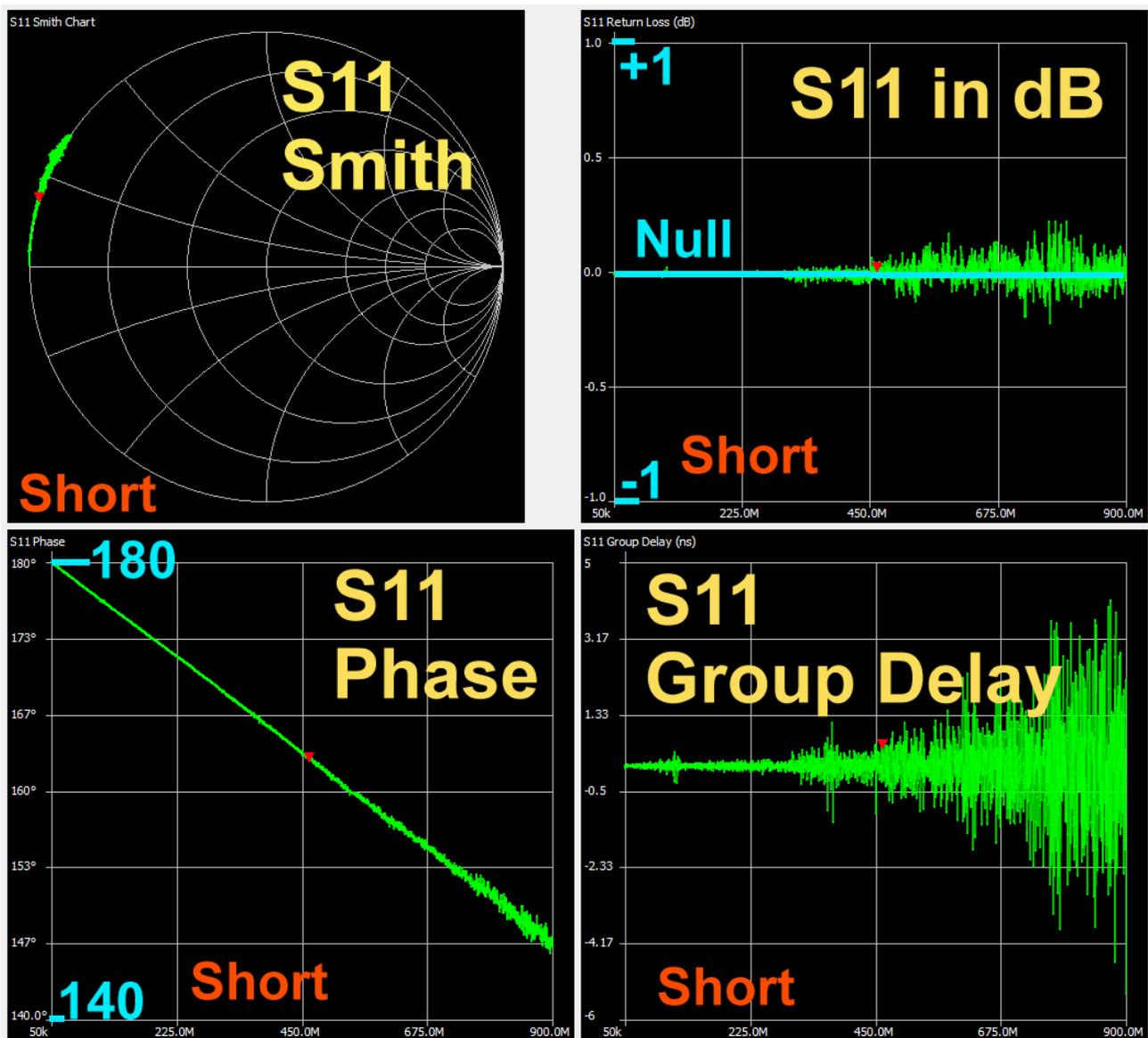
Vorsicht:

Diese Kurven sind NUR reproduzierbar, wenn alle SMA-Verbindungen nicht nur von Hand, sondern sorgfältig mit dem SMA-Drehmomentschlüssel angezogen wurden!

Die neue Programmversion bietet eine Vielzahl von Darstellungen an. Beginnen wir also mal mit dem **SHORT** und testen seine Qualität bis 900 MHz.

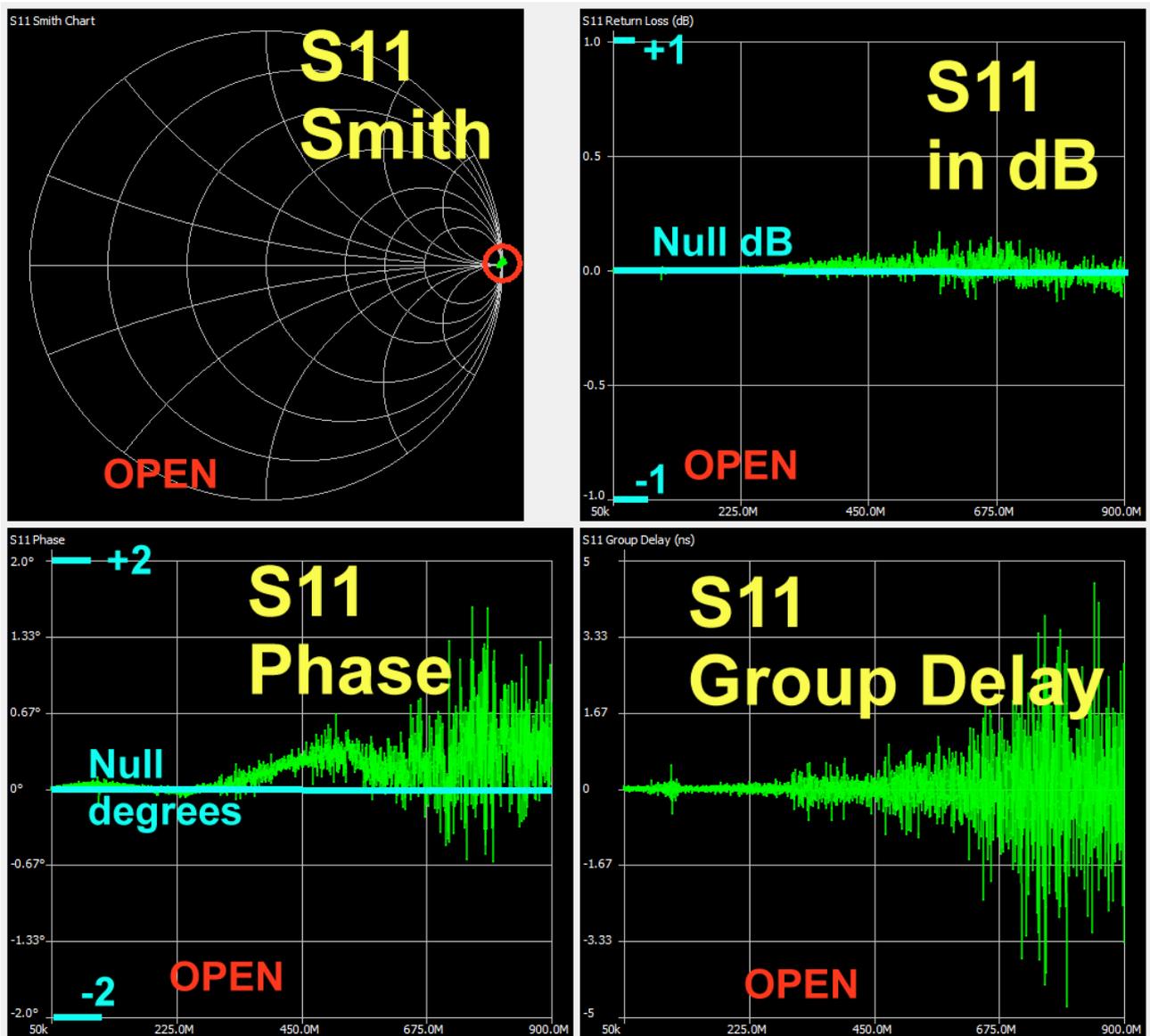
Hinweis:

Bei den kartesischen Diagrammen kann nun auch das Scrollrad der Maus zum Zoomen eingesetzt werden!



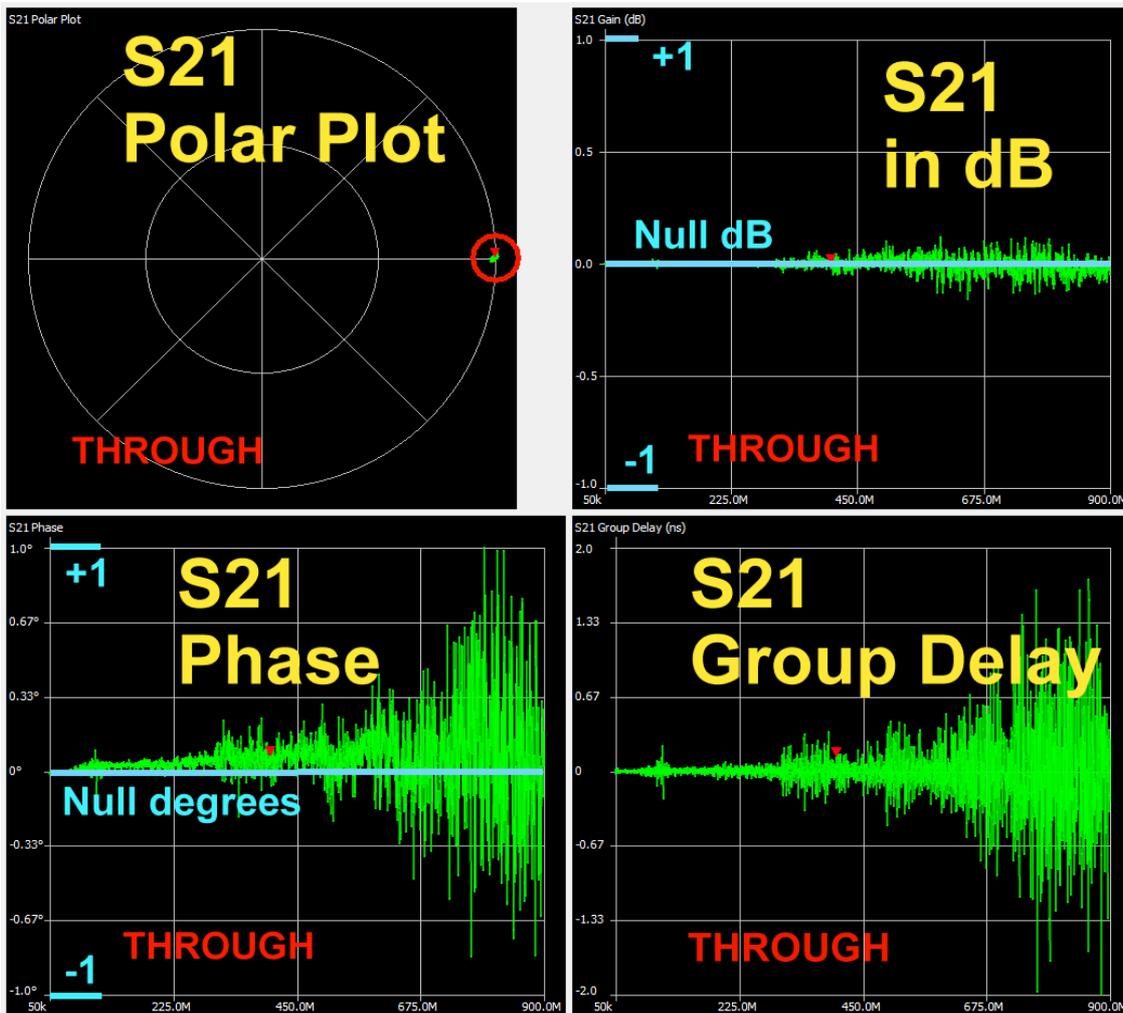
Sehr zufriedenstellend...

Es folgt dasselbe Spiel, aber nun mit dem **OPEN**-Standard. Wieder von 50 kHz bis 900 MHz:

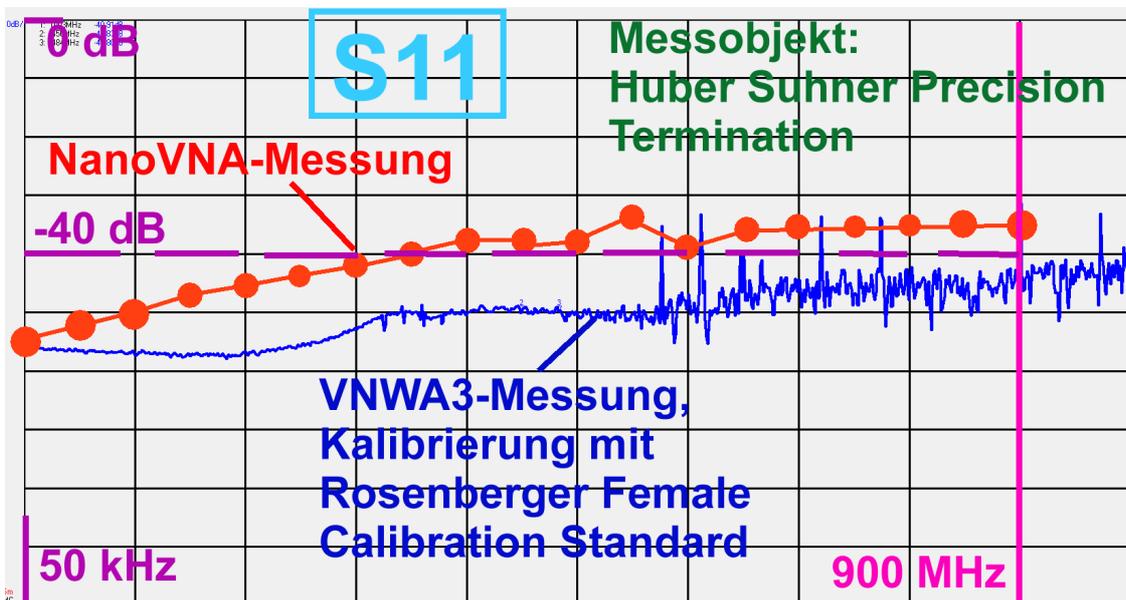


Bestens...

