

Der NanoVNA (Version H2 / H4)

Ein Vektorieller Network Analyzer für
50 kHz bis 1500 MHz und ein Time
Domain Reflectometer

Band 2:

Manual für den Betrieb von 50 kHz bis
1500 MHz

A): Das Gerät selbst

B): Betrieb nur am PC mit der Software „NanoVNA-saver-
v0.2.2-01.exe“ (einschließlich Praxis-Beispielen)

C): Stand-Alone-Betrieb

Version 1.0.

Autor: Gunthard Kraus, DG8GB

Tett nang, den 09. Mai 2020

Inhaltsverzeichnis	Seite
A) : Das Gerät (mit Akku oder Netzteil)	4
1. Der NanoVNA-H2 oder H4 – eine Alternative	4
1.1. Eine kurze Vorstellung	4
1.2. Was steckt dahinter?	5
1.3. Was brauchen wir / was sollen wir bestellen?	6
2. Unterschiede bei den Messergebnissen im Vergleich zum „Standard-VNA“ im Bereich bis 900 MHz	8
B): Der NanoVNA am PC	9
3. Vorbemerkung (und Spickzettel!)	9
4. Vorbereitung und Start	10
5. Die nötige Software	11
6. Display-Settings – = nötige Einstellungen beim Bildschirm	12
7. Sweep Settings	13
8. Sweep-Programmierung (Beispiel: für 50 kHz1500 MHz)	14
9. Start der Kalibrierung mit den Kalibrier - Standards	15
10. Die SOLT-Kalibrierung	17
11. Kontrolle des Kalibrier - Erfolgs	19
12. Praxistest an einem 110 MHz - Tiefpass	23
12.1. Das Passband des Tiefpasses	24
13. Die Sache mit den Markern	26
14. Ein Bandpass für 10,7 MHz als zweites Praxisbeispiel	27
14.1. Die Analysis-Automatik	30
14.2. Set Sweep as Reference	34
14.3. Speichern der erzeugten Touchstone Files für S11 und S21	36
15. Drittes Beispiel: Ermittlung der Eigenschaften einer Filterspule	38
16. Ferritantenne für VLF-Experimente	40
17. Fünftes Beispiel: Ganzwellen-Loop - Antenne für das 70cm - Band	42

18. Low Pass Impulse Response: Der NanoVNA-H2 als Kabeltester = Time Domain Reflectometer	44
18.1. Grundlagen: die S-Parameter	44
18.2. Von der Frequency Domain zur Time Domain	44
18.3. Messung von Kabellängen mit dem NanoVNA und der NanoVNA-Saver-Software	45
18.3.1 Vorüberlegungen	45
18.3.2. Praktisches Projekt	47
18.3.3. Reduktion des Messbereichs für kurze Kabel	49
18.3.4 Wie kann ich lange Kabel untersuchen?	50
 C): Stand alone Betrieb	 52
19. Die Struktur des Bediener-Menüs bei den H-Versionen	52
20. Erste direkte Bekanntschaft mit dem NanoVNA-H2	53
21. Die erste erfolgreiche Messung: Eigenschaften der LOAD	53
22. Die Sweep-Möglichkeiten	54
22.1. Einstellung von anderen Start / Stopp – Werten beim Sweep	55
22.2. Center / Span - Betrieb bei 465 MHz und einem Span von 20 MHz	55
22.3. CW – Betrieb bei 470 MHz	55
23. Die Kalibrierung	56
24. Die Sache mit den Mess - Kabeln	57
25. SOLT - Kalibrierung mit den Messkabeln (50 kHz bis 1500 MHz) für Platz C0	58
26. Beispiel: ein Tschebyschef - Tiefpass mit $f_g = 110$ MHz und $N = 5$	60
27. Low Pass Impulse Response / Low Pass Step Response	61
27.1. Bedienungsablauf und Test beim NanoVNA-H2 (Low Pass Impulse Response)	62
27.2. Bedienungsablauf und Test beim NanoVNA-H2 (Low Pass Step Response)	64
28. Eine Bilanz (= Gut / Schlecht / Änderungen...)	66

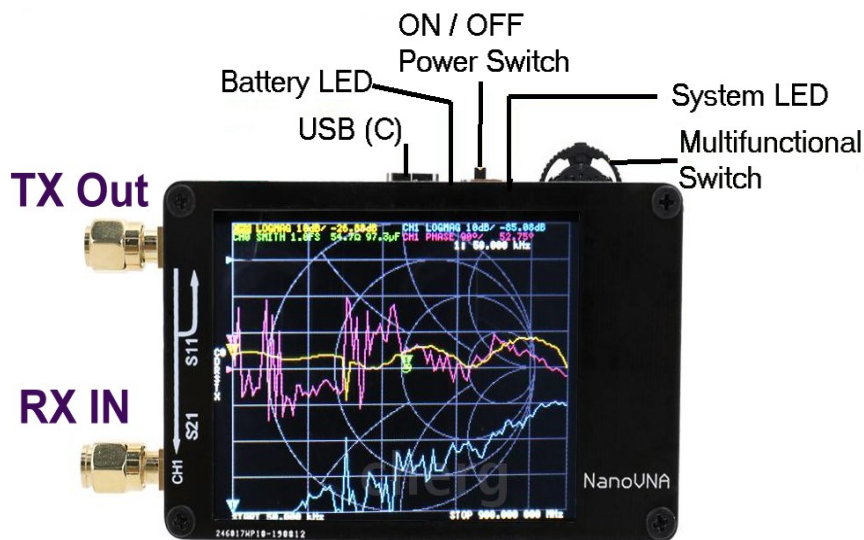
A) : Das Gerät (mit Akku oder Netzteil)

1. Der NanoVNA-H2 oder H4 – eine Alternative

1.1. Eine kurze Vorstellung

In diesem Bild sehen wir das kleine Gerät mit den Abmessungen einer Zigarettenschachtel (54 mm x 86 mm x 12 mm) samt einem kleinen LCD-Touchscreen (2,8 Zoll - Diagonale).

Bei der H2-Version steckt alles in einem hübschen Kunststoffgehäuse. **Die H4-Version ist mit einem 4 Zoll - Touchscreen ausgerüstet.**



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 CH0 für die S11-Messung** (= Reflektion). Die untere Buchse ist der **Empfänger-Eingang CH1** 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.

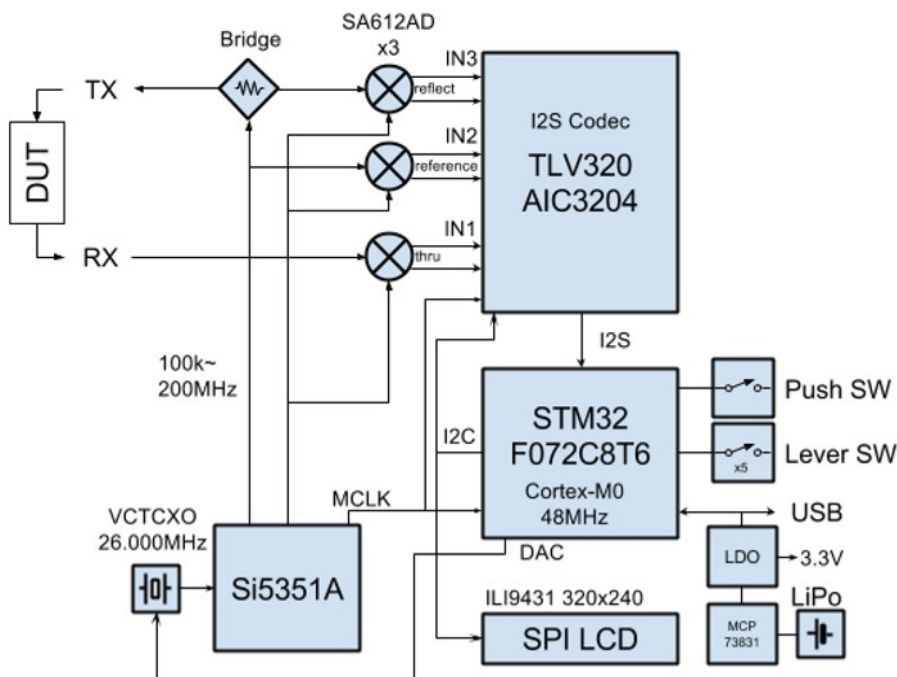
Die wichtigsten Eigenschaften laut Datenblatt:

Measurement frequency: Fundamental: 50KHz ~ 300MHz (50KHz -1500MHz, extended firmware)

RF output: -13dbm (maximum -9dbm)

Measurement range:	70dB (50kHz-300MHz), 60dB (300M-600MHz), 50dB (600M-900MHz), 20...30dB (900M - 1500M)
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

1.2. 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, 600 bis 900 MHz und jetzt sogar **900 bis 1500 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.

1.3. Was brauchen wir / was sollen wir bestellen?

Wenn man in Ebay nach diesem Gerät sucht (Eingabe: „NanoVNA-H“), so erhält man genügend Treffer, meist um 100 Euro herum. **Da sollten aber automatisch dabei sein:**

- 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)

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 ggf. **weitere SMA - Adapter benötigen**. Muss man sich selbst im Internet beschaffen.

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

Ohne USB versorgt der Akku das Board (z. B. im Außenbereich bei der Messung an einer Antenne), bei eingeschaltetem PC wird es über USB 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..**



Die Version „H2“ stellt eine Weiterentwicklung der in Band 1 beschriebenen Standardversion dar. Zwar sind das Layout und der Bildschirm gleich geblieben aber:

a) Die auf dem Board installierte **Firmware samt dem Bedienermenü des Touchscreens** wurde verbessert und erweitert.

b) Die **Hardware erfuhr Detailänderungen** (wie z. B. bessere Schirmung usw.) und dadurch wurde nicht nur die Messgenauigkeit erhöht, sondern

auch der **Messbereich auf 50 kHz bis 1500 MHz** gesteigert. Wie bisher kann man auch eine **Version mit größerem Bildschirm (4“ = Version H4)** ordern. Geliefert wird nun ein

nobler Aufbewahrungskarton mit dem erforderlichen Zubehörsatz:

- 1 SOLT-Kit,
- 2 SMA-Meßkabel,
- 1 Kabel USB-C auf USB-A zum Anschluss an den PC,
- 1 Kabel male USB-C auf male USB-C



Dieses Bild zeigt den H2-Analyzer im erwähnten Kunststoffgehäuse – das gibt besseren mechanischen Schutz.

Beim Einschalten meldet sich nun der Startbildschirm mit vielen Informationen **samt Impressum und allen Details zur Firmware.**

Technisch interessanter ist ja der Hinweis, dass im Gegensatz zu den „billigen“ Konkurrenzprodukten nicht nur die 3. Harmonische des speisenden Oszillators (mit max. 300 MHz) für den Betrieb bis 900 MHz ausgenutzt wird. **Wer möchte, kann auch die 5. Harmonische verwenden und kommt dann bis 1500 MHz!** Mal sehen, wie das im praktischen Betrieb aussieht....

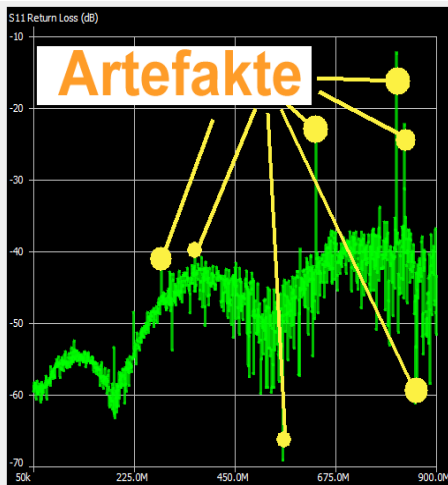
Ansonsten:

Eingebauter Akku.