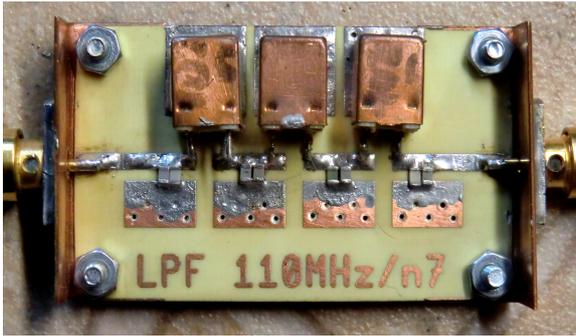
Wenn wir beide Messkabel über den „Through“-Adapter verbinden, dann kommen wir an den Verlauf von S21 heran:



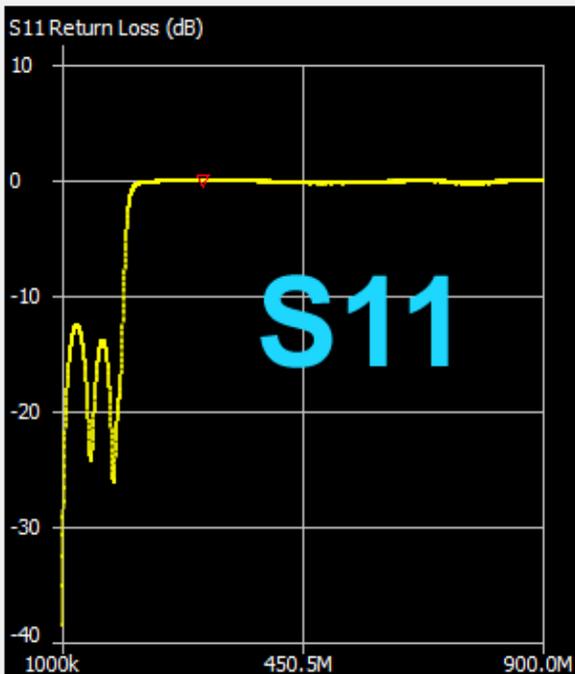
Und den Abschluß der Kontrolle dient eine S11 - Vergleichsmessung mit dem VNWA3 und einem Präzisions-Abschluß:



14. Praxistest an einem 110 MHz - Tiefpass

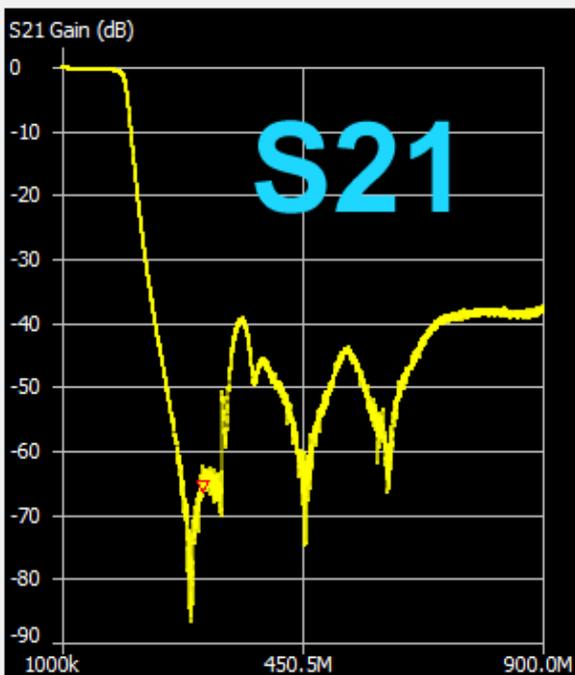


Da wir gerade bis 900 MHz kalibriert haben, ist dies das richtige Messobjekt. Die Leiterplatte ist mit aufgeschraubten Kupferblechwinkeln versehen. Die tragen jeweils eine SMA - Buchse und so liegt deren Innenleiter reflexionsarm auf der zentralen Microstrip - Leitung auf.



Hier die Messungen im Bereich von 1 MHz bis 900 MHz.

Im Sperrbereich (= stop band) sollte **S11 = Null dB** sein....das passt....



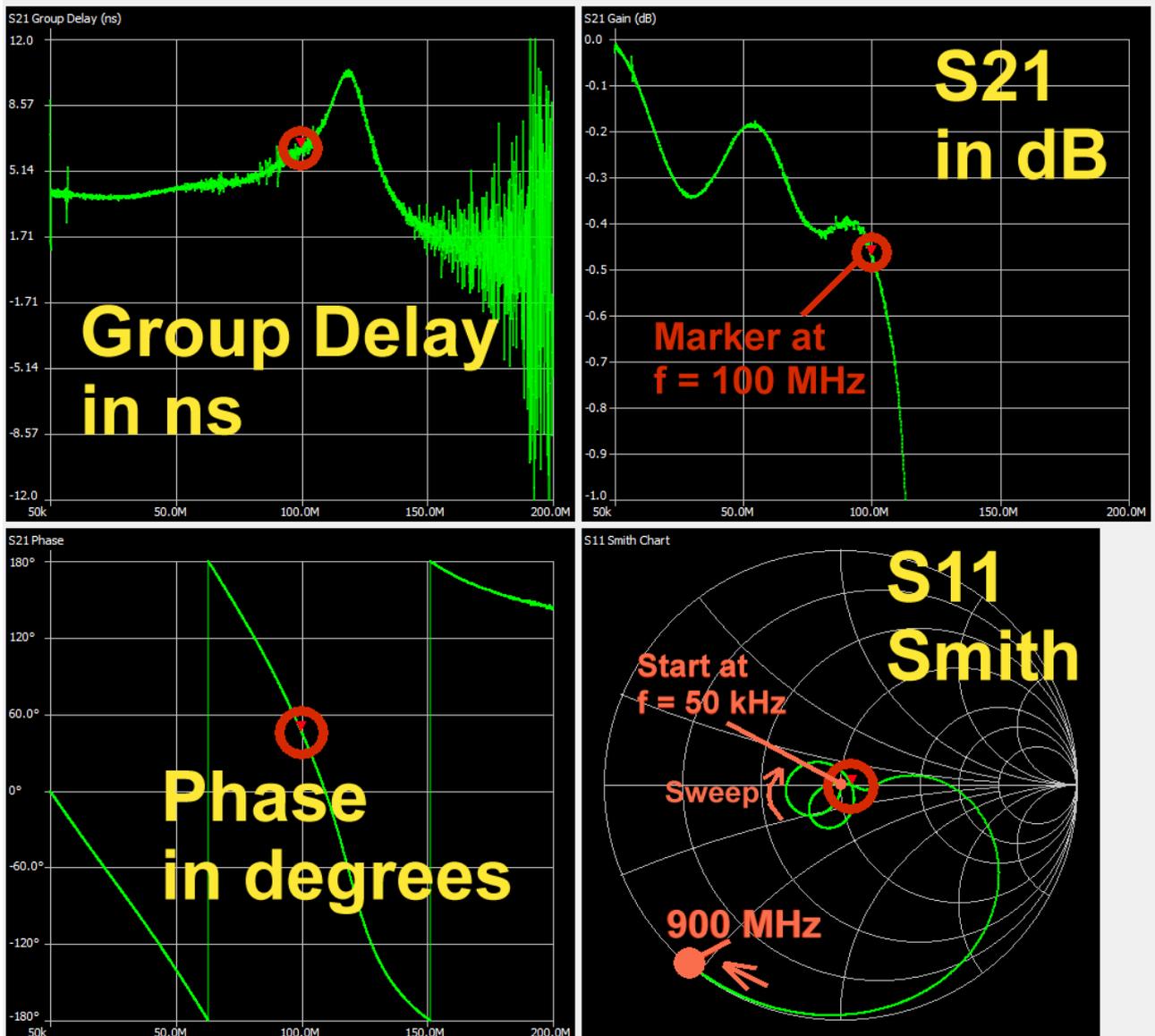
Und bei **S21** sehen wir sehr schön, wie sein Wert nach dem Verlassen des Passbandes von Null dB bis auf - 80 dB sinkt.

Dann machen im Stopp Band die Bauteil - Eigenresonanzen etwas Arger. Aber selbst von 600 bis 900 MHz erreichen wir knapp 40 dB Sperrdämpfung.

15. Das Passband: Grunddämpfung und Group Delay für unseren Tiefpass

Was man da an Details als Entwickler wissen möchte, kann man sich nun auf den Bildschirm holen. Dazu wurde die **Frequenzachse auf 50 kHz ...200 MHz** umgestellt.

(Hinweis: es können **maximal 6 Diagramme** gleichzeitig dargestellt werden).
Zu den **Markern** kommen wir im nächsten Kapitel.

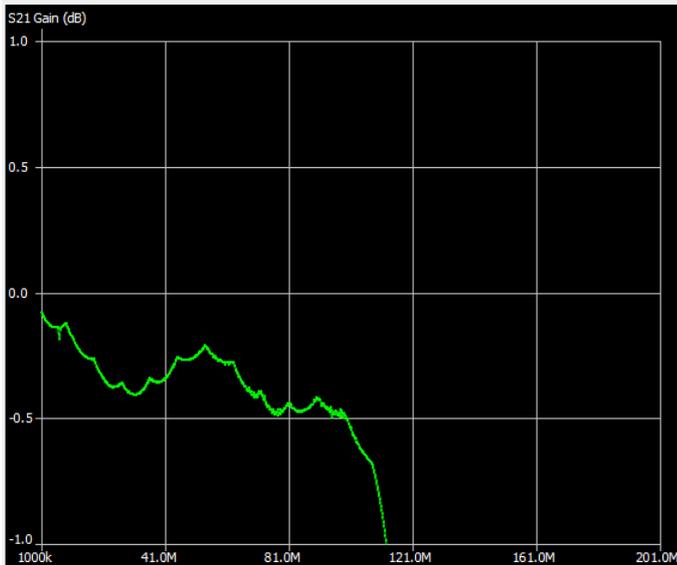


Aber jetzt noch eine Warnung und Bitte zur Frequenzbereichs-Umstellung:

Bitte solche „Ausschnitt-Vergrößerungen bei der Frequenzachse“ **immer nur durch einen Rechtsklick auf das Diagramm, gefolgt von dem Aufruf „frequency“ und der Eingabe des gewünschten Frequenzbereichs (Fixed Span) auf diese Weise vornehmen!**

– ABER MÖGLICHST NIE ÜBER EINE VERÄNDERUNG DER START- UND/ODER STOPP-FREQUENZ IM LINKEN OBEREN MENÜ, gefolgt von einem neuen Sweep!

Sonst:



Da kann nämlich unsere vorgenommene SOLT-Kalibrierung verloren gehen, wenn wir beim neuen Sweep nicht exakt alle gespeicherten Frequenz-Kalibrierpunkte treffen und in die „Zwischenräume“ geraten.

So würde dann leider das Passband bei unserem Tiefpass aussehen..

(hier war allerdings ein falsches Kalibrier-File schuld, das aus Versehen beim Start geladen wurde. Aber die Auswirkung ist identisch).

Wenn sich also ein neuer Sweep mit ganz anderen Grenzen nicht vermeiden lässt, muss man vorher erst neu kalibrieren bzw. ein passendes Calibration File laden!

Und noch ein Hinweis:

Sobald wir den NanoVNA vom PC aus betreiben, werden sofort alle auf dem Board in den Registern c0....c4 gespeicherten Kalibrierungen „eingefroren“ und die saver-Software steuert ALLES. Mit ihrer Hilfe können wir beliebig viele neue Kalibrier-Files erzeugen, abspeichern und darunter wählen (...sie werden nämlich im Programmordner auf dem PC gespeichert).

Betreibt man den NanoVNA dagegen **allein**, dann gelten auch wieder dessen alte Kalibrierungen in c0....c4. Man holt sich dann mit RECALL, was man braucht.

16. Die Sache mit den Markern

Marker 1 (= unterhalb des Sweep-Menüs) wurde aktiviert und eine Frequenz von **100 MHz** eingetragen. **Der Marker lässt sich anschließend durch „Ziehen mit der Maus“ entlang der Kurve verschieben.**

Marker 1	
Frequency:	99.8956 MHz
Impedance:	54.1 +j2.211 Ω
Admittance:	54.19 +j1326.0 Ω
Series R:	54.1 Ω
Series L/C:	3.523 nH
Series L:	3.523 nH
Series C:	-720.58 pF
Parallel R:	54.19 Ω
Parallel L/C:	2.113 μ H
Parallel L:	2.113 μ H
Parallel C:	-1.202 pF
VSWR:	1.094
Return loss:	-26.985 dB
Quality factor:	0.041
S11 Phase:	27.11°
S21 Gain:	-0.471 dB
S21 Phase:	44.64°

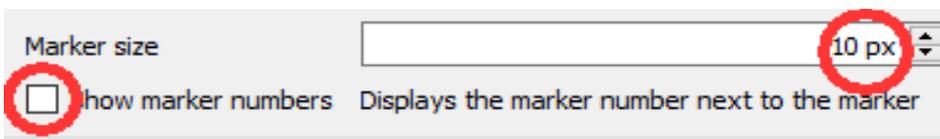
Maximal lassen sich drei Marker aktivieren. Man trägt ihre Frequenz ein, wählt ihre Farbe und sofort erscheinen sie im Diagramm.

Alle Daten, die zu jedem Marker gehören, werden oben neben dem Sweep-Menü gelistet.

(In der Programmversion v0.2.0. sind in dieser Ergebnis-Ausgabe nochmals weitere Daten dazu gekommen).

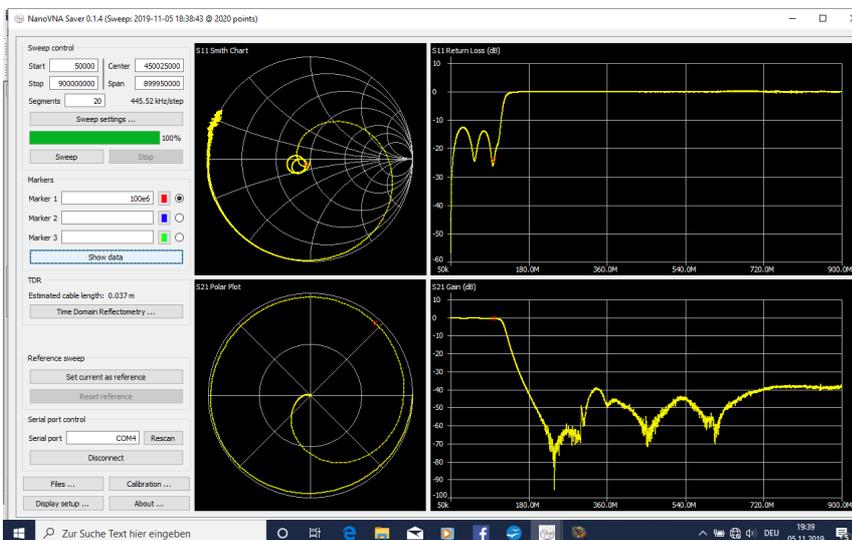
Weitere Informationen:

a) wenn wir eine Markerfrequenz von z. B. **100 MHz** eingeben, dann wählt das Programm den nächstliegenden Frequenzpunkt, für den eine Kalibrierung vorhanden ist (hier: **99,8956 MHz**)



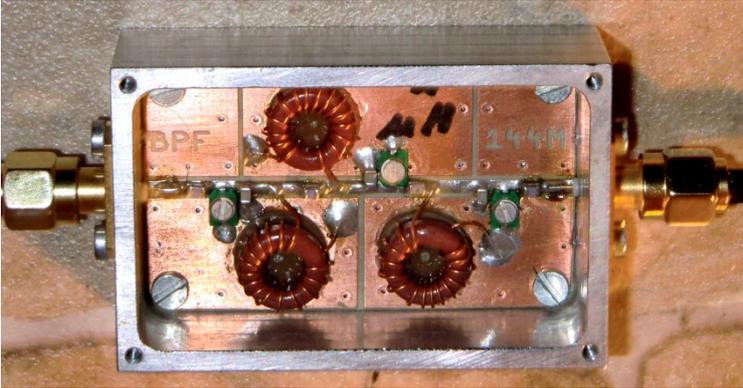
b) **Markergröße und Markerfarbe** lassen sich im Markermenü bzw. unter „Display-Settings“ einstellen.

Außerdem können wir die **Markernummern** in der Ergebnisdarstellung neben ihren Markern einblenden.



c) Wenn die Marker-Datenlisten stören, der kann sie mit „**hide data**“ **ausblenden**, Dafür werden die rechten Diagramme entsprechend verbreitert:

17. Ein Bandpass für 10,7 MHz als zweites Praxisbeispiel



Das ist das gute Stück: ein Bandpass vom Tschebyscheff-Typ mit einer Mittenfrequenz von 10,7 MHz und realisiert mit sehr verlustarmen Amidon Ringkern-Spulen ($Q = 150$). Das Ganze ist in ein gefrästes Aluminiumgehäuse eingebaut. Dem wollen wir mal auf den Zahn fühlen.

1. Schritt:

Bitte eine SOLT-Kalibrierung im Frequenzbereich von **5 MHz bis 15 MHz mit 20 Segmenten** durchführen.

2. Schritt:

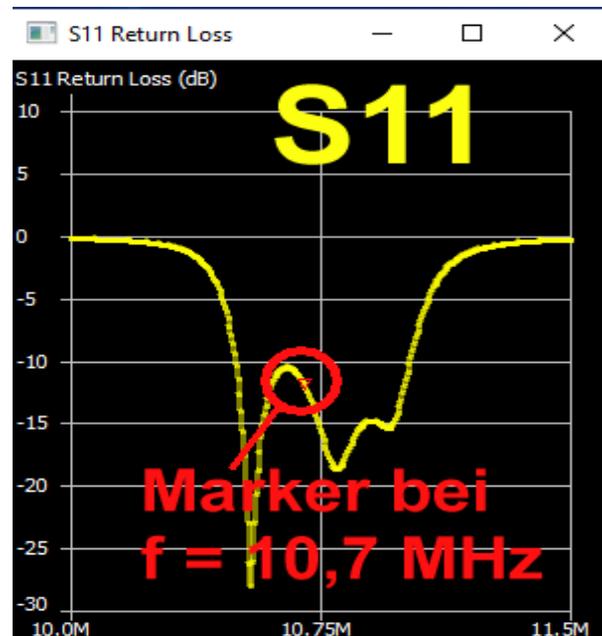
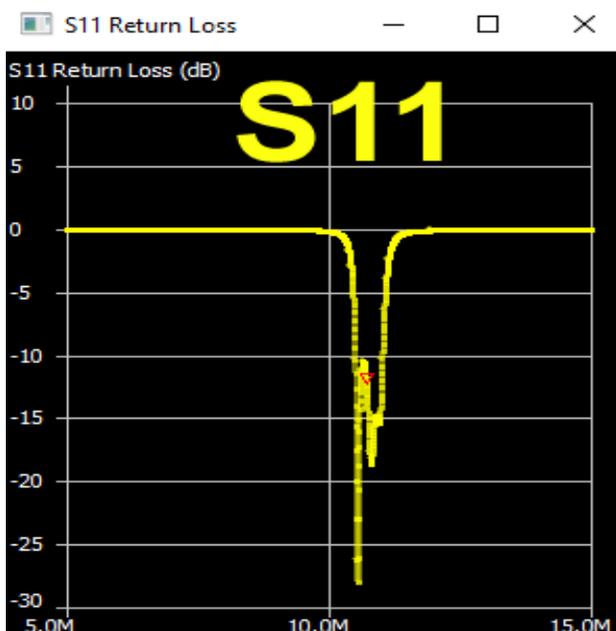
Das eben erzeugte Calibration File unter einem passenden Namen abspeichern und laden. Bei mir heißt es

„Suhner 30cm_Poulsen_5M-15M_20Seg“

3. Schritt:

Den Sweep von **5 MHz bis 15 MHz mit 20 Segmenten** starten

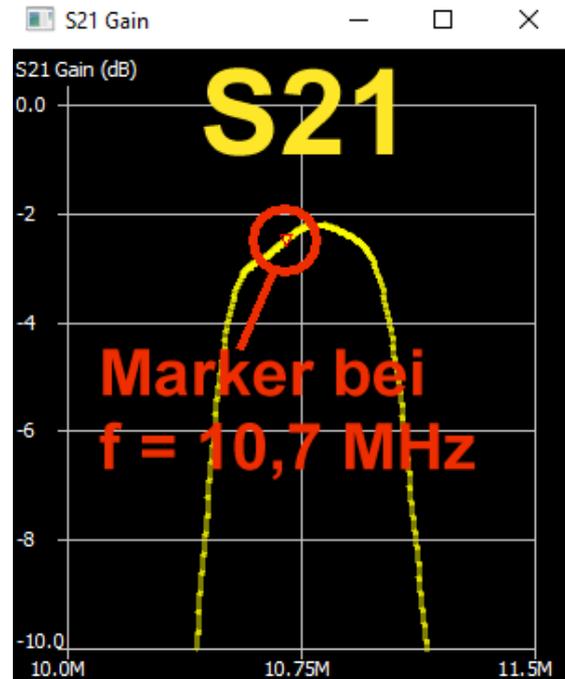
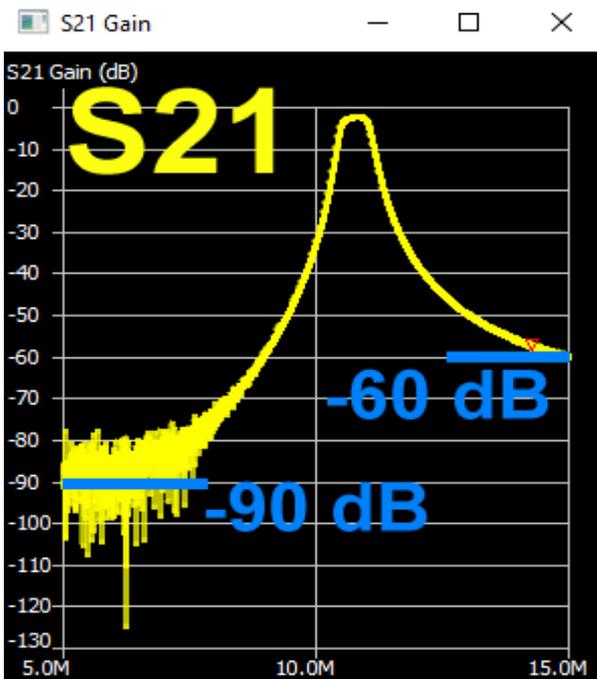
Ergebnis:



Im linken Bild ist **S11** im Frequenzbereich von **5...15 MHz**, im rechten dagegen von **10 bis 11,5 MHz** zu sehen.

Außerdem wurde im rechten Bild ein **Frequenzmarker für 10,7 MHz** eingetragen.

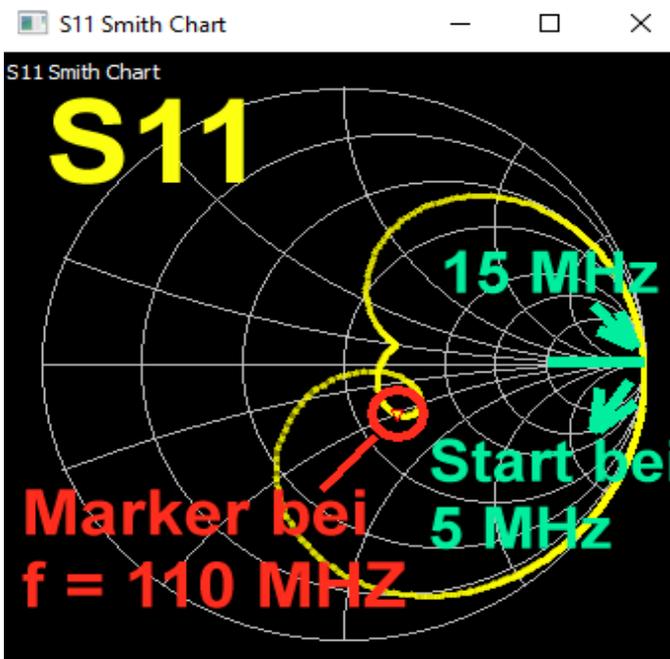
Jetzt folgt **S21**:



Im linken Bild können wir die beachtlichen Sperrdämpfungen bei 5 MHz ($S_{11} = -90$ dB) und bei 15 MHz ($S_{11} = -60$ dB) bewundern.

Das rechte Bild zeigt den Durchlassbereich (passband) mit einer kleinsten Dämpfung von 2,1 dB $f = 10,9$ MHz. Da fehlt wohl noch etwas Feinabgleich...

Solche Filterschaltungen zeigen bei der **S11-Darstellung im Smith Diagramm** sehr hübsche **Schleifen im Durchlassbereich** und das können wir ebenfalls aufrufen:

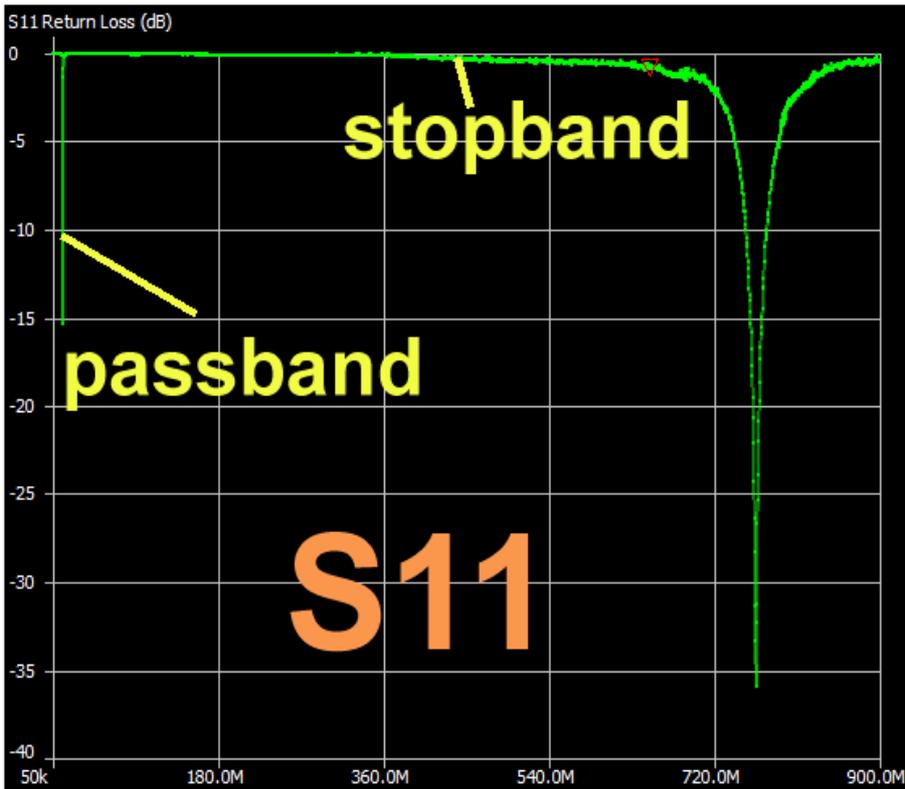


Hinweis:

Wir starten bei 5 MHz am Punkt „+1“ der waagrechten Achse.

Dann dreht sich die Kurve im Uhrzeigersinn und endet bei 15 MHz wieder beim gleichen Punkt „+1“

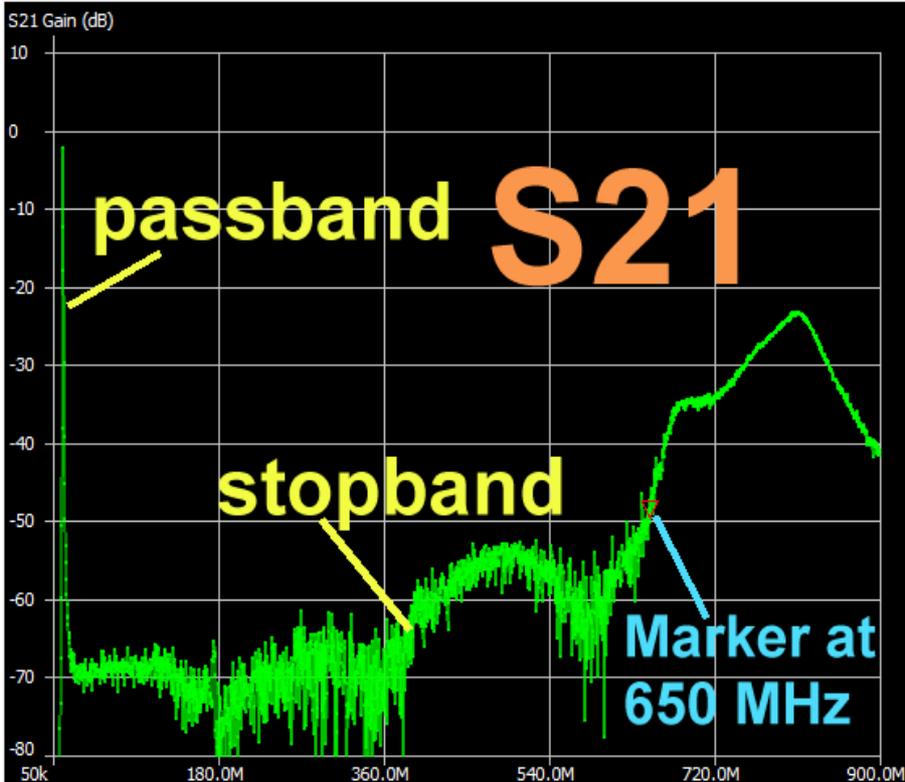
Und noch einen Gefallen können wir uns tun:



Wir laden das **Calibration File für 50 kHz bis 900 MHz** aus dem vorigen Kapitel und sweepen über diesen Bereich.

Jetzt sehen wir die **Sperrdämpfung (= stop band attenuation) bei S21**.

Sie bleibt bis **ca. 650 MHz unter -50 dB**. Darüber machen die verwendeten Bauteile mit ihren Eigenresonanzen einen Strich durch die Rechnung.



17.1. Die Analysis-Automatik

Eine feine Sache, denn sie liefert fast alle überhaupt denkbaren Parameter einer Filterschaltung nach der Messung. Allerdings muss man die **Spielregeln genau einhalten** und die sehen z. B. für unser eben untersuchtes Bandpass - Filter für 10,7 MHz so aus.