Bedienung nur noch ähnlich wie bei den „billigen“ Versionen.

Ebenso wird weiterhin zur Auswertung die Software „**NanoVNA-saver-v0.2.2-1.exe**“ von **Rune Bromberg** eingesetzt.

2. Unterschiede bei den Messergebnissen im Vergleich zum „Standard-VNA“ im Bereich bis 900 MHz



Selbst wenn man mit einer hohen Anzahl an Segmenten kalibriert und misst, finden sich trotzdem „Ausreißer“ (= **Artefakte**) und Rauschspitzen oder sogar Rauschbänder in Ergebnisdiagramm). Dagegen hilft nur sowohl bei der Kalibrierung wie auch bei der Messung ein „**averaged sweep**“ mit einer Mittelwertbildung aus wenigstens 3...5 Messwerten (Die Einstellung findet sich hinter „Sweep Settings“. Dort gibt es auch die Möglichkeit, solche einzelnen störenden Spitzen aus der Datei zu löschen. Bitte mal nachsehen!).

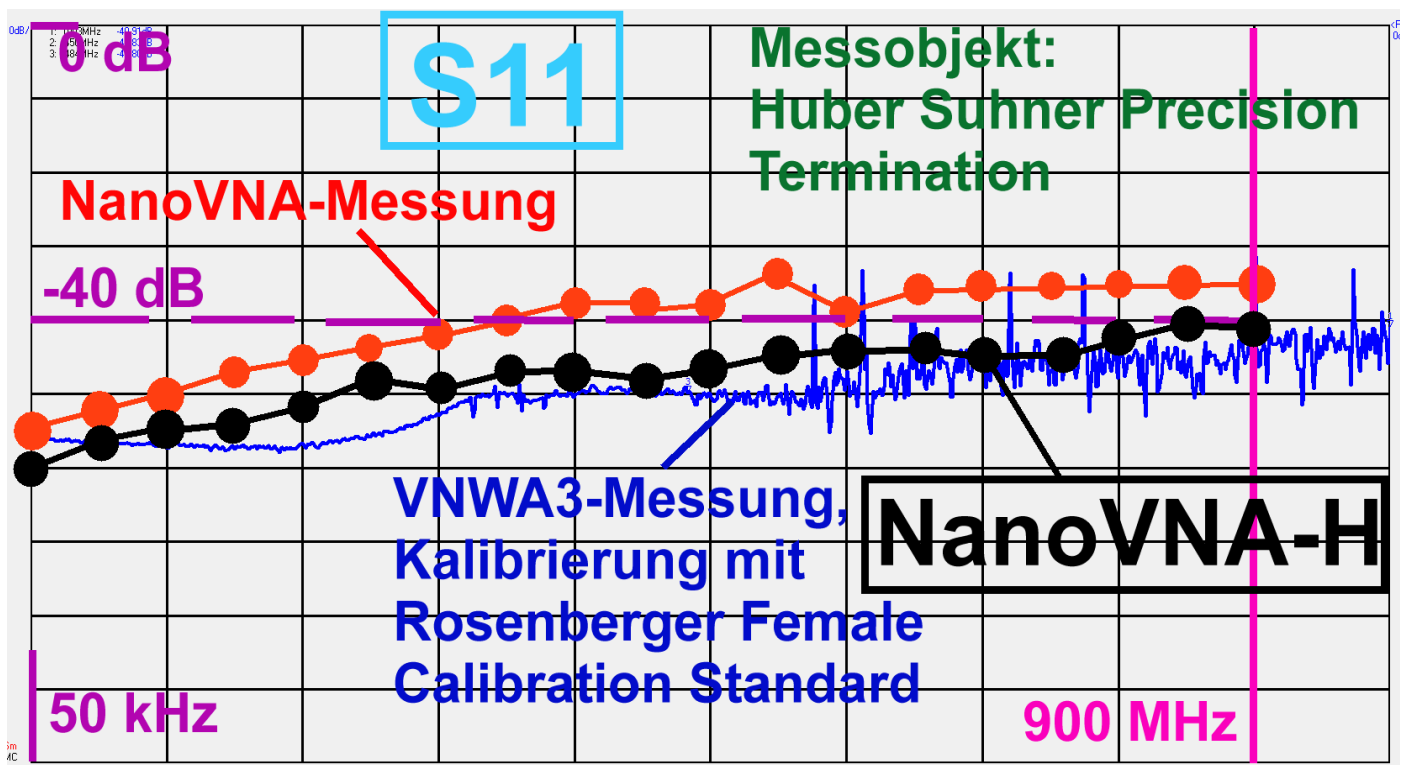
Eines muss man allerdings wissen:

Ab ca. 1300 MHz steigt das Rauschen bei den dargestellten Ergebnis-Kurven massiv an. Man bleibt

also besser darunter....

Noch eine Demonstration des erzielten Fortschritts:

Nach erfolgreicher Kalibrierung (50 kHz - 900 MHz / 20 Segmente / Averaging mit 3 **Werten**) erkennt man bei Vergleichsmessungen am Huber Suhner- Präzisions-Abschluss doch die deutliche **Verbesserung bei der Messgenauigkeit**:



B): Der NanoVNA am PC

3. Vorbemerkung (und Spickzettel!)

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

Programm „NanoVNA-saver“ starten /

NanoVNA über USB-Kabel 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 /

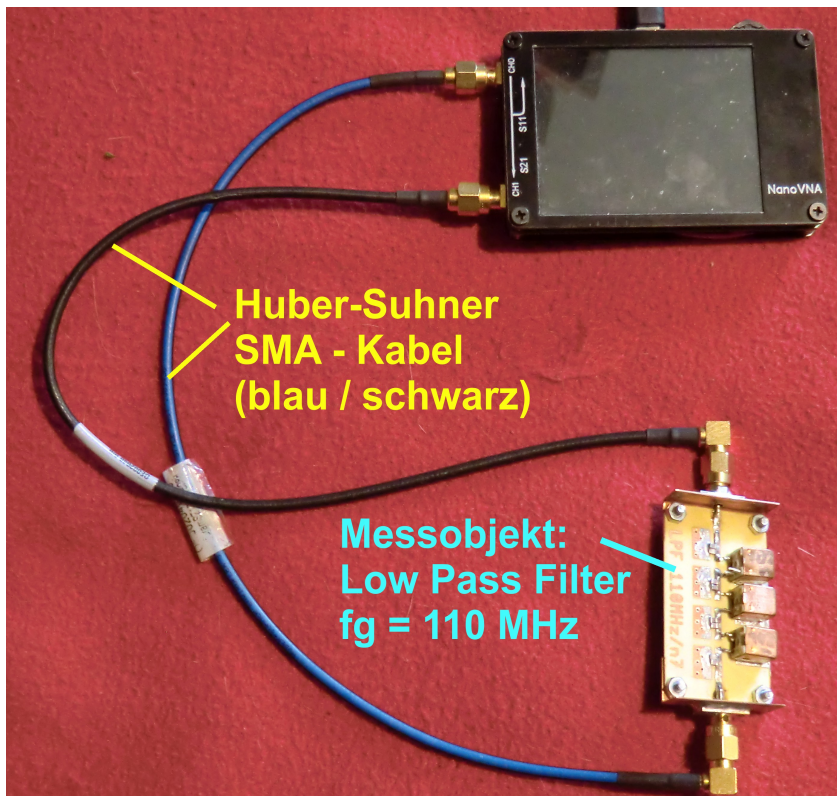
Sweepen und warten /

Ergebnis anschauen.

4. 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 gleich 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 (Vorgeschriebenes Drehmoment: ca. 0,45 Nm).

(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..

5. Die nötige 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.

Und deshalb wollen wir gleich Rune Broberg für die Erstellung und Pflege des Programms sowie Kurt Poulsen als Kalibrierungs-Spezialisten herzlich danken.

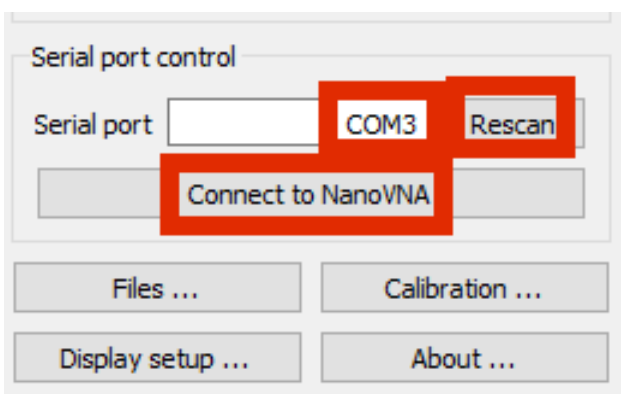
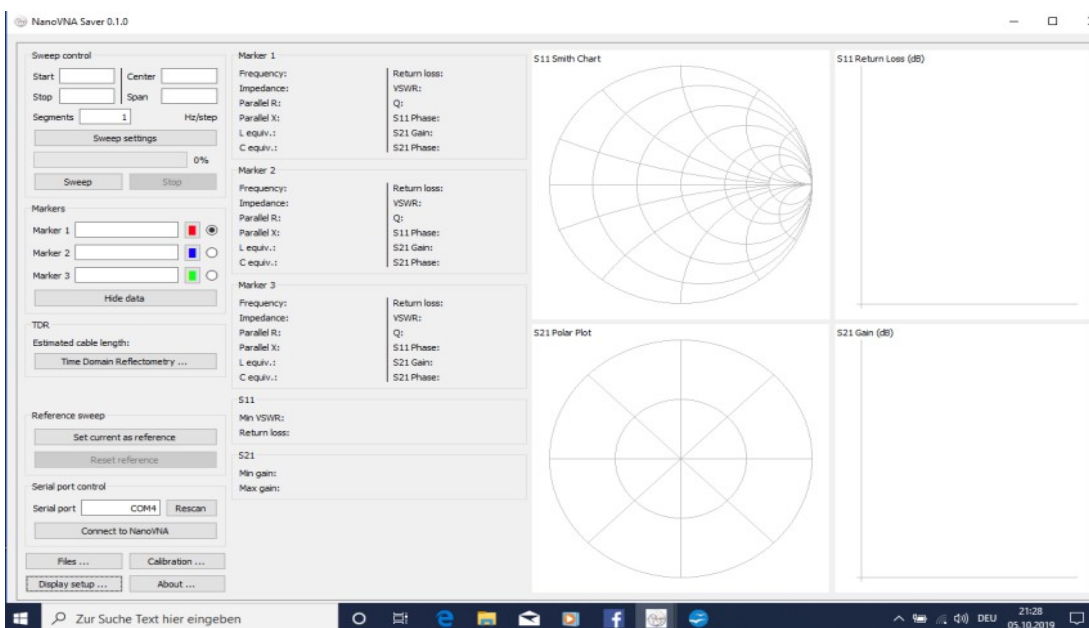
Wir brauchen ab jetzt nur den NanoVNA-H, das USB-C-Verbindungskabel sowie den PC mit dem nötigen Programm. Und am Board selbst nur den Ein-Aus-Schalter.

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

Die hier verwendete heißt gerade

NanoVNA-saver-v0.2.2-1.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.