1. Schritt:

Für eine ausreichend genaue **Kalibrierung** in diesem reduzierten Frequenzbereich sorgen. Ich habe dafür extra das SOLT Calibration File

Suhner 30cm_Poulsen final_50k - 50 MHz_20 Seg_avg = 3

erstellt, gespeichert und geladen. (In der Bezeichnung stecken folgende Informationen:

Suhner Kabel mit 30 cm Länge, fest installiert

Calibration settings /= letzte Version von Kurt Poulsen -- Siehe unser Manuskript

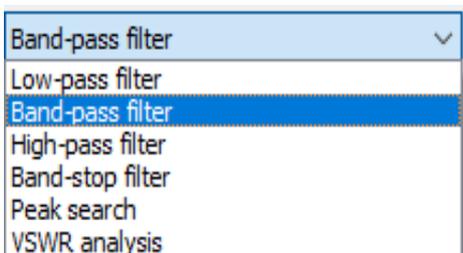
Frequenzbereich von 50 kHz.....50 MHz

Sweep-Bereich in 20 Segmente aufgeteilt

Unter „Sweep settings“ wurde der „Averaging Sweep“ zur Mittelwertbildung aus drei Messpunkten eingeschaltet – der mittelt deutlich das Rauschen aus

2. Schritt:

Es wird ein **Sweep von 9,5 MHz bis 10,5 MHz mit 10 Segmenten** gewählt.



3. Schritt:

Das Menü „**Analysis**“ (am unteren Rand der Bildschirm-Mitte wird geöffnet **und das Häkchen bei „Run automatically“ entfernt.**

Dann kann in diesem kleinen Menü auf „**Band-pass-filter**“ umgestellt werden.

Jetzt wird das **Häkchen bei „Run automatically“ wieder angebracht.**

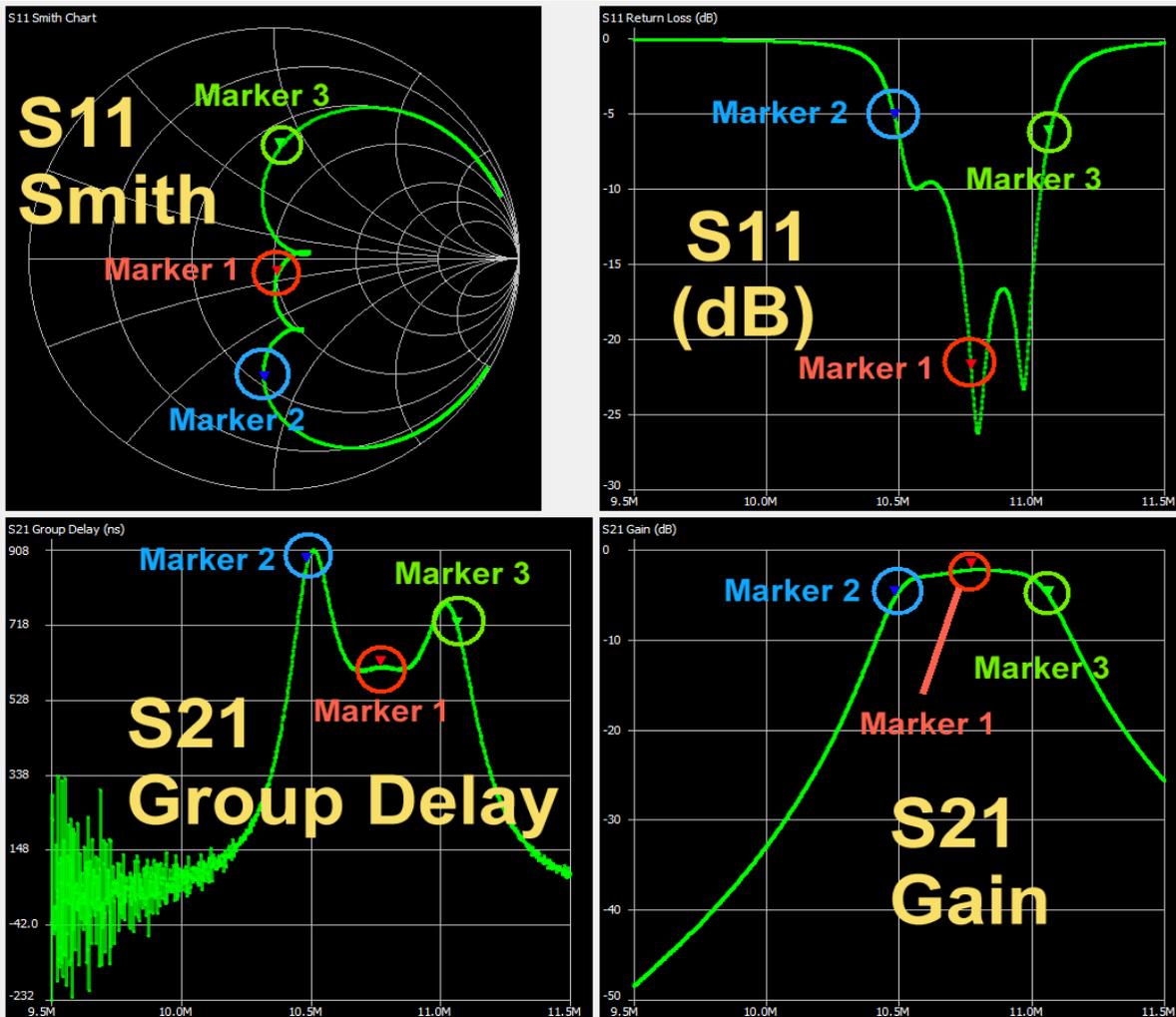
4. Schritt:

Bei Marker 1 wird die Mittenfrequenz von 10,7 MHz eingetragen.

5. Schritt:

Sweep starten.

Das ergibt folgendes Ergebnis:



Die genauen Details findet man auf der linken Bildschirmhälfte (= folgende Seite):

Bei „1“ sind die genauen Markerfrequenzen aufgeführt.

Marker 1 (= Liste 2) zeigt auf die exakte **Mittelfrequenz** von 10,771488 MHz.
S21 (= Gain) beträgt dort -2,207 dB

Marker 2 (Liste 3 für 10,485 MHz) stellt die **Untere Grenzfrequenz** dar. Bei Ihr nahm die Dämpfung um 3 dB zu, deshalb hat S21 den Wert -5,207 dB

Marker 3 (Liste 4 bei 11,065774 MHz) bildet die **Obere Grenzfrequenz**. Wieder ist dort die Dämpfung um 3 dB angestiegen, deshalb messen wir dort erneut S11 = -5,207 dB.

Schließlich findet sich in Liste 5 bei S11 der minimale Wert des VSWR (1,103 bei 10,7962 MHz und der zugehörige dB-Wert von S11 = -26.227 dB

Auch diese S21 – Angaben dürfen nicht fehlen:

S21 max = -2.185 dB bei f = 10,8002 MHz / S21 min = -48,421 dB bei f = 9,50190 MHz

The screenshot shows a network analyzer interface with several panels and data sections:

- Sweep control:** Start: 9.5e6, Center: 10.50MHz, Stop: 11.5e6, Span: 2.00MHz, Segments: 10, 1.980kHz/step. A green progress bar is at 100%. Buttons for 'Sweep' and 'Stop' are present.
- Markers:** Three markers are listed:
 - Marker 1: 10771488 (red box, annotation 1)
 - Marker 2: 10485028 (blue box, annotation 3)
 - Marker 3: 11065774 (green box, annotation 4)
- TDR:** Estimated cable length: 0.0 m. Button: 'Time Domain Reflectometry ...'
- Marker 1 Data:**
 - Frequency: 10.7724MHz
 - Impedance: 50.94 -j7.94 Ω
 - Admittance: 52.18 -j334.8 Ω
 - Series R: 50.94 Ω
 - Series L/C: 1.8607 nF
 - Series L: -117.31 nH
 - Series C: 1.8607 nF
 - Parallel R: 52.18 Ω
 - Parallel L/C: 44.129 pF
 - Parallel L: -4.9464 μ H
 - Parallel C: 44.129 pF
 - VSWR: 1.171
 - Return loss: -22.052 dB
 - Quality factor: 0.156
 - S11 Phase: -78.75°
 - S21 Gain: -2.207 dB
 - S21 Phase: -20.69°
- Marker 2 Data:**
 - Frequency: 10.4850MHz
 - Impedance: 26.14 -j39.2 Ω
 - Admittance: 84.94 -j56.63 Ω
 - Series R: 26.14 Ω
 - Series L/C: 387.23 pF
 - Series L: -595.03 nH
 - Series C: 387.23 pF
 - Parallel R: 84.94 Ω
 - Parallel L/C: 268.04 pF
 - Parallel L: -859.60 nH
 - Parallel C: 268.04 pF
 - VSWR: 3.309
 - Return loss: -5.418 dB
 - Quality factor: 1.5
 - S11 Phase: -94.08°
 - S21 Gain: -5.256 dB
 - S21 Phase: 124.97°
- Marker 3 Data:**
 - Frequency: 11.0658MHz
 - Impedance: 33.03 +j40.36 Ω
 - Admittance: 82.34 +j67.39 Ω
 - Series R: 33.03 Ω
 - Series L/C: 580.48 nH
 - Series L: 580.48 nH
 - Series C: -356.36 pF
 - Parallel R: 82.34 Ω
 - Parallel L/C: 969.25 nH
 - Parallel L: 969.25 nH
 - Parallel C: -213.42 pF
 - VSWR: 2.804
 - Return loss: -6.48 dB
 - Quality factor: 1.222
 - S11 Phase: 86.89°
 - S21 Gain: -5.219 dB
 - S21 Phase: -162.06°
- Summary Data (Annotation 5):**
 - S11:** Min VSWR: 1.103 @ 10.7962MHz, Return loss: -26.227 dB
 - S21:** Min gain: -48.421 dB @ 9.50190MHz, Max gain: -2.185 dB @ 10.8002MHz
- Reference sweep:** Button: 'Set current as reference'

Doch es geht noch weiter, denn wenn man sich zusätzlich nochmals das „**Analysis-Menü**“ auf den Schirm holt, sieht man noch viel mehr – **lauter interessante Details:**



Sweep analysis



Select analysis

Analysis type Band-pass filter

Run analysis

Run automatically

Analysis

Band pass filter analysis

Please place Marker 1 in the filter passband.

Result: Analysis complete (1010 points)

Center frequency: 10.7715MHz

Bandwidth (-3 dB): 580.746kHz

Quality factor: 18.55

Bandwidth (-6 dB): 685.828kHz

Lower side:

Cutoff frequency: 10.4850MHz (-3.1 dB)

-6 dB point: 10.4374MHz

-60 dB point:

Roll-off: 463.356 dB / octave

Roll-off: 1539.234 dB / decade

Upper side:

Cutoff frequency: 11.0658MHz (-3.0 dB)

-6 dB point: 11.1233MHz

-60 dB point: 12.2939MHz (derived)

Roll-off: 370.049 dB / octave

Roll-off: 1229.276 dB / decade

17.2. Set Sweep as Reference

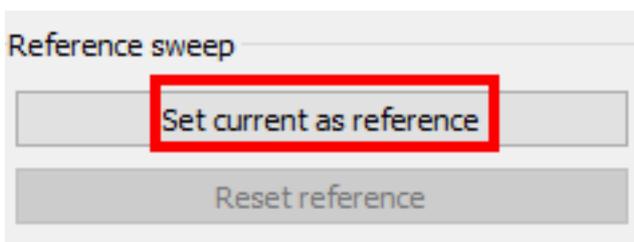
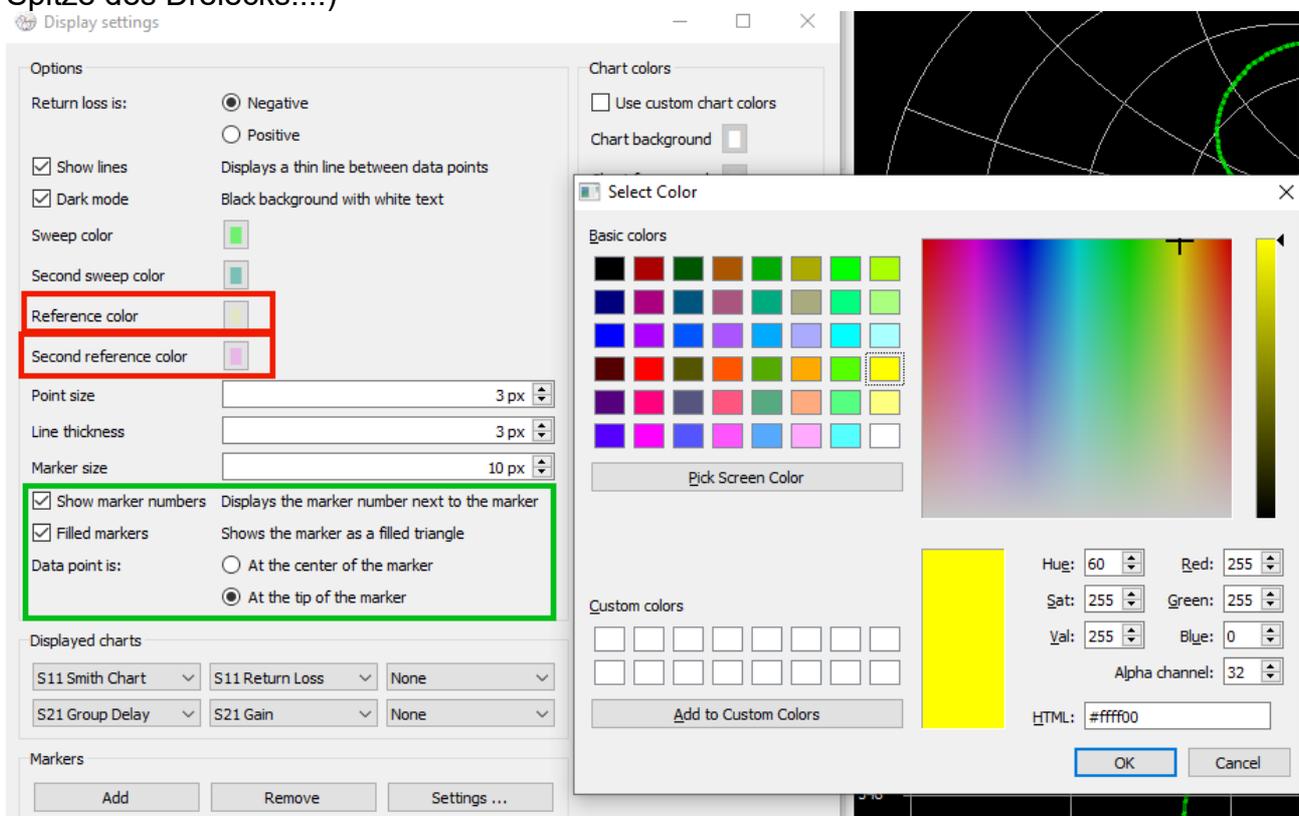
Eine praktische Sache, denn damit kann man die Ergebnisse einer Änderung mit dem vorigen Zustand vergleichen.

1. Schritt:

Man sollte (wenn man mit dunklem Hintergrund arbeitet) zuerst die **Farbe** für die **Referenzdarstellung** ändern. Die **default - Einstellung ist nämlich dunkelblau** und diese Kurve ist dann auf dem schwarzen Diagramm **fast nicht zu erkennen**. **Gelb oder Pink** bewähren sich da gut.

(Zur Erinnerung dient auch der **grüne Kasten**:

hier können wir alles an den **Markern** verstellen – Einblendung der Marker-Nummer / leeres oder gefülltes Dreieck / Markierung des Messpunktes mit der Mitte oder der unteren Spitze des Dreiecks....)



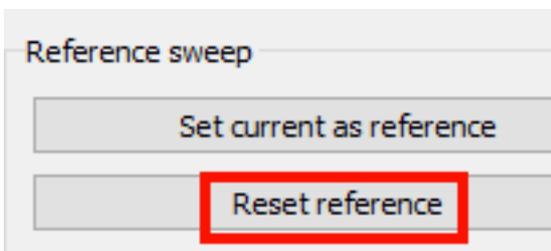
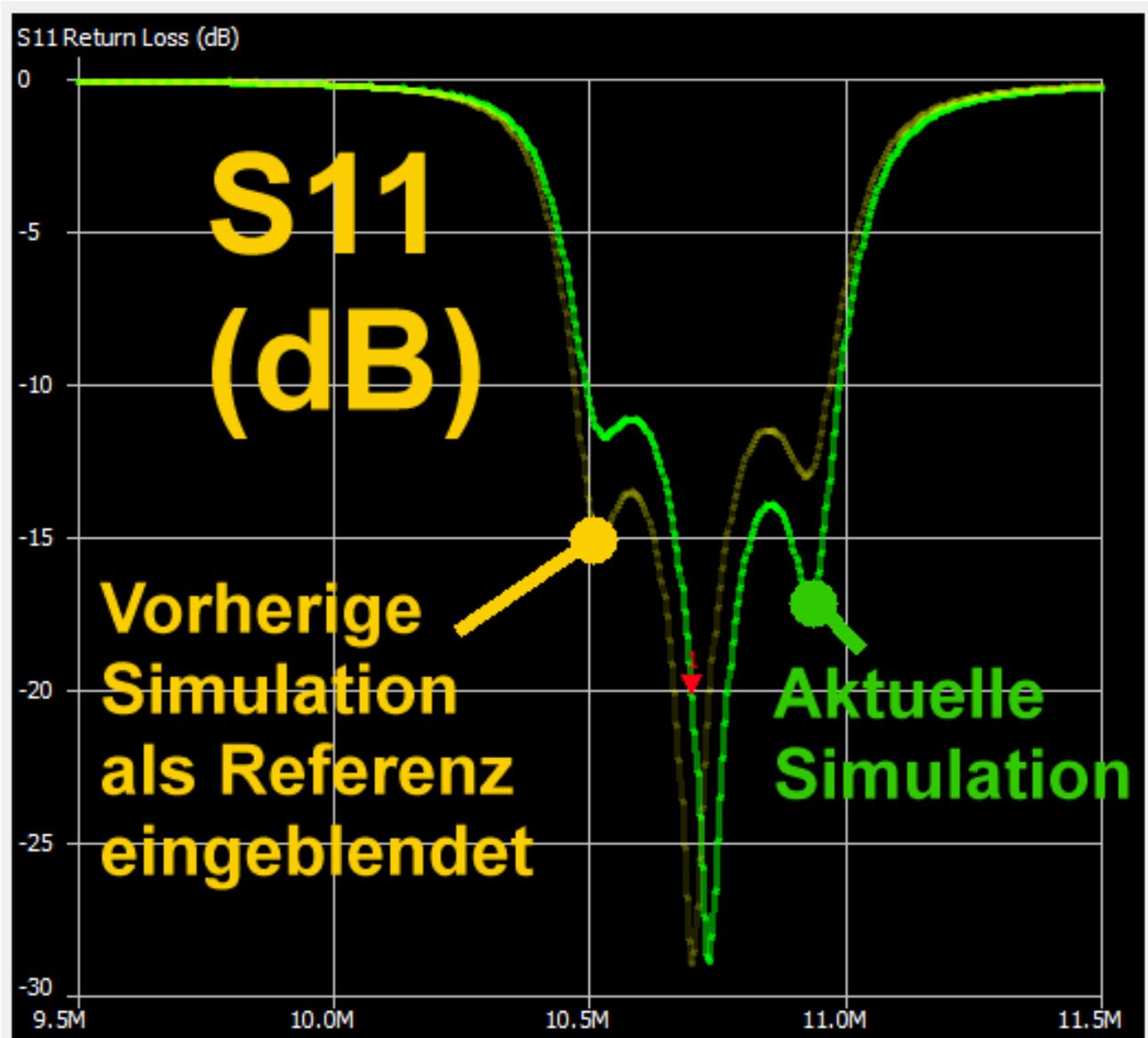
2. Schritt:

Jetzt sweepen wir und klicken dann in der linken unteren Ecke auf

Set current as reference

3. Schritt:

Ich habe nun das Bandpass-Filter ganz **leicht verstimmt** und nochmals gemessen. Die dadurch entstehenden leichten **Änderungen der Filterdaten erkennt man stets immer am besten an der Eingangs-Reflektion S11**:



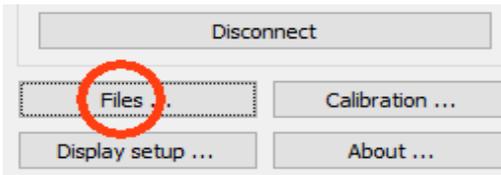
Wenn man die Referenzkurve nicht mehr braucht, dann klickt man einfach auf

Reset reference

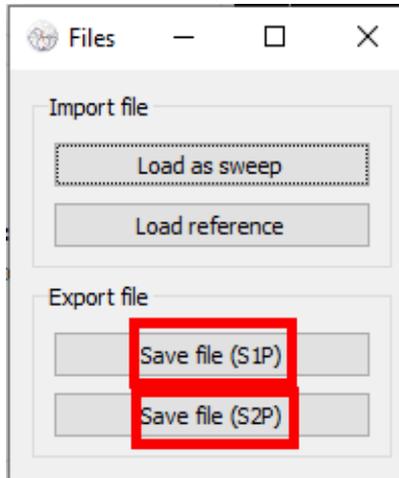
Persönliche Anmerkung:

Schade, dass ein Sweep solange dauert. Deshalb eignet sich diese Methode schlecht oder erst mit viel Erfahrung zum Feinabgleich eines Filters, da man nach jeder Korrektur einfach viel zu lange warten muss...

17.3. Speichern der erzeugten Touchstone Files für S11 und S21

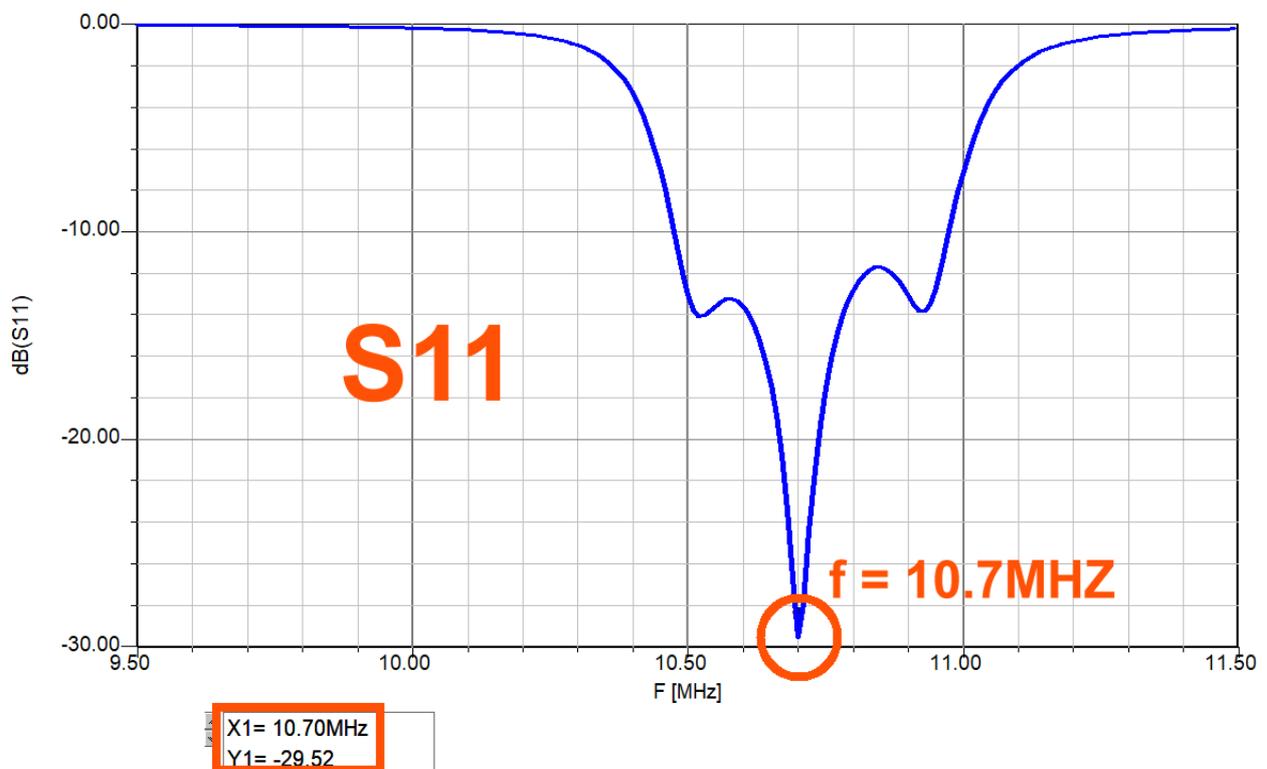


Zuerst „Files“ im linken unteren Eck des Bildschirmes öffnen....

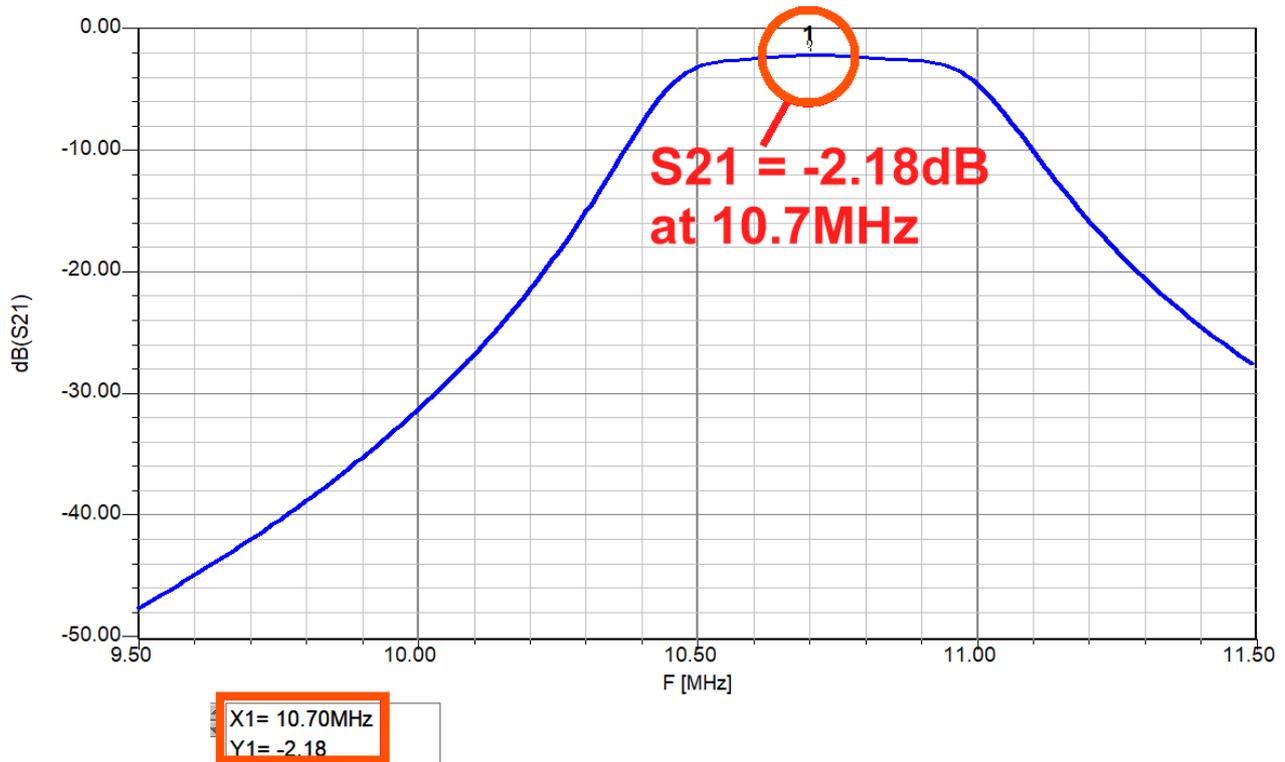


....und dann nacheinander S11 und S21 in eigenen Files (und mit eigenen Namen) in einem passenden Ordner speichern.

Nach einer weiteren Abgleich-Prozedur und einem neuen Sweep:
So sieht jetzt eine Test-Simulation mit dem S11 - file unter der Software „Ansoft Designer SV“ aus. (Diese kann aus meiner Homepage www.gunthard-kraus.de heruntergeladen werden).



Und nun noch S21:

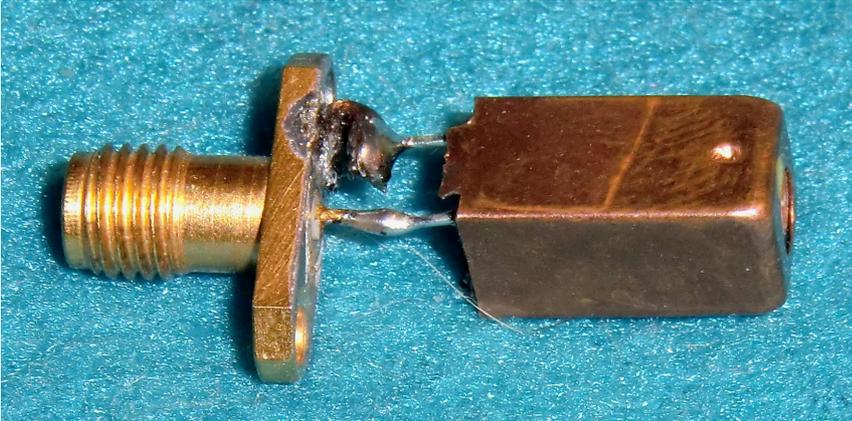


Bitte mal mit den Ergebnissen in Kapitel 17.1. vergleichen...

Hinweis:

Die Software ist leider (noch?) nicht in der Lage, beide Größen (S11 und S21) wie gewohnt gleichzeitig in ein einziges S-Parameter-File zu schreiben. Es bleibt also bei dieser Darstellung in zwei getrennten Diagrammen....