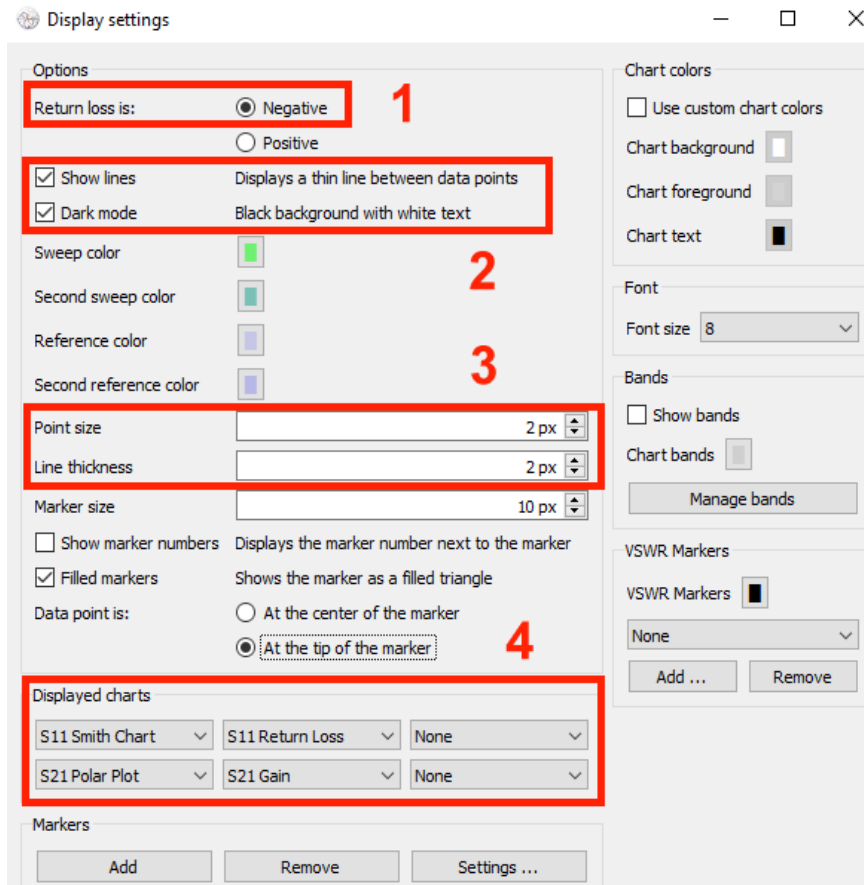


Nun wird die USB-C-Kabelverbindung zum PC hergestellt, der NanoVNA eingeschaltet, auf „**Connect to NanoVNA**“ (= unten links) geklickt und (notfalls mit **Rescan**) dafür gesorgt, dass der dafür gültige USB-Port erkannt wird.

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

6. 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 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..

7. Sweep Settings

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

Sweep settings

Settings

☒ Single sweep

☐ Continuous sweep

☐ Averaged sweep

Number of measurements to average: 3

Number to discard: 0

Averaging allows discarding outlying samples to get better averages.
Common values are 3/0, 5/2, 9/4 and 25/6.

Sweep band

Select band: 2200 m

Pad band limits: ☒ None

☐ 10%

☐ 25%

☐ 100%

Sweep span: 135.7kHz to 137.8kHz

Set band sweep

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.

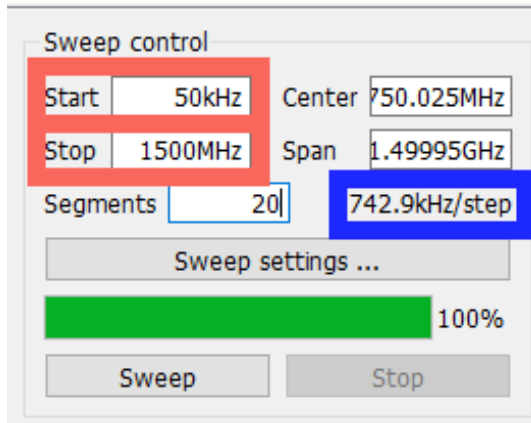
Wir müssen sie halt genau identifizieren

(= **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.

8. Sweep-Programmierung (Beispiel: für 50 kHz1500 MHz)



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

Den gesweepeten **Frequenzbereich** legen wir durch die **Startfrequenz von 50 kHz** und die **Stoppfrequenz von 1500 MHz** fest.

Die Eingabe der Werte ist in **Zahlenform (z. B. 1500000000)**, in **Exponentialform (z. B. 1500e6)** 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 länger, bis man das Ergebnis sieht und man verfolgt da einfach den grünen **Fortschrittsbalken**...

Wie man im **violetten Rahmen** sieht, haben wir nun mit **20 Segmenten** **einzelne Frequenzschritte („Steps“)** mit einer **Breite von 742,9 kHz**.

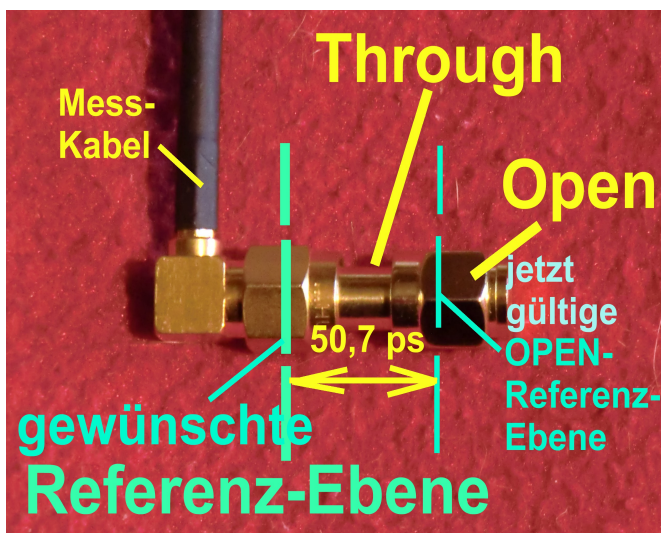
9. Start der Kalibrierung mit den Kalibrier - Standards

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 sollen 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

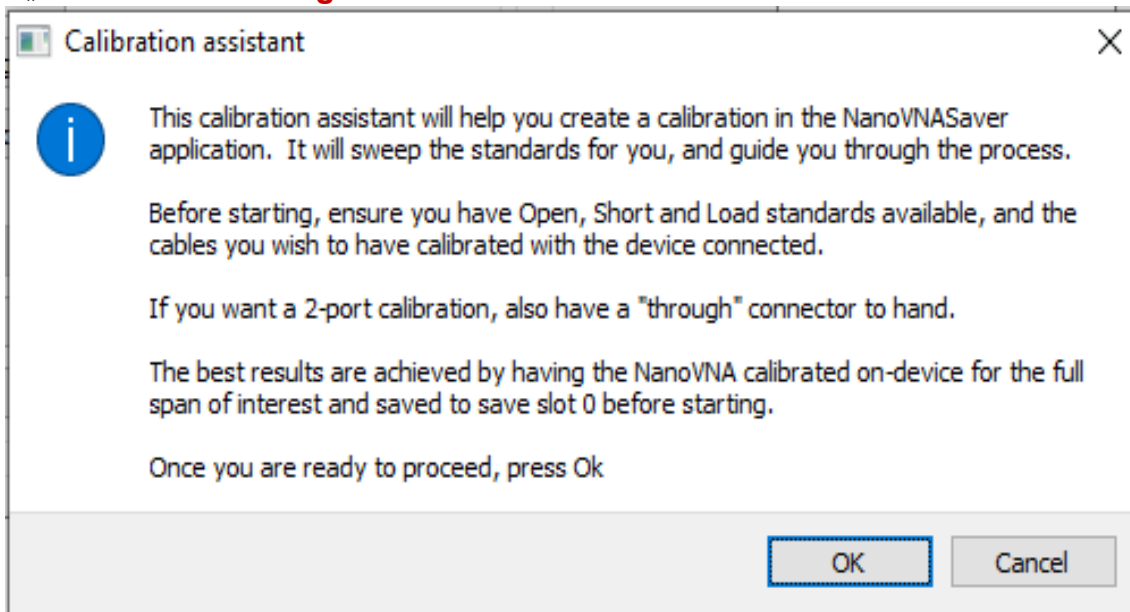
und speichern.

5. Schritt:

Abschließen mit „LOAD“.

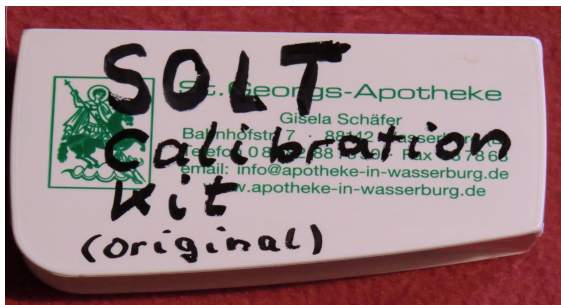
10. Die SOLT-Kalibrierung

Klicken wir auf den „Calibrate“-Button, dann finden wir im geöffneten Menü diesen „**Calibration assistant**“. Er führt uns sehr schön an der Hand durch die Prozedur der „**SOLT**“-Kalibrierung.



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

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



Das leere Pillendöslein stammt als kleines Geschenk aus meiner Apotheke. Und in die drei entscheidenden Bauteile (= SOL) 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 sofort 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 – 1500MHz_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.

11. Kontrolle des Kalibrier - Erfolgs

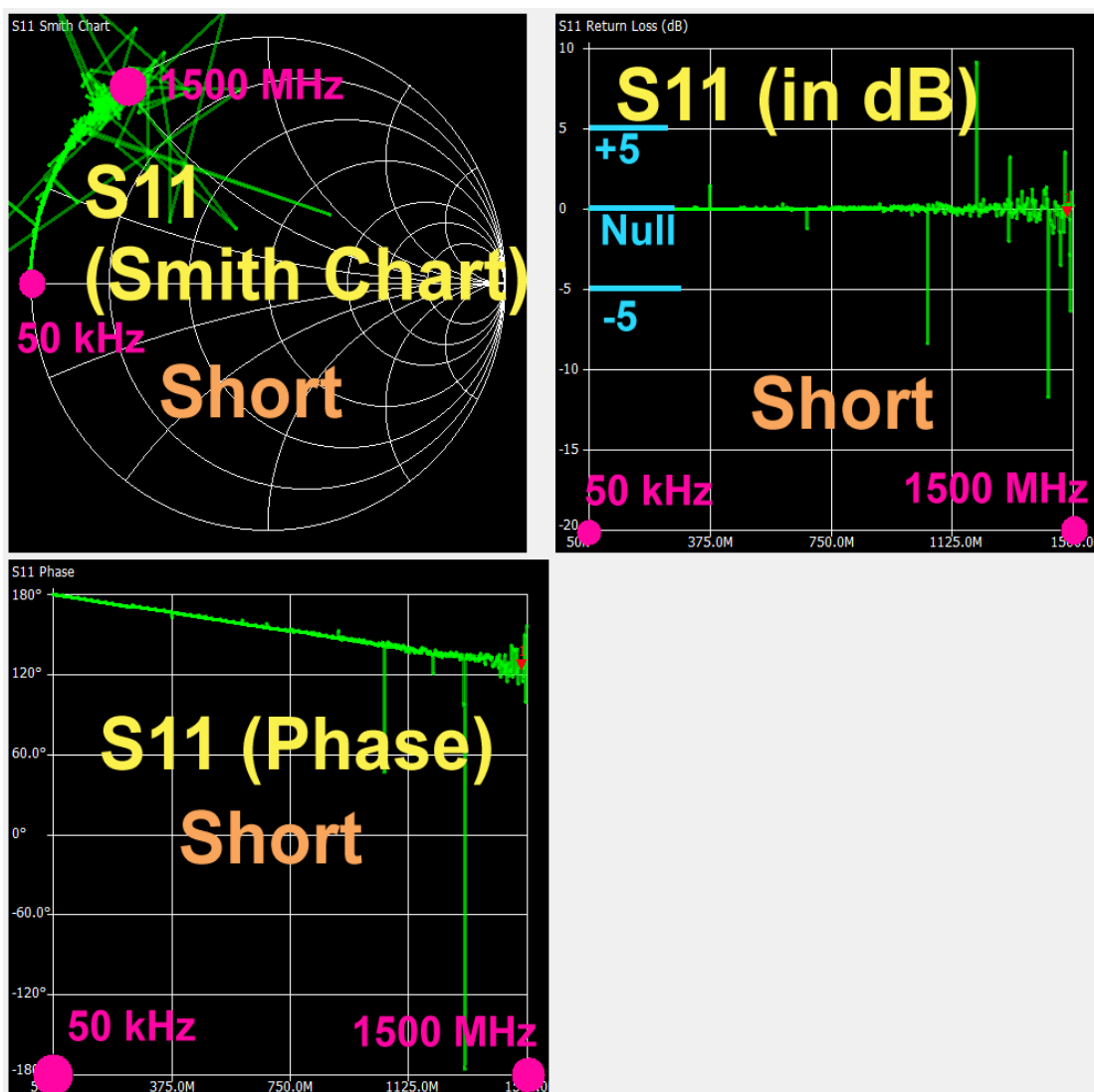
Vorsicht:

Diese Kurven sind **NUR** reproduzierbar, wenn alle **SMA-Verbindungen** nicht nur von Hand, sondern sorgfältig mit dem **SMA-Drehmomentschlüssel** und **0,45 Nm** angezogen wurden!

Die neue Programmversion bietet eine Vielzahl von Darstellungen an. Beginnen wir also mal mit dem **SHORT** und testen seine Qualität bis **1500 MHz**.

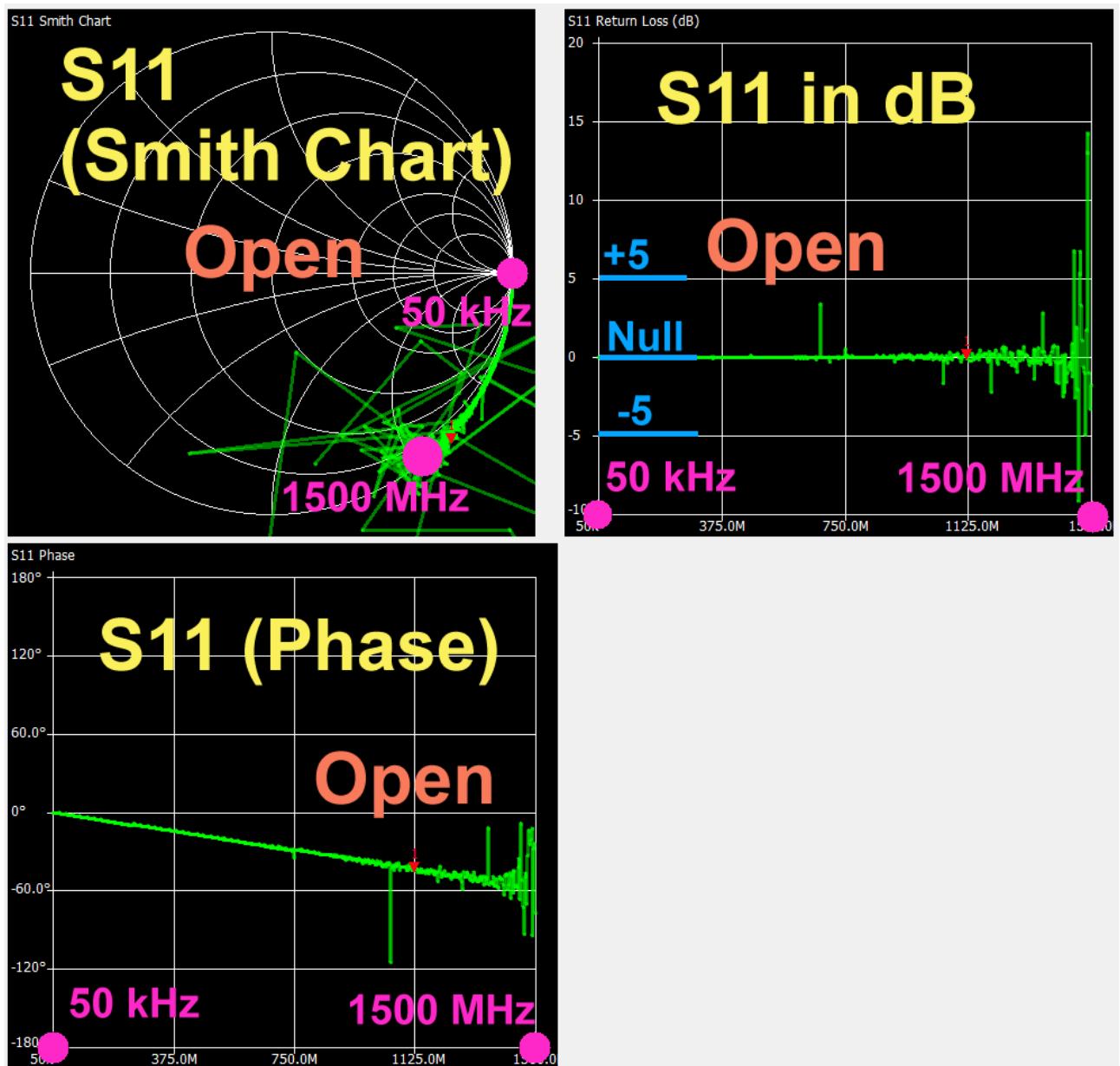
Hinweis:

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



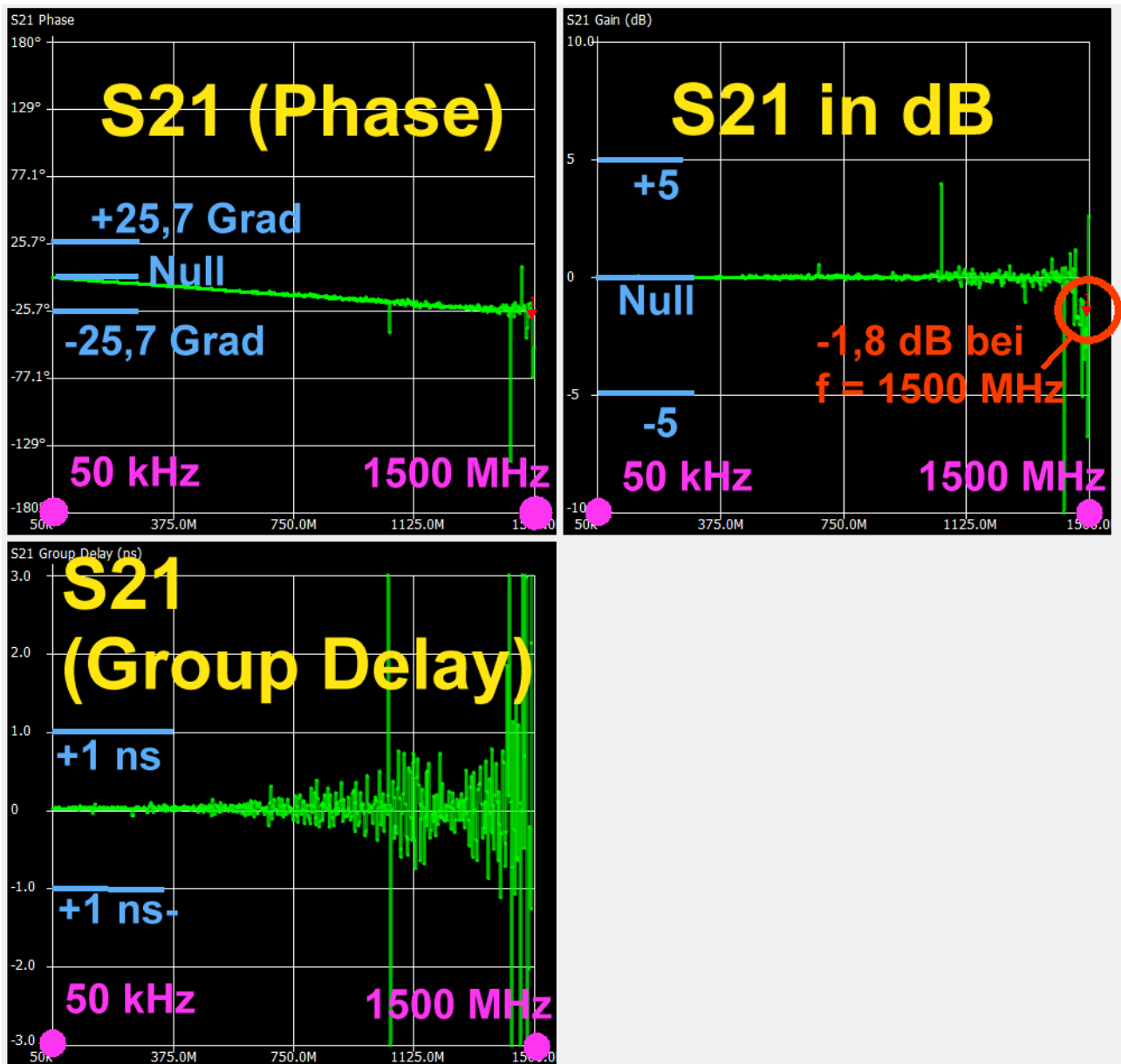
Sehr zufriedenstellend – bis auf das **stark zunehmende Rauschen ab 1300 MHz...**

Es folgt dasselbe Spiel, aber nun mit dem **OPEN**-Standard. Wieder von **50 kHz bis 1500 MHz**:



Bestens...aber eben bis auf das Rauschen....