18. Drittes Beispiel: Ermittlung der Eigenschaften einer Filterspule



Auch das geht mit dem NanoVNA und im nebenstehenden Bild ist sie zu sehen. Es handelt sich um ein älteres Exemplar der Firma Neosid mit einer Grundfläche von 7,5 mm x 7,5 mm.

Sie wurde an eine SMA-Buchse angelötet und kann damit direkt an das Messkabel von Channel „CH0“

angeschlossen werden.

Wissen wollen wir:

- a) den Verlauf von Blindwiderstand und Verlustwiderstand von 50 kHz bis 100 MHz
- b) den Verlauf der Spulengüte $Q = f(f)$ in diesem Frequenzbereich
- c) den exakten Wert der Induktivität L , der Güte Q , den Verlustwiderstand und die Induktivität bei $f = 30$ MHz

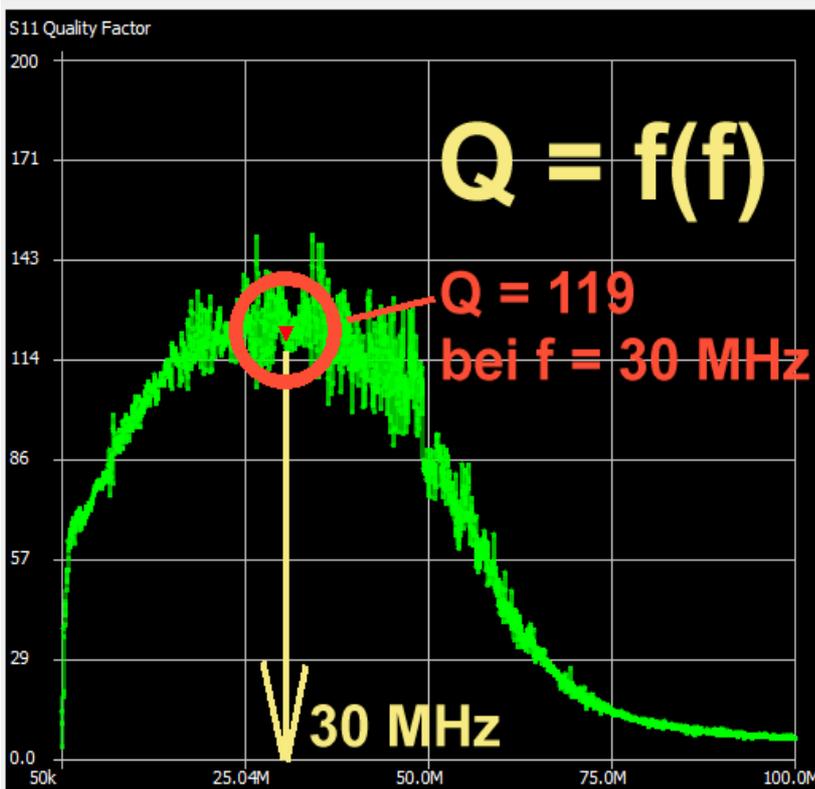
Wir starten also den Sweep von 50 kHz bis 100 MHz und lassen uns diese Sachen anzeigen.

a) **R** und **X = f(f)**



Man sieht am Kurvenverlauf, dass etwa ab **50 MHz die Induktivität größer** wird (= X - Kurve wird steiler).

Dafür nehmen **ab dieser Frequenz die Verluste immer schneller zu** (= R - Kurve)



b) Güte $Q = f(f)$

Das Güte-Maximum liegt eindeutig bei $f = 30 \text{ MHz}$ mit $Q = 119$

Marker 1	
Frequency: 30.6929MHz	Parallel L: 992.48 nH
Impedance: 1.606 +j191.4 Ω	Parallel C: -27.092 pF
Admittance: 22.8k +j191.4 Ω	VSWR: 487.19
Series R: 1.606 Ω	Return loss: -0.036 dB
Series L/C: 992.48 nH	Quality factor: 119.1
Series L: 992.48 nH	S11 Phase: 29.28°
Series C: -27.092 pF	S21 Gain: -89.908 dB
Parallel R: 22.8k Ω	S21 Phase: -75.65°
Parallel L/C: 992.48 nH	

c) Das Markerfenster liefert über Marker 1 diese genauen Daten für $f = 30 \text{ MHz}$:

$R = 1,606 \Omega$

$L = 992,48 \text{ nH}$

$Q = 119,1$

19. Ferritantenne für VLF-Experimente

Ferritantennen aus alten Radios eignen sich hervorragend für den Bau von VLF-Antennen, mit denen der Frequenzbereich von 0....150 kHz untersucht werden kann. Dort gibt es viele interessante Dinge – von der Uboot-Kommunikation über „Schumann-Resonanzen des Erdballs“ bis hin zu Zeitzeichen-Sendern wie DCF77.

Da ist es kein Schaden, wenn man sich mit Hilfe des NanoVNA über die Eigenschaften des verwendeten Ferritmaterials schlau macht. Und das geht so:



Zuerst werden die alten, vorhandenen Wicklungen entfernt und dafür **10 Windungen Kupferlackdraht CuL mit 0,5 mm Durchmesser** aufgebracht. Die Enden dieser Spule werden an eine **SMA-Buchse gelötet** und die wird mit den Messkabeln des NanoVNA verbunden.

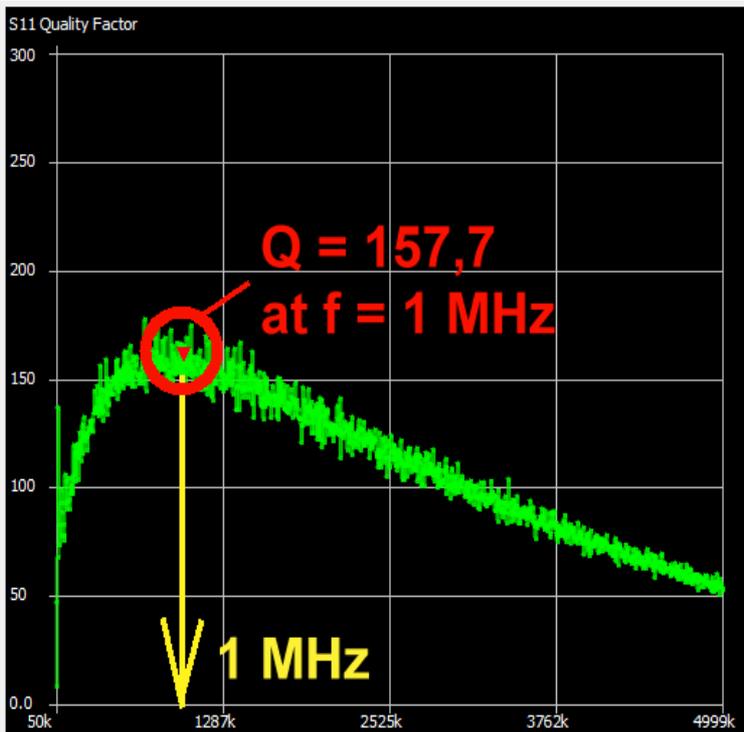
Nach dem Start des NanoVNA samt PC und NanoVNA-saver-Software müssen wir zuerst eine **Kalibrierung für den Frequenzbereich von 50 kHz bis 5 MHz mit 20 Segmenten** erstellen. Das entstandene Calibration File wird unter einem **interessanten Namen** (bei mir: „**Suhner 30cm_Poulsen_50k - 5MHz_20Seg**“) gespeichert und geladen.



Dann wird in diesem Frequenzbereich gemessen und ausgewertet. Fangen wir mit **R und X** an.

Es ist gut zu erkennen, dass der **Verlustwiderstand R** oberhalb von 1....1,5 MHz **schnell und brutal ansteigt**. Entsprechend **schnell** wird deshalb die **Güte sinken**.

(Das ist wohl unvermeidlich, denn diese Ferritantenne wurde in einem alten Röhrenradio nur für den Mittelwellenbereich von 500 kHz bis 1600 kHz eingesetzt).



Die Sache mit dem Güte-Abfall haben wir nun schon geahnt und hier ist die Bestätigung.

(Immerhin: $Q = 157,7$ bei 1 MHz ist kein übler Wert...)

Marker 1	
Frequency: 1.00151MHz	Parallel L: 8.6244 μ H
Impedance: 0.344 +j54.27 Ω	Parallel C: -2.9282 nF
Admittance: 8559.0 +j54.27 Ω	VSWR: 316.485
Series R: 0.344 Ω	Return loss: -0.055 dB
Series L/C: 8.6244 μ H	Quality factor: 157.7
Series L: 8.6244 μ H	S11 Phase: 85.31°
Series C: -2.9282 nF	S21 Gain: -80.696 dB
Parallel R: 8559.0 Ω	S21 Phase: -9.18°
Parallel L/C: 8.6244 μ H	

Bei $f = 1$ MHz finden wir über **Marker 1** alle weiteren Informationen. Wichtig ist dort die Induktivität mit

$L = 8,6244 \mu\text{H}$

Mit ihrer Hilfe können wir den AL-Wert berechnen, der zur Erzielung anderer Induktivitätswerte erforderlich ist.

Mit $L = 8,6244 \mu\text{H} = 8622,4 \text{ nH}$ und $N = 10$ erhalten wir

$$AL = L / N^2 = 8622,4 \text{ nH} / 100 = \mathbf{86,22 \text{ nH}}$$

Aber Vorsicht, denn die Praxis bei der Herstellung neuer Antennen zeigt: Wegen des großen Streufeldes eines solchen Ferritstabes steigt die Induktivität nicht mehr genau nach der bekannten Formel

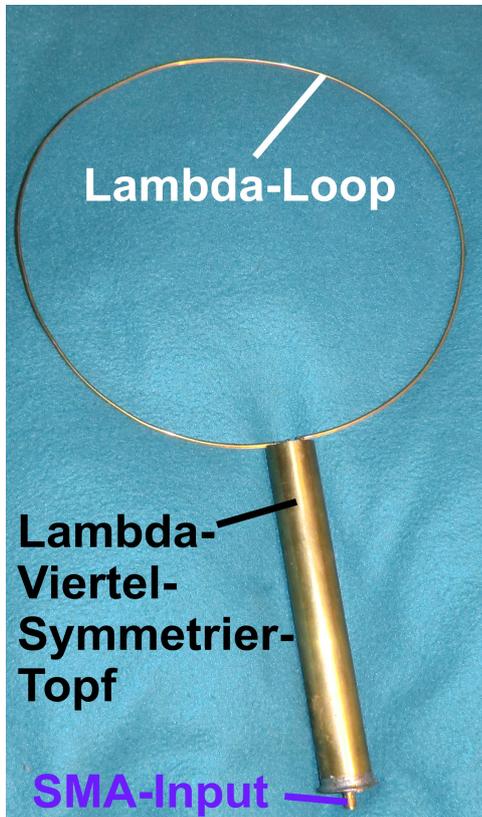
$$L = AL \times N^2$$

sondern deutlich schwächer. Man kommt also um ein Muster, eine Kontrollmessung und einer Korrektur der Windungszahl nicht herum.

20. Fünftes Beispiel: Ganzwellen-Loop - Antenne für das 70cm - Band

Sie besteht aus einem Stück Draht (mit 2mm Durchmesser), dessen Länge **genau einer Wellenlänge bei der vorgesehenen Betriebsfrequenz entspricht** (...bei $f = 433$ MHz wären das 693 mm).

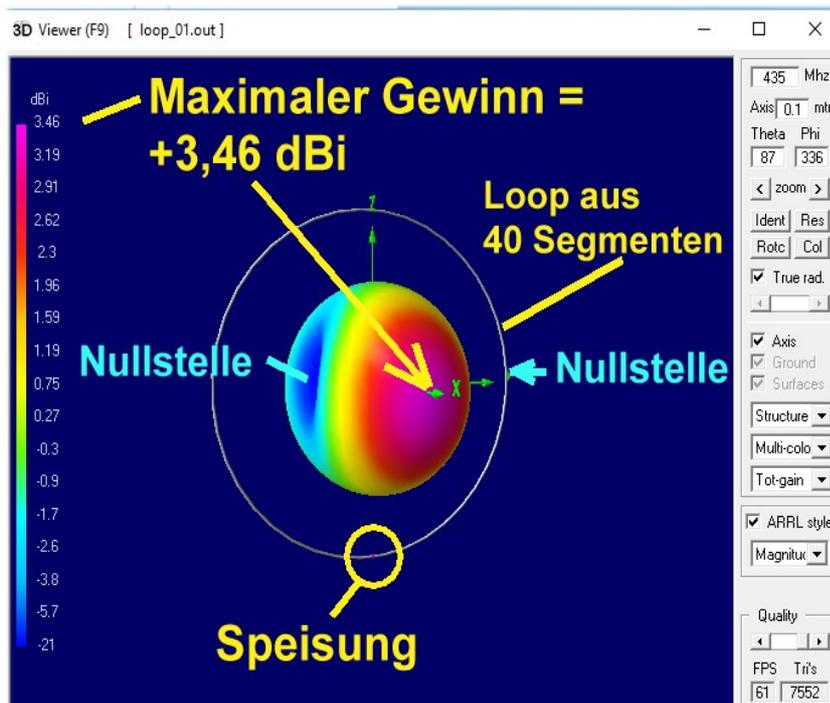
Dieser Draht wird zum Kreis gebogen und der weist dann einen Durchmesser von **22 cm** auf.



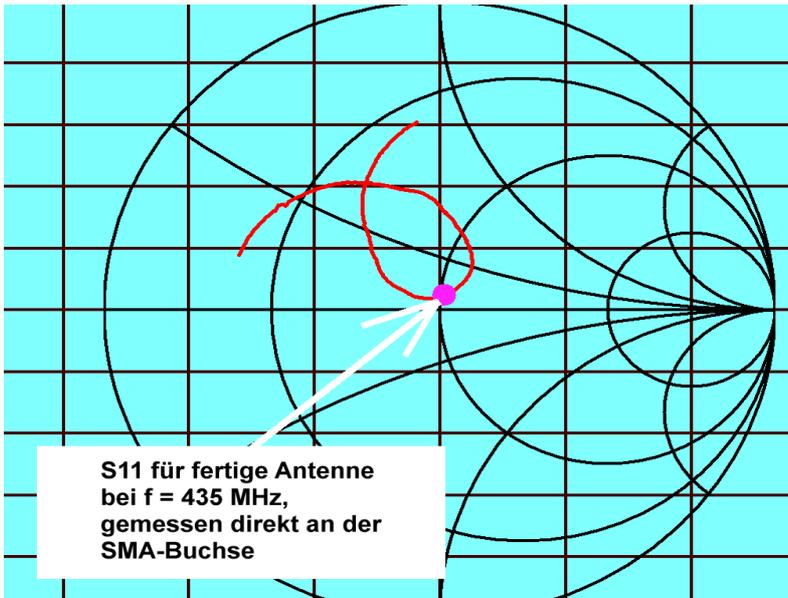
Diese Antenne sollte immer **erdsymmetrisch** betrieben werden und deshalb sind Drahtanfang und Drahtende an eine **Symmetrier-Einrichtung** angeschlossen. Bei diesem Exemplar ist das ein „**Lambda-Viertel-Symmetriertopf**“.

Am anderem Ende des Topfes finden wir eine **SMA-Buchse zur Einspeisung des Sendesignals über ein Koaxialkabel** – also vorschriftsmäßigen unsymmetrischen Betrieb.

Über die Entwurfsprozedur mit dem Programm **4NEC2**, die genauen Eigenschaften, die Strahlungsdiagramme und den praktischen Aufbau mit dem Symmetriertopf erscheint demnächst ein ausführlicher Artikel in der Zeitschrift „**UKW-Berichte**“. Dieser Artikel steht anschließend in meiner Homepage (www.gunthard-kraus.de) zum Download und zum Nachlesen zur Verfügung.

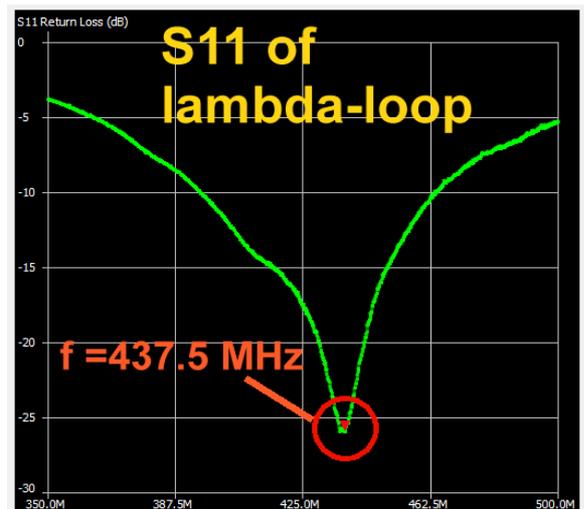
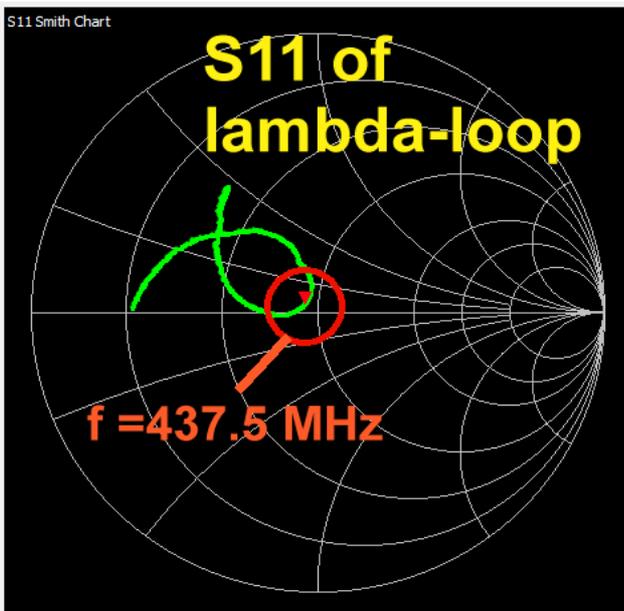


Aus diesem Artikel stammt auch die 3D-Simulation der Abstrahlung einer solchen Antenne mit 4NEC2 (...das Strahlungsmaximum ist rot bzw. violett gefärbt).



Das ist der an der SMA-Buchse mit einem teuren Profi-Gerät ermittelte Verlauf von S11.

Und hier das Werk des NanoVNA zum Vergleich:

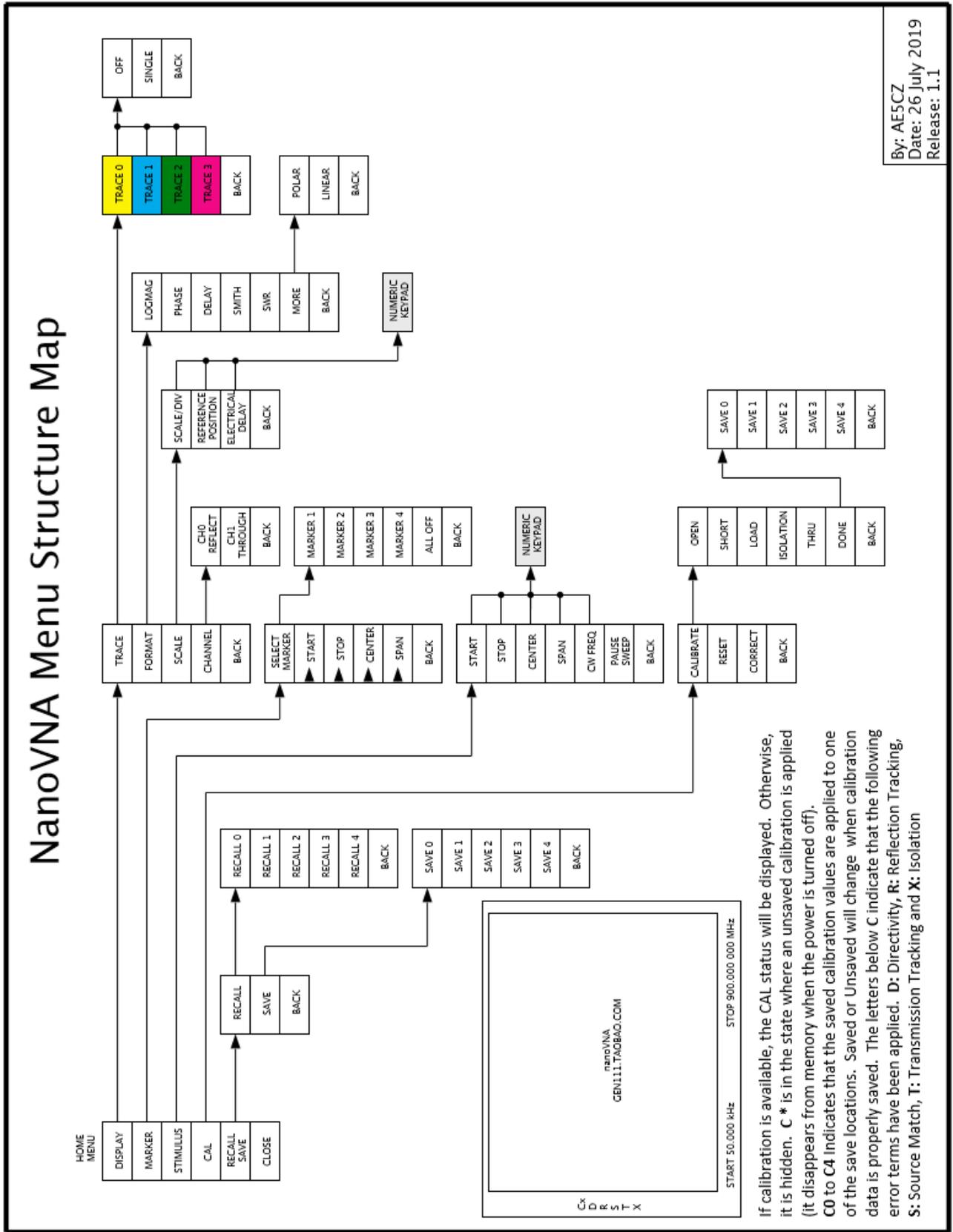


Marker 1	
Frequency: 437.562MHz	Parallel L: 319.14 nH
Impedance: 45.77 +j2.394 Ω	Parallel C: -414.56 fF
Admittance: 45.9 +j8777.4 Ω	VSWR: 1.107
Series R: 45.77 Ω	Return loss: -25.895 dB
Series L/C: 870.77 pH	Quality factor: 0.052
Series L: 870.77 pH	S11 Phase: 149.05°
Series C: -151.93 pF	S21 Gain: -55.417 dB
Parallel R: 45.9 Ω	S21 Phase: -23.4°
Parallel L/C: 319.14 nH	

Diese Informationen liefert dazu der **Marker 1**

Teil 3: Stand alone Betrieb

21. Bedienermenü für den NanoVNA



22. Direkte Bekanntschaft mit dem Gerät

Da sorgt man zuerst dafür, dass beide RF - Eingänge offen sind und startet. **Fehlt der Akkumulator, dann schließt den NanoVNA z.B. über das mitgelieferte USB-Kabel beim Laptop oder PC an.** Der Rechner muss dazu eingeschaltet werden, um die gewünschten +5V zu liefern, **aber wir brauchen ihn nur als Power Supply.**

Leider passierte bei mir gar nichts – keine LED leuchtete nach dem Betätigen des Netzschalters und der Bildschirm blieb dunkel. So war bereits die erste Nacharbeit angesagt, denn die USB-C-Buchse auf der Platine war so großzügig gefertigt, dass es beim Einstecken des Kabels keinen Kontakt gibt. Also muss man sorgfältig nacharbeiten und vorsichtig biegen, bis die winzige Leiterplatte im Innern der Buchse genau zentral sitzt UND der Metallmantel der Abschirmung für einen strammen Sitz des Steckers sorgt. Dabei darf man nicht vergessen zu testen, ob ein um 180 Grad verdrehter Stecker ebenso sicher Kontakt gibt. Na ja...



Zeigt sich damit wirklich Leben (und die Battery LED blinkt blau), dann schrauben wir mal den

LOAD-Widerstand auf den TX-Ausgang = (Channel 0).

Auf dem NanoVNA-Bildschirm sehen wir dann **drei Kurven in verschiedenen Farben** und ein **Smith Chart**.

Der zugehörige informative Text ist bei dieser Bildschirmgröße natürlich winzig klein und da muss Jeder sehen, wie er damit klar kommt (...ich arbeite z. B. schon lange, auch beim Löten, mit einer Stereo-Lupe).

23. Die erste erfolgreiche Messung: Eigenschaften der LOAD



Wir lassen den LOAD - Widerstand auf dem TX - Port und tippen mit dem Finger oder einem „Stimulus“ auf den Bildschirm („**Stimulus**“ = offizieller Stift mit Gummikappe oder ein Bleistift mit aufgesetztem kleinen Radiergummi). Dadurch öffnet sich das Haupt-Bedienermenü am rechten Bildschirmrand und darin müssen wir weiter machen.

Ein Tipp auf das **oberste Feld** „**Display**“, gefolgt von „**Trace**“ öffnet

den Zugang zu den vier dargestellten Kurven. Dort holen wir uns zuerst die violette Kurve mit einem weiteren Tipp und wählen „**OFF**“. In gleicher Weise löschen wir auch die blaue Kurve (am unteren Bildrand).

Auf dem Bildschirm sollte jetzt nur noch der Verlauf von S11 im Smith Chart sowie im kartesischen Diagramm von 50 kHz bis 900 MHz zu sehen sein.



Drücken wir nun den **Multifunktionsschalter MFS** nach rechts und halten ihn dort fest, dann wandert der Marker vom Start bei 50 kHz zu höheren Frequenzen. Da versuchen wir mal, $f = 468 \text{ MHz}$ zu erwischen und lesen dann ab (...genau sind es 468,042 MHz). Auf der Skala am linken Diagramm-Rand finden wir eine 10 dB – Teilung sowie oben den „Null dB – Punkt“.

Da sehen wir (sowohl an der Anzeige wie auch am kartesischen Kurvenverlauf, dass die Anzeige für S11 („LOGMAG“) um die

-47 dB herum schwankt. Es wird aber nur das Ergebnis für die allererste Messung angezeigt.

Im **Smith Chart** erhalten wir bei solch kleiner Reflektion nur eine Markierung im Mittelpunkt des Charts (= also bei 50 Ohm). Dafür gibt es ganz oben und ganz rechts im Eck die Angabe der zugehörigen Reihenschaltung für die Eingangsimpedanz bei 468 MHz:

49,5 Ω in Reihe mit 1,7....4 Nanofarad

Na ja...kein Wunder, dass wir eine so große Streuung erhalten. Bei solch kleinen Spannungspegeln und dem gut zu sehenden Rauschen....

Da dieses Rauschen mit der Frequenz ansteigt, ist es besser, den **mittleren S11 - Kurvenverlauf** im kartesischen Diagramm einfach abzuschätzen.

Aufgabe:

Verschieben Sie den Marker (durch Druck auf die Wippfunktion des Multi Function Switches MFS nach links) bis zu 144 MHz und ermitteln Sie dort die S11-Werte.

24. Die Sweep-Möglichkeiten

Im Hauptmenü finden wir „**Stimulus**“ und wenn wir das öffnen, gibt es folgende Optionen:

- a) Mit „**Start**“ und „**Stop**“ sweepen wir über diesen Bereich
- b) Mit „**Center**“ und „**Span**“ wählen wir eine bestimmte Mittenfrequenz sowie einen symmetrischen Sweep (= Span) um diese Mittenfrequenz herum
- c) Mit „**CW Freq**“ arbeiten wir bei einer wählbaren Festfrequenz.

Als Abschluss findet sich dort noch Umschaltung zwischen „**Pause**“ und „**Sweep**“.

24.1. Einstellung von anderen Start / Stopp – Werten beim Sweep

Wir wollen mal nur den Bereich von **460....470 MHz** sehen. Es wird automatisch immer mit 101 Frequenzpunkten gearbeitet.

Schritt 1:

Öffnen des Menüs „**Stimulus**“

Schritt 2:

Tippen auf „**Start**“, gefolgt von einem Tipp auf den **rechten Rand des Feldes mit der angezeigten Frequenz** (= rechtes unteres Eck des Bildschirms). Dadurch öffnet sich eine kleine Tastatur, über die wir die neue Startfrequenz als „**460.0M**“ eingeben.

Schritt 3:

Nun dasselbe nochmals, aber jetzt eine Eingabe von „**470.0M**“ für die Stopp-Frequenz. Fertig!

23.2. Center / Span - Betrieb bei 465 MHz

Schritt 1:

„**Stimulus**“ öffnen

Schritt 2:

Ein Tipp auf „**Center**“

Schritt 3:

Frequenz „**465.0M**“ eintippen

Schritt 4:

Ein Tipp auf „**Span**“

Schritt 5:

„**5M**“ eingeben

Schritt 6:

Bitte prüfen, ob bei **462,5 MHz gestartet** und bei **467,5 MHz gestoppt** wird

24.3. CW – Betrieb bei 465 MHz

- a) Das **Stimulus**-Menu aufrufen
- b) „**CW Freq**“ wählen
- c) Auf den rechten Rand des Feldes mit der Frequenzanzeige (am unteren Bildrand) tippen und die gewünschte CW - Frequenz mit 465 MHz eingeben
- d) Ergebnis auf dem Bildschirm prüfen

25. Die Kalibrierung

Wichtig:

Alles, was wir bisher geübt haben, würde **ohne vorherige Kalibrierung** kein genaues Ergebnis liefern oder sogar sinnlos sein.

Deshalb muss man auch, wenn man den untersuchten Frequenzbereich ändert, SOFORT neu kalibrieren!

Also gehen wir nun an diese Kalibrierung und da gilt:

a) Wir können maximal **fünf verschiedene Kalibrierungen (C0 bis C4)** speichern.



b) Die gerade aktive Kalibrierung wird in der Mitte des linken Bildrandes angezeigt.