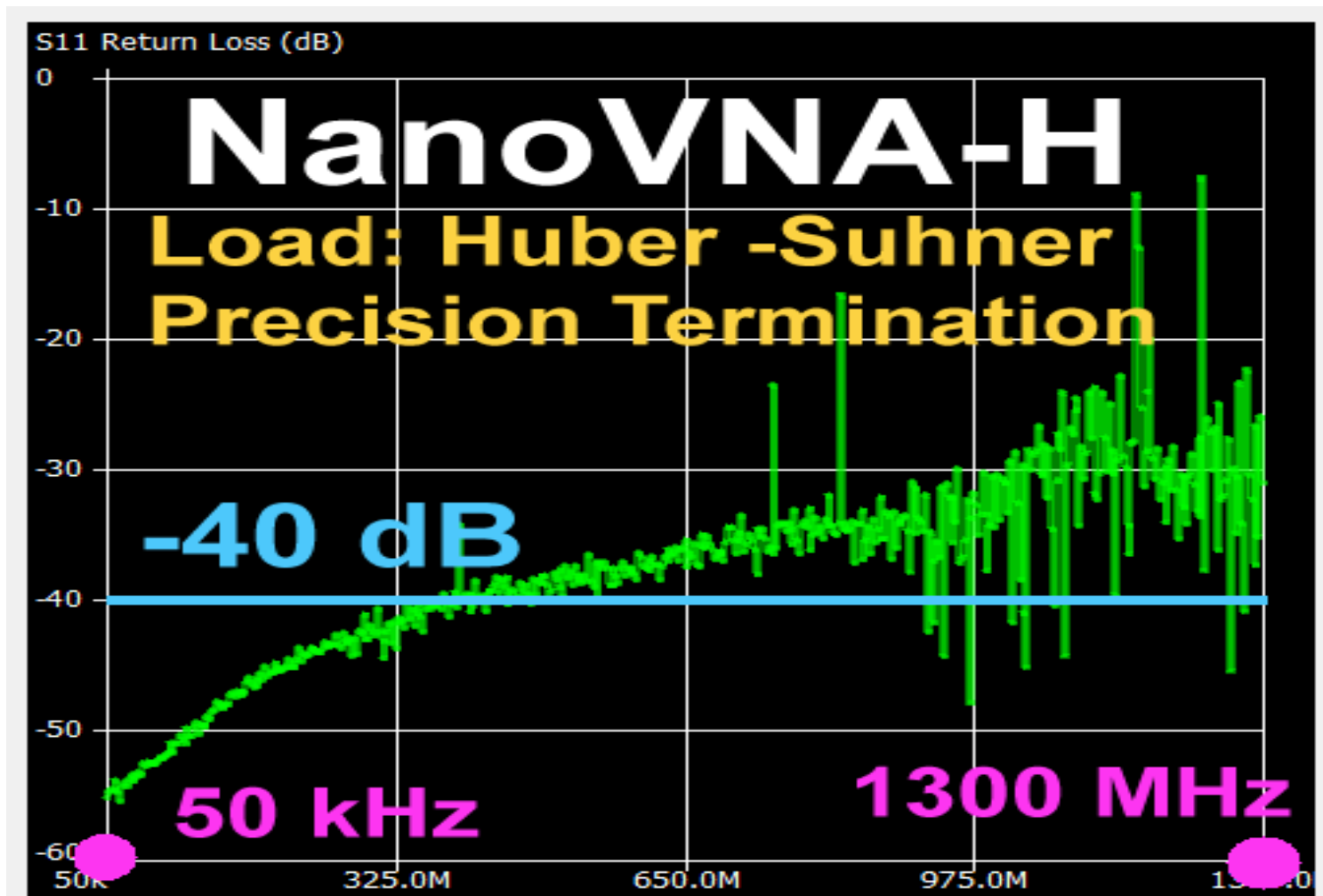
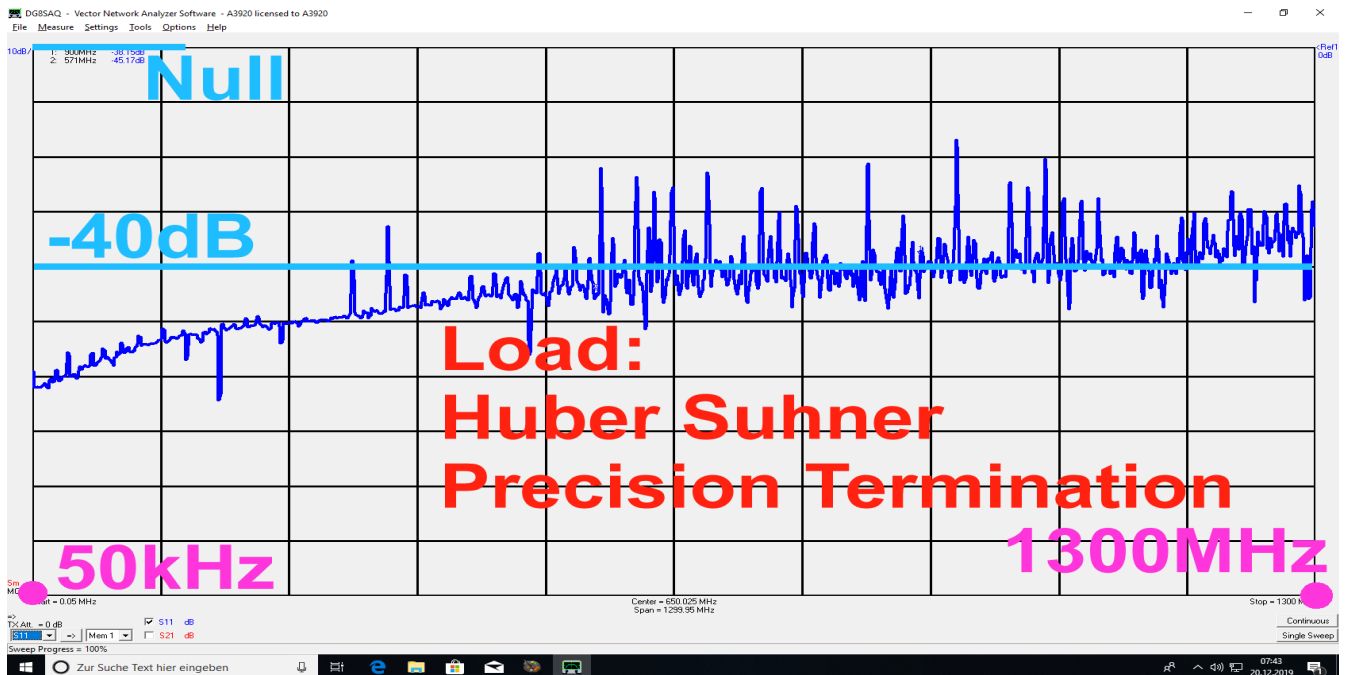
Wenn wir beide Messkabel über den „Through“-Adapter verbinden, dann kommen wir an den Verlauf von S21 heran:



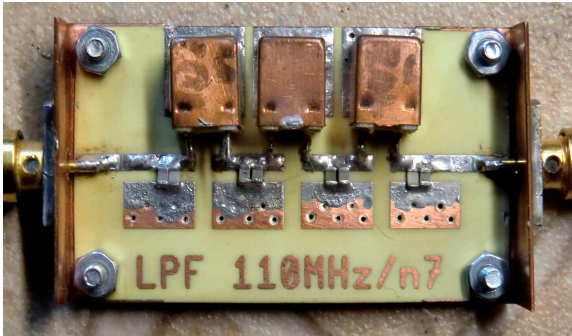
Aber bei 1500 MHz klemmt es doch schon deutlich....

(Alle Sweeps wurden mit 50 kHz ..1500 MHz / 5 Segmenten / 3 fachem Averaging durchgeführt)

Den Abschluss der Kontrolle diente eine **S11 - Vergleichsmessung mit dem VNWA3 und einem Präzisions-Abschluss**. Der VNWA3 ist bei hohen Frequenzen doch deutlich besser..

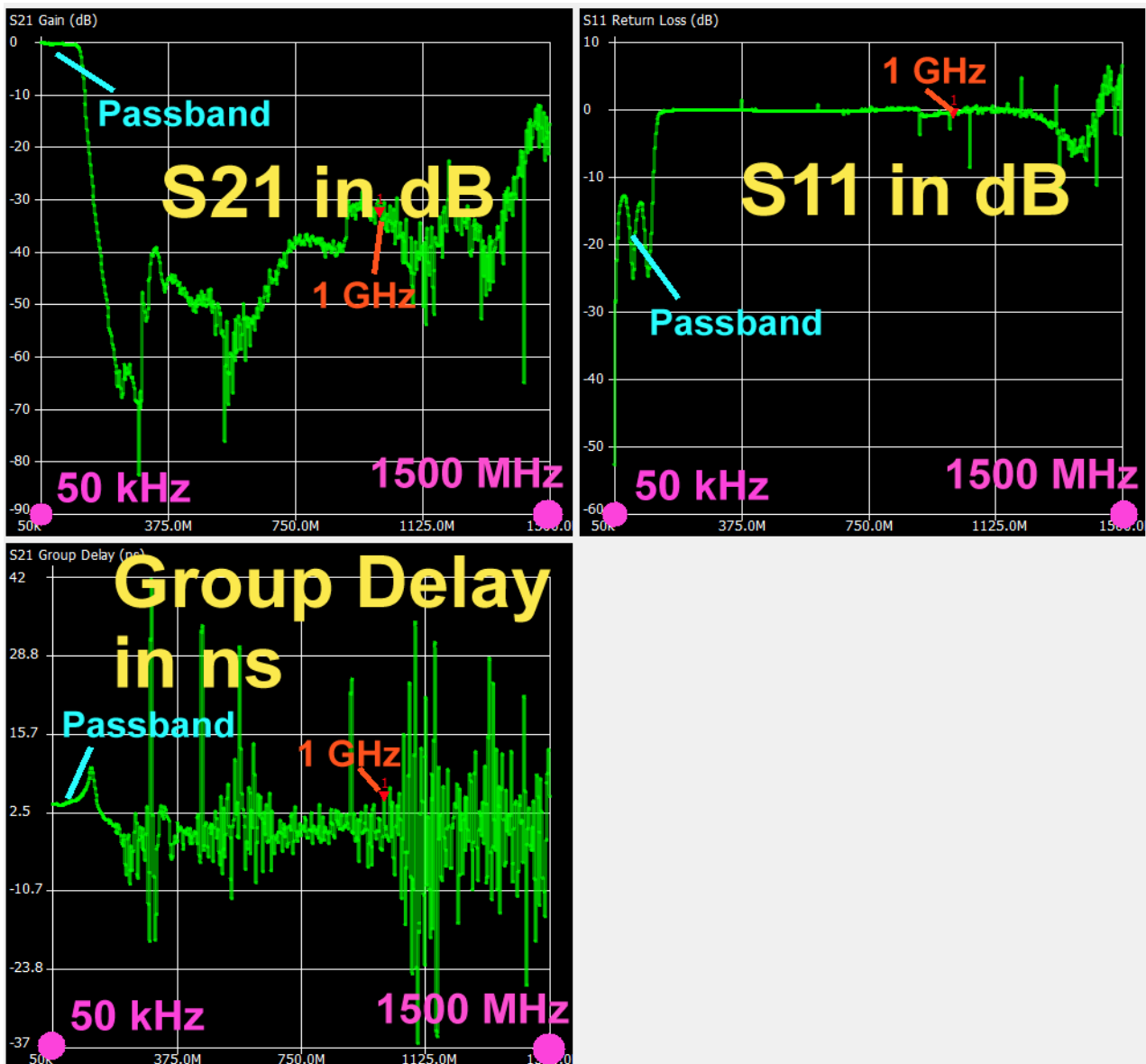


12. Praxistest an einem 110 MHz - Tiefpass



Da wir gerade bis 1500 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 1500 MHz**.



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

Bei **S21** sehen wir sehr schön, wie sein Wert nach dem Verlassen des Passbandes von

Null dB bis auf – 70 dB sinkt.

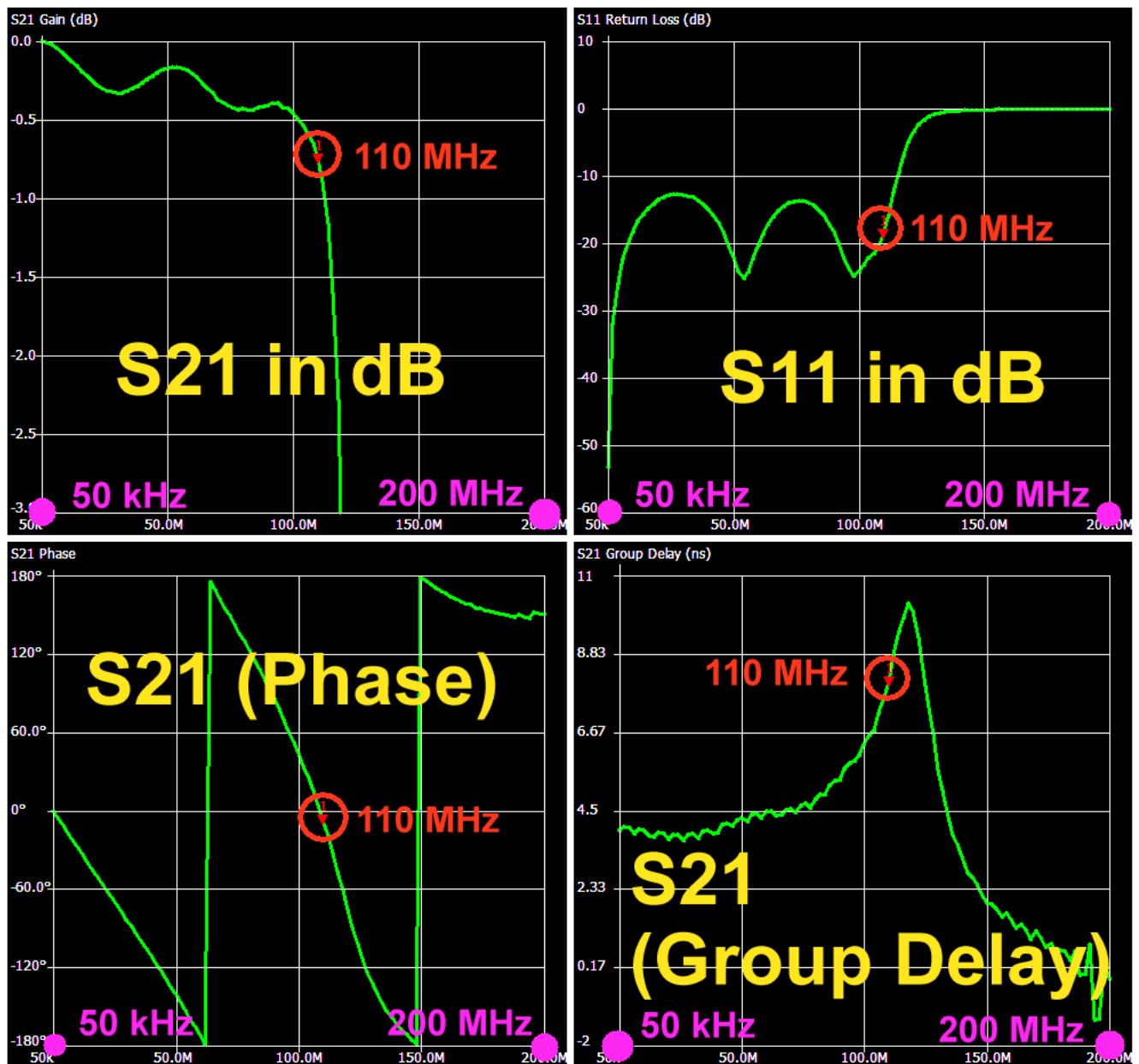
Dann machen im Stopp Band die Bauteil - Eigenresonanzen etwas Ärger. Aber selbst bis 1000 MHz erreichen wir mindestens 30 dB Sperrdämpfung.

12.1. Das Passband des Tiefpasses

Was man da an Details als Entwickler wissen möchte, kann man sich nun schnell 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.

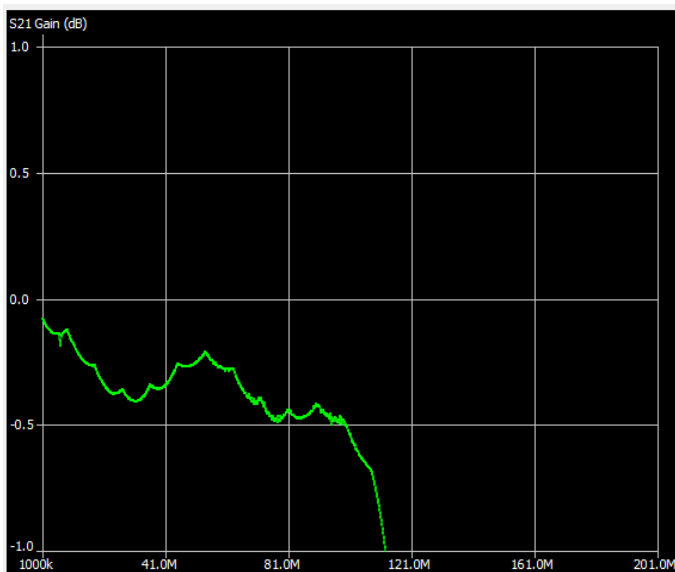


Aber jetzt noch eine Warnung und Bitte zur Frequenzbereichs-Umstellung:

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 seinem 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.

13. Die Sache mit den Markern

Sobald man auf irgend einen Kurvenpunkt (z. B. bei 100 MHz) in einem der Diagramme klickt, wird dort sofort in allen Diagrammen ein Marker eingeblendet. Er lässt sich durch „Ziehen mit der Maus“ oder mit den horizontalen Pfeiltasten 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°

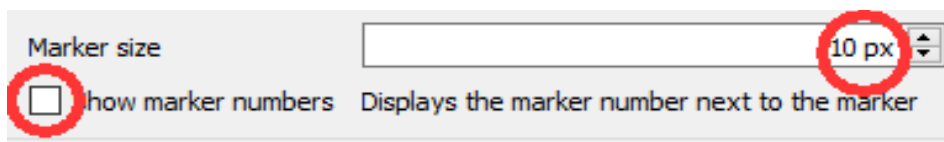
Maximal lassen sich drei **Marker** aktivieren. Man trägt ihre Frequenz ein, wählt ihre Farbe und sofort erscheinen sie im Diagramm.

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

(In der Programmversion v0.2.1. sind in dieser Ergebnis-Ausgabe nochmals weiter Daten dazu gekommen).

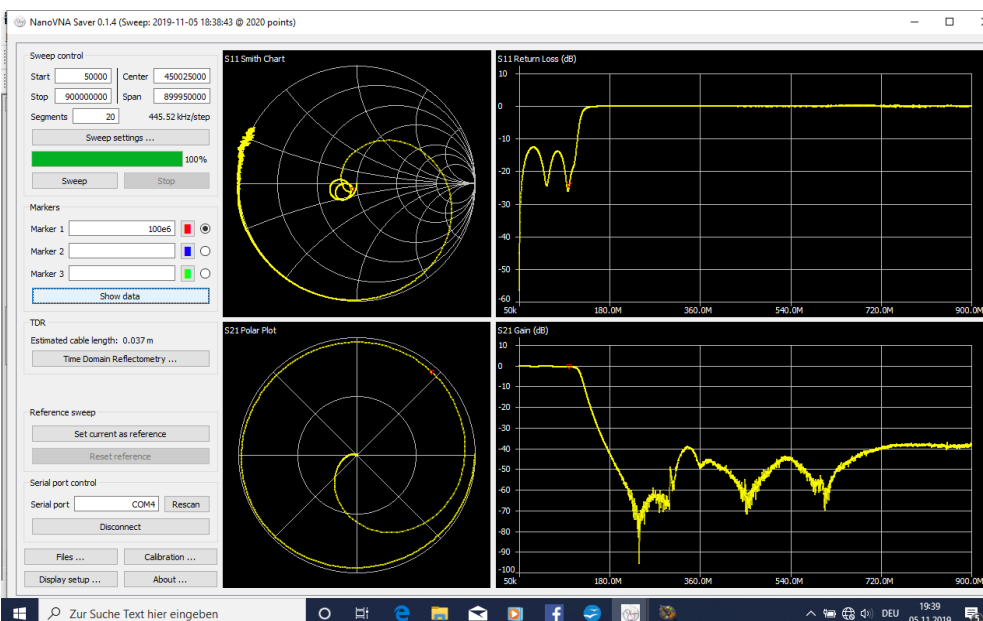
Weitere Informationen:

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



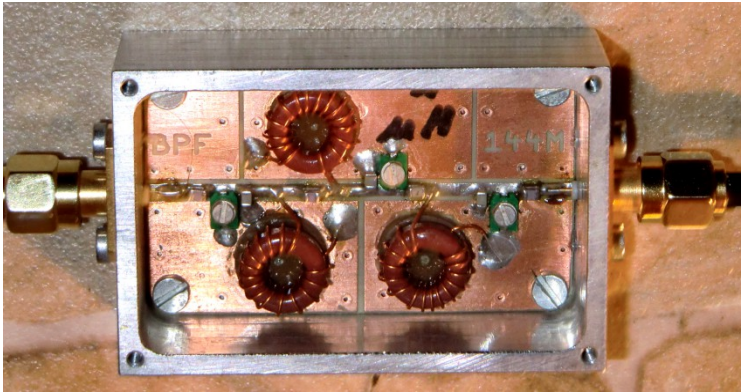
b) **Markergröße und Markerfarbe** lassen sich im Markermenü bzw. unter „Display-Settings“ einstellen.

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:

14. 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:

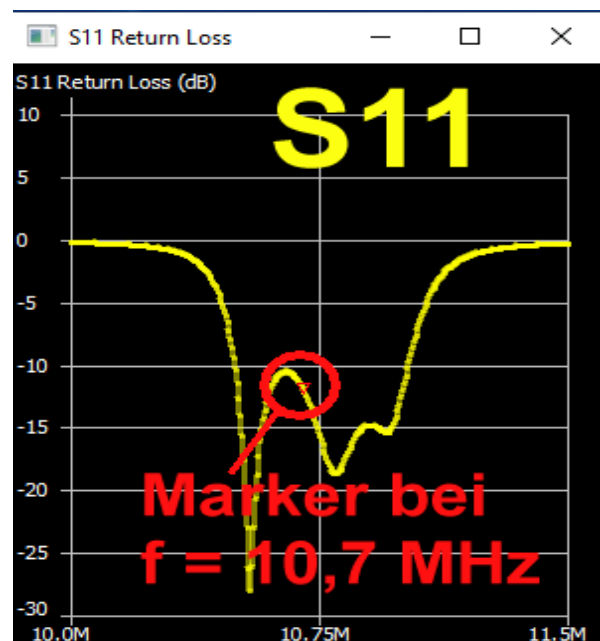
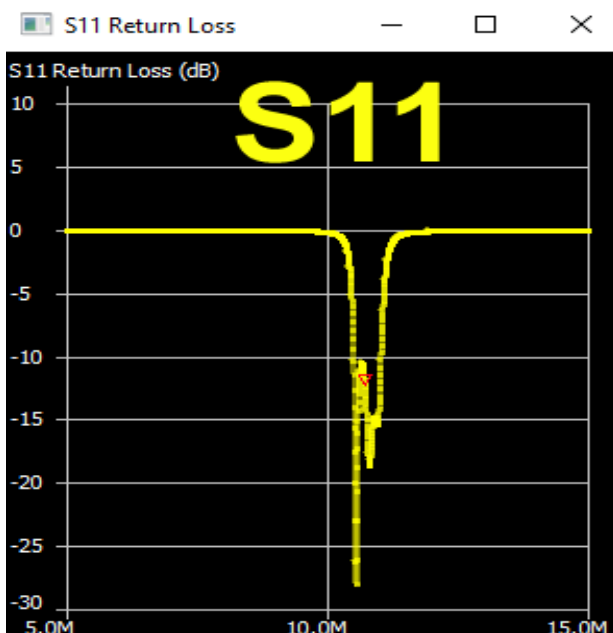
Das eben erzeugte Calibration File unter einem passenden Namen abspeichern und laden. Bei mir heißt es