Beim Einschalten werden **immer automatisch die Daten aus C0 verwendet!**

Nach dem Gerätekauf **findet sich in C0 eine Werks-Kalibrierung von 50 kHz bis 900 MHz**. Allerdings nur mit den maximal möglichen 101 Frequenzpunkten – also sehr grob (Schrittweite etwa 9 MHz).

Außerdem wurde sie **nicht** mit dem **mitgelieferten „SOLT“-Satz** vorgenommen und passt deshalb nicht perfekt (SOLT = Short /

Open / Load / Through).

Die erste Maßnahme muss deshalb eine Grundkalibrierung des NanoVNA sein.

Möchte man dagegen in einem engeren Frequenzbereich messen (Beispiel: Antenne oder Bandpassfilter), dann muss man dafür **extra kalibrieren** und das Ergebnis in einem der folgenden Speicherplätze **C1...C4** ablegen. Daraus kann es beim nächsten Mal aufgerufen werden und der zugehörige Frequenzbereich wird gleich automatisch mit eingestellt. **Das soll die zweite Aktion sein und dazu nehmen wir uns ein praktisches Beispiel vor.**

Doch sehen wir uns noch die Informationen am linken Bildrand etwas genauer an, denn darauf sollte man vor einer wichtigen Messung kurz einen Blick werfen (..um sicher zu sein, dass alles aktiviert ist). Beim Einschalten des NanoVNA steht dort die Nummer des **aktivierten Speicherplatzes C0**, gefolgt von den vorher durch eine Kalibrierung ermittelten „Error Terms“ und das sollte stets der Anblick (von oben nach unten) sein:

C0 (= default calibration data)

D (= Directivity)

R (= Reflection Tracking)

S (= Source Match)

T (= Transmission Tracking)

X (= Isolation)

(Hinweis:

Das Thema ist in gut verständlicher Form in der Application Note

NanoVNA RF Calibration Considerations and Procedure

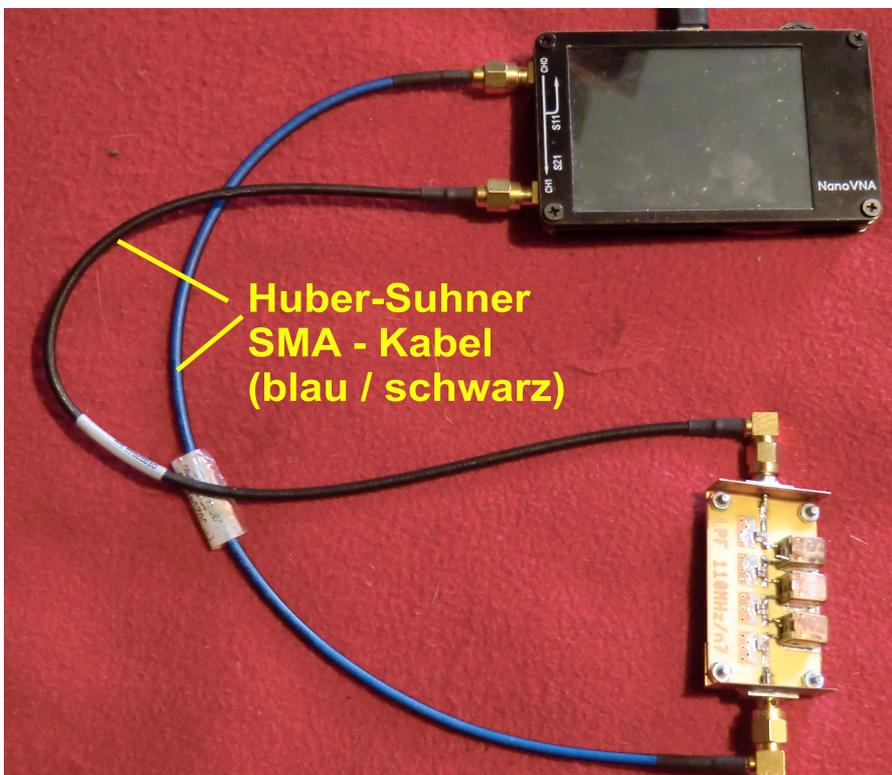
aus dem Internet enthalten. Da lohnt sich der Download!)

26. Die Sache mit den Mess - Kabeln

Man sollte, um die SMA - Buchsen am NanoVNA vor Beschädigung zu schützen, **immer** mit einer dieser beiden folgenden Möglichkeiten arbeiten (...Buchsenwechsel auf der Platine ist im Schadensfall eine sehr heikle Mission....):

a) Man schraubt auf jede Buchse einen **SMA – Male - Female - Adapter** mit dem vorgeschriebenen Drehmoment auf (...Drehmoment - Schlüssel gibt es im Internet...). So kommt das Messkabel oder das Messobjekt nur mit diesem Adapter in Kontakt und der wäre, falls es nötig ist, leicht zu wechseln.

b) Wie schon erwähnt, können die im **Kit enthaltenen beiden SMA-Kabel** Ärger machen. Nicht nur ihr Wellenwiderstand stimmt nicht ganz (mit Time Domain Reflektor gemessen: **ca. 54 statt 50 Ω**), sondern es fiel bei mir einfach an einem Ende der SMA - Stecker ab, da die Crimpung des Steckers am Kabel schludrig ausgeführt war. Daher ergab die Kalibrierung oft sinnlose Werte, und bis man das findet....



Die rigorose Abhilfe bestand aus der Beschaffung und Verwendung von **zwei sehr hochwertigen Kabeln (= Huber - Suhner mit blau-schwarzem Mantel), die bis 18 GHz spezifiziert sind**. Auch sie verbleiben dauernd am NanoVNA.

Zur Beschaffung: auf und unter allen Tischen beim HAM - Radio-Flohmarkt genau schauen. Irgendwo liegen sie herum..

27. SOLT - Kalibrierung (50 kHz bis 900 MHz) für Platz C0

1) NanoVNA starten und die SMA – Kabel auf die beiden RF - Ports (CH0 und CH1) dauerhaft aufschrauben.

2) Hauptmenü starten (= einmal über den Schirm wischen) und „DISPLAY“, gefolgt von „TRACE“, wählen.

Darin brauchen wir die gelbe Kurve „TRACE 0“ und anschließend „SINGLE“. Nach erneutem Wischen geht es wieder zu „BACK“. Dann tippen wir auf „FORMAT“ und hinterher auf „LOGMAG“.

3) Jetzt dasselbe Spiel für Trace 1:

BACK / DISPLAY / TRACE / TRACE 1 (ggf. noch über FORMAT auf LOGMAG einstellen)



So sollte den Bildschirm nun aussehen.

CH 0 = gelbe Kurve = S11

CH 1 = blaue Kurve = S21

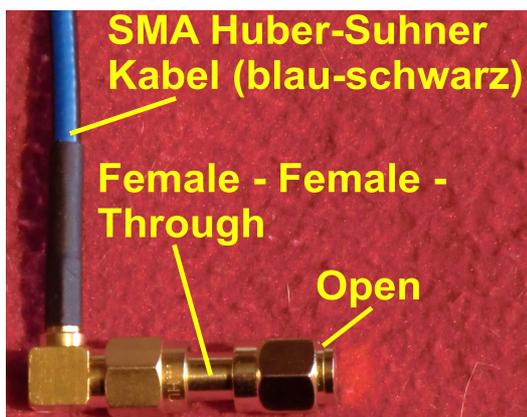
4) Es geht weiter mit der **Start – Stopp-Einstellung** und da brauchen wir

50 kHz....900 MHz

5) Jetzt beginnt die Kalibrierung und zwar mit einem **Reset**, der alle alten Kalibrierungen löscht:

Im Hauptmenü (...das mit „DISPLAY“ beginnt), suchen wir nach **CAL**. Darin drücken wir auf **RESET**.

6) Im **CAL**-Menü findet sich auch **CALIBRATE**.



Damit öffnet sich eine Liste, die mit **OPEN** los geht und nun schrauben wir die im Kit enthaltene **SMA - Kupplung (Female / Female Through)** samt dem **SMA - OPEN-Stecker** auf das Ende des Kabels von Channel CH0.

Ein Klick auf **OPEN** löst die Kalibrierung aus und schon kann es mit dem **SHORT** weitergehen. Also das „Open“-Teil ab- und den „Short“ auf die Kupplung aufschrauben. Bitte dann wieder auf das grün markierte Feld „**Short**“ klicken.

Der **Short** wird entfernt und durch die **LOAD** ersetzt. Erneut wird durch einen Tipp auf „**LOAD**“ kalibriert.

Achtung: nun empfiehlt die Anleitung, möglichst beide Eingänge CH0 und CH1 bzw. die zugehörigen Kabelenden mit 50 Ω abzuschließen.

Also brauchen wir für Channel CH1 noch einen weiteren Female – Female – SMA - Adapter sowie einen weiteren Abschlusswiderstand. Nur so holt man auch das letzte Quäntchen Genauigkeit heraus-

Es folgt die Kalibrierung der **ISOLATION** beider Kanäle. Dazu bleiben CH0 und CH1 unverändert mit 50 Ω abgeschlossen.

Die letzte Aktion ist **THROUGH**. Dazu werden die Abschlusswiderstände entfernt und beide Kabelenden über den **Female – Female – Adapter verbunden**. Ein Klick schließt die Kalibrierungsprozedur ab.

Also dürfen wir nun endlich auf „**DONE**“ drücken und müssen nun nur noch das Ergebnis mit „**SAVE 0**“ im **Speicherplatz C0 ablegen**. Jetzt können wir mit der Messung beginnen.

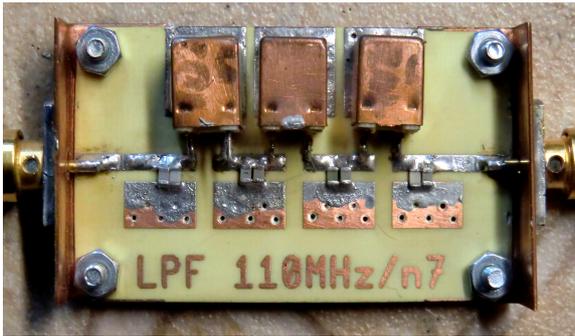
(Wer nun ganz sicher sein will, der sehe am linken Bildrand nach, ob da untereinander **C0/D/R/S/T/X** steht. Dann ist alles OK).

Und zum Abschluss ein praktischer Tipp zur Aufbewahrung der SOLT -T eilchen:



Das leere Pillendöslein stammt als kleines Geschenk aus meiner Apotheke. Und in die drei entscheidenden Bauteile des Inhaltes habe ich die Buchstaben „S“, „O“ und „L“ mit der Reissnadel eingeritzt...

28. Beispiel: nochmals der Tschebyschef - Tiefpass mit $f_g = 110 \text{ MHz}$ und $N = 5$



Da wir gerade von 50 kHz bis 900 MHz kalibriert haben, ist dies das richtige Messobjekt. Hier haben wir den Testaufbau, bereits auf einer Leiterplatte und mit aufgeschraubten Kupferblechwinkeln, Die tragen jeweils eine SMA - Buchse und so liegt deren Innenleiter reflexionsarm auf der zentralen Microstrip - Leitung auf.



Sofort nach dem Anschluss der Messkabel an die Platine erscheint dieses Bild.

Da machen wir doch gleich Nägel mit Köpfen und sehen uns das nur für 1 MHz bis 200 MHz an.

Das geht natürlich mit der SOLT - Kalibrierung in diesem Bereich los:

1. Schritt:

Sweep - Bereich von 1 MHz bis 200 MHz einstellen

2. Schritt:

Prüfen, ob Ch0 und CH1 auf „LOGMAG“ - Darstellung stehen. Trace 3 mit Smith Chart ggf. abschalten

3. Schritt:

Hauptmenü aufrufen und dann **CAL / CALIBRATE** wählen

4. Schritt:

Die komplette SOLT-Kalibrierung durchführen und das Ergebnis z. B. unter **SAVE 4** in C4 ablegen

5. Schritt:

Messen und das Ergebnis bewundern.

Hinweis:

Der Frequenzmarker lässt sich mit dem Multifunktionsswitch MFS und seiner „Wippenfunktion“ nach links bzw. rechts verschieben.

Alle Daten werden am oberen Bildrand eingeblendet.

29. Eine Bilanz (= Gut / Schlecht / Änderungen...)

Das ist Spitze:

Kleines, handliches Gerät mit ausreichender Messgenauigkeit für die Praxis und gut zu bedienen. Kein kompliziertes, teures Profi-Laborgerät mit hochgezüchteter Genauigkeit.

Günstiger Preis.

Mit **Akku** sehr praktisch für Messungen direkt an Außenantennen (= 4 Stunden Laufzeit). Erst recht mit **Powerpack** (= etliche Tage Laufzeit).

Spart auf dem Arbeitstisch bis zu **drei ältere 19 Zoll Geräte** ein.

Hohe Frequenzstabilität (0,5 ppm). Absolute Frequenzgenauigkeit ca. 2,5 ppm

Mit der **USB-Verbindung und der kostenlosen Software** aus dem Internet können wir vom PC aus sehr komfortabel das Gerät steuern und die Ergebnisse in aufwendigen Diagrammen darstellen. Benimmt sich dann wie eine große Maschine.

Dann kommt „Na Ja....“

Sehr kleiner Bildschirm mit noch kleinerer Schriftgröße. Touchscreen-Bedienung nicht mit dem Finger, sondern besser mit einem **Stimulus - Pencil** vornehmen. **Möglichst schnell auf den Betrieb mit dem PC und dem Programm „NanoVNA - saver Version 0.2.0.“ umsteigen.**

Beim **Stand - alone - Betrieb** gibt es **nur 101 Messpunkte**: das schmerzt und verlangt bei Filtern genaue Überlegungen für den zu wählenden Sweep - Bereich. (Ist beim PC-Betrieb kein Kritikpunkt mehr)

Micro – USB – C - Steckverbindung auf dem Board wirkte zunächst etwas wackelig. Brauchte erst mal Kontrolle und etwas Nacharbeit bei der Buchse, dann klappt es stabil.

Mitgelieferte SMA - Kabel mit großer Toleranz und schlecht gecrimpt – ein Stecker fiel gleich ab. Habe ich deshalb durch **hochwertige Teflon - Kabel** bzw. bei Bedarf durch **Semirigid - Kabel** ersetzt.

Anspruchsvolle Menüführung des NanoVNA - Boards im Vergleich zur PC-Bedienung. Es ist oft leichter, mit **BACK** bis zum Hauptmenü (...beginnt mit **DISPLAY.**) zurück zu kehren und von dort aus die gewünschte Option zu suchen.

Der **Multi-Funktionsschalter MFS** ist ein etwas klappriges Gebilde und verlangt einen sehr behutsamen Zugriff.

SOLT - Kalibrierdaten werden beim Kauf nicht mitgeliefert. **Sie stehen jetzt aber für den PC-Betrieb mit der NanoVNA – saver - Software (dank Kurt Poulsen) in Teil 2 des Tutorials zur Verfügung**