„Suhner 30cm_Poulsen_5M-15M_20Seg“

3. Schritt:

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

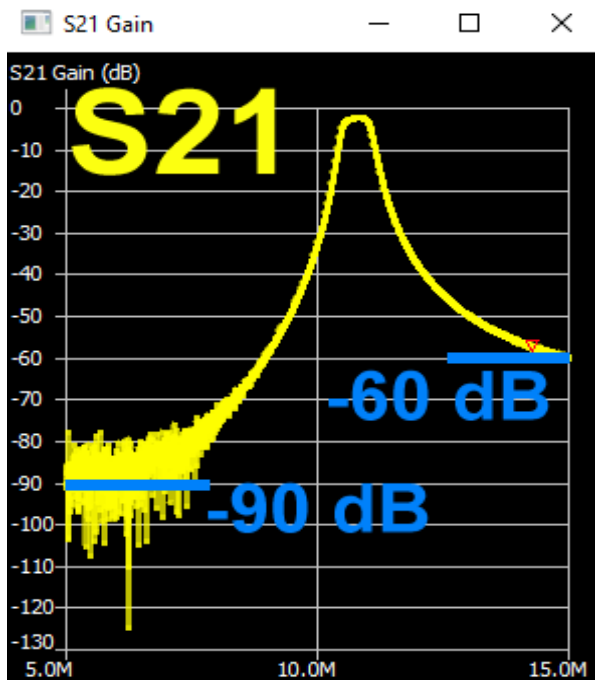
Ergebnis:



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

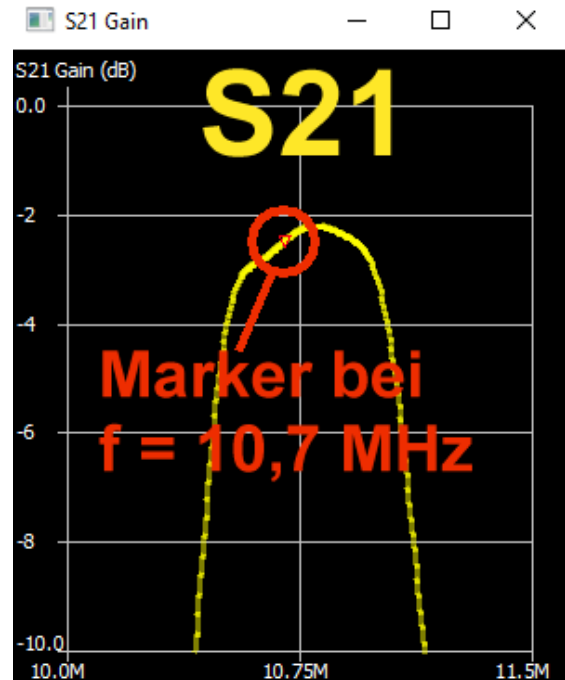
Außerdem wurde im rechten Bild ein **Frequenzmarker für 10,7 MHz** eingetragen.

Jetzt folgt **S21**:

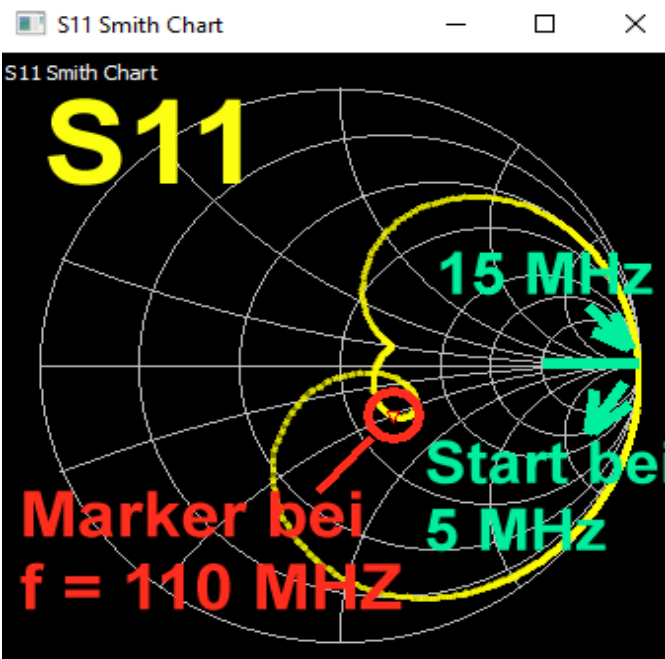


Im linken Bild können wir die beachtlichen Sperrdämpfungen bei 5 MHz ($S_{11} = -90$ dB) und bei 15 MHz ($S_{11} = -60$ dB) bewundern.

Das rechte Bild zeigt den **Durchlassbereich (passband)** mit einer kleinsten Dämpfung von 2,1 dB $f = 10,6$ MHz. Da fehlt wohl noch etwas Feinabgleich...



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

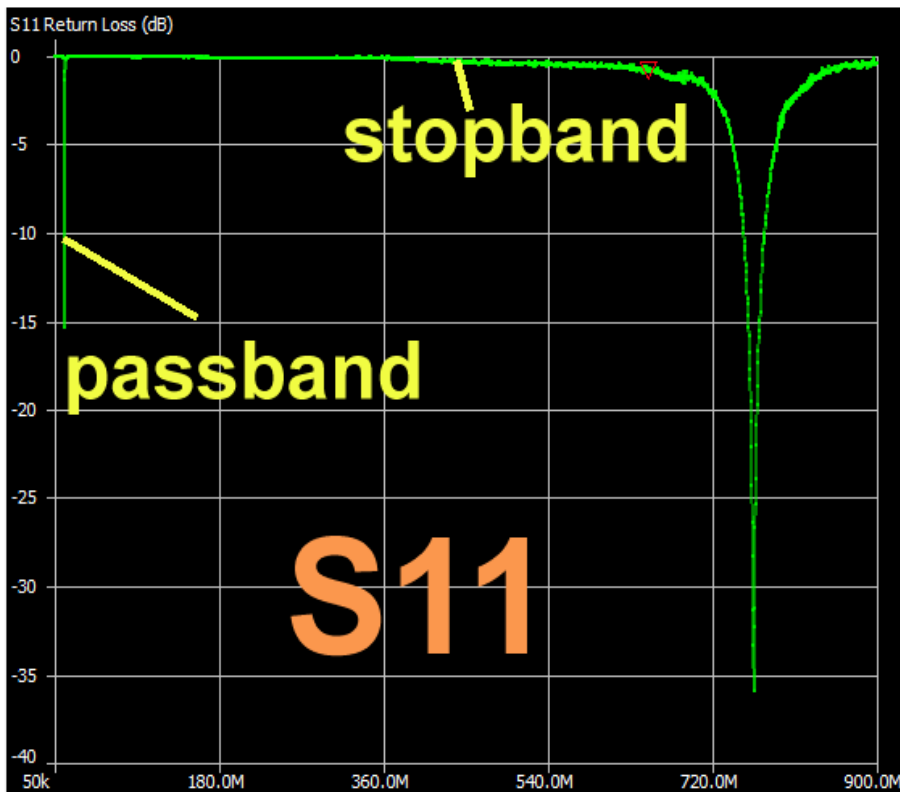


Hinweis:

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“

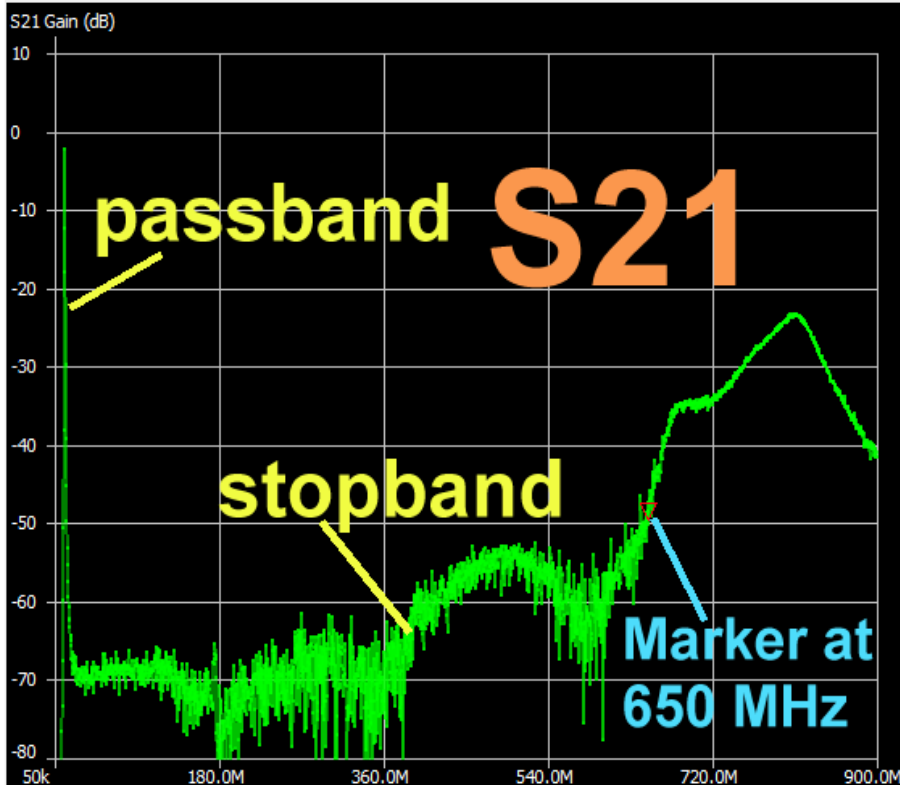
Und noch einen Gefallen können wir uns tun:



Wir laden das **Calibration File für 50 kHz bis 1300 MHz** aus dem vorigen Kapitel und sweepen bis 900 MHz.

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.



14.1. 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 unseren eben untersuchten 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

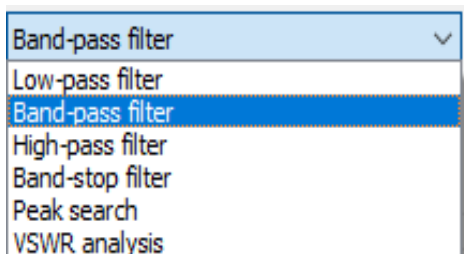
Frequenzbereich von 50 kHz.....50 MHz

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.**

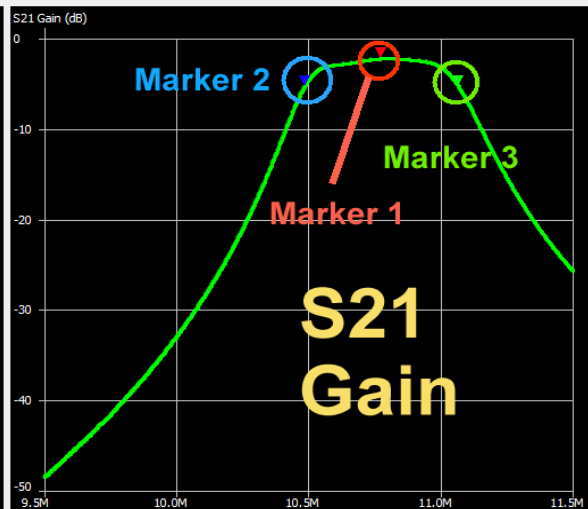
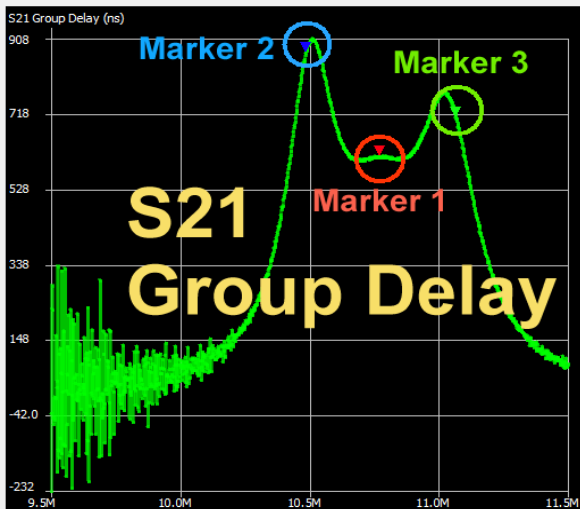
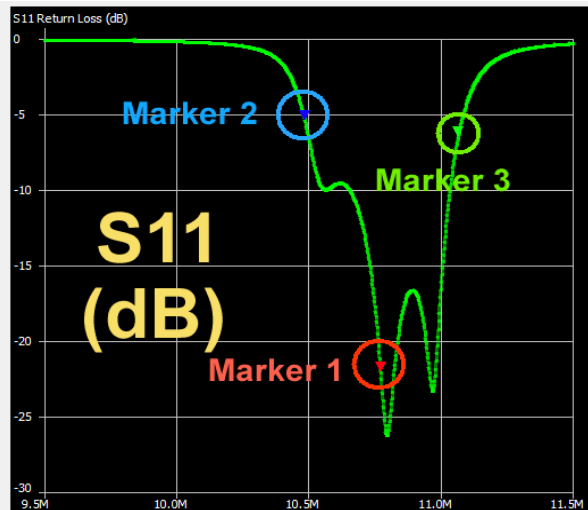
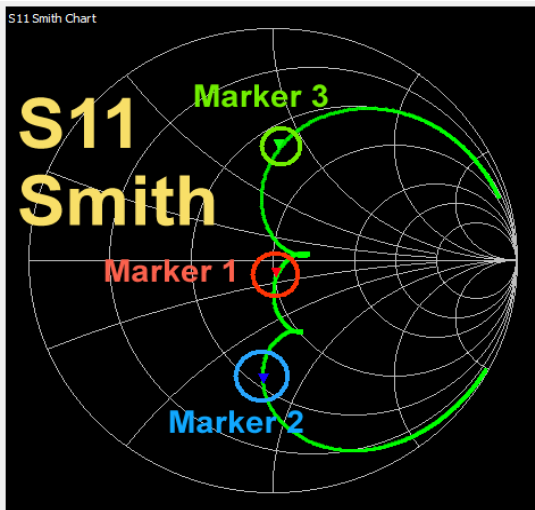
4. Schritt:

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 **Mittenfrequenz** von 10,771488 MHz.
S21 (= Gain) beträgt dort -2,207 dB

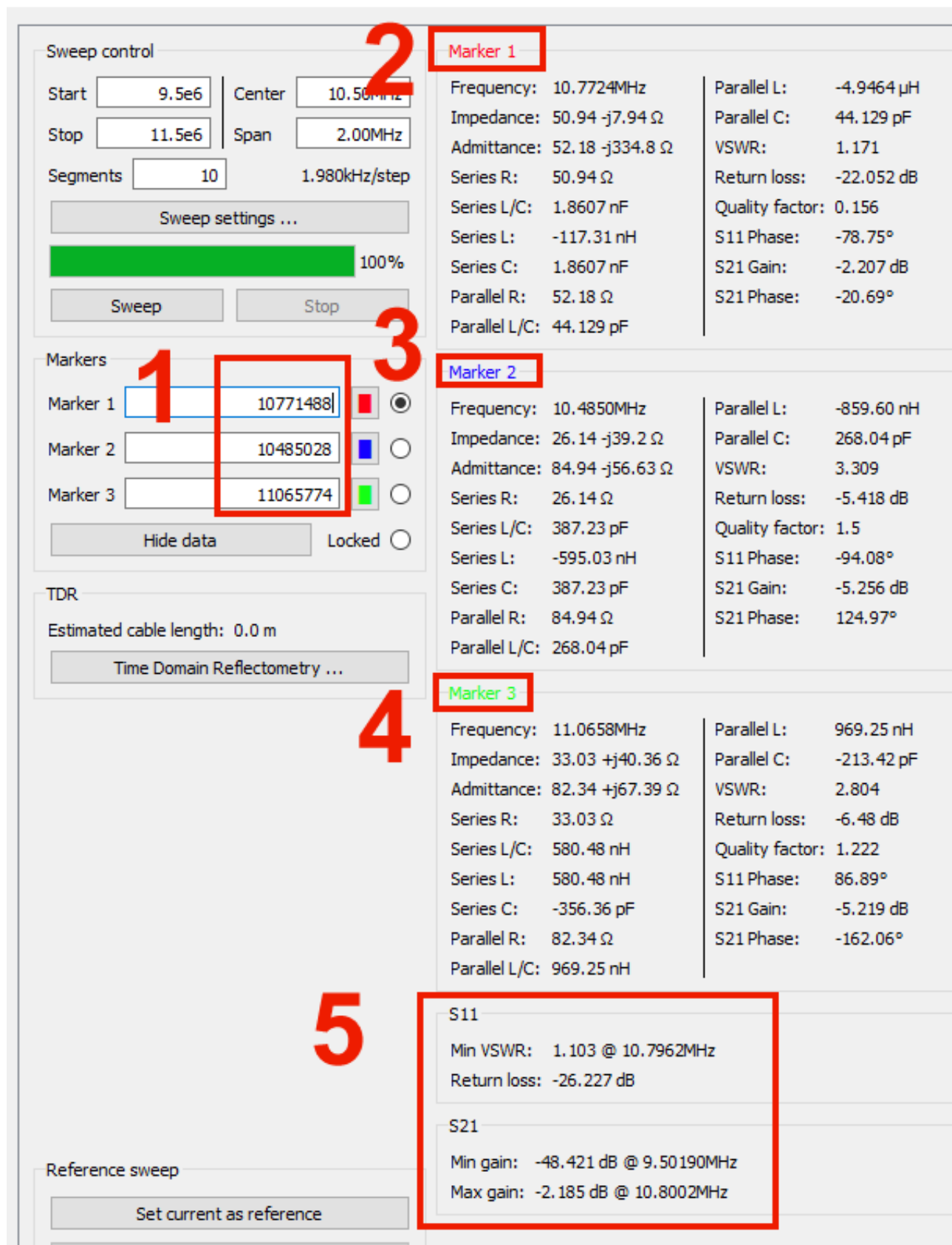
Marker 2 (Liste 3 für 10,485 MHz) stellt die **Untere Grenzfrequenz** dar. Bei Ihr nahm die Dämpfung um 3 dB zu, deshalb hat S21 den Wert -5,207 dB

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.

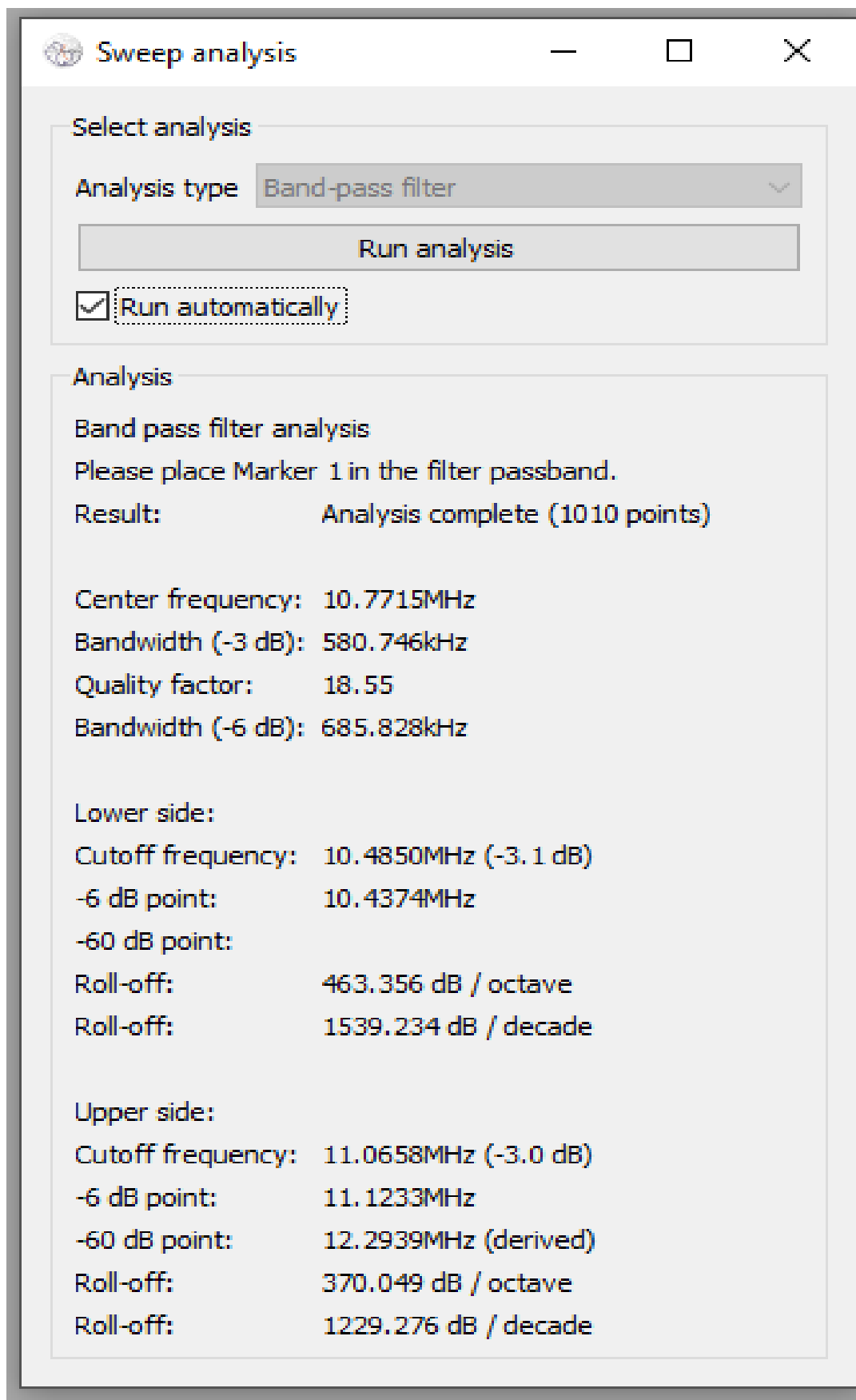
Schließlich findet sich in Liste 5 bei S11 der minimale Wert des VSWR (1,103 bei 10,7962 MHz und der zugehörige dB-Wert von S11 = -26.227 dB

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



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**:



14.2. Set Sweep as Reference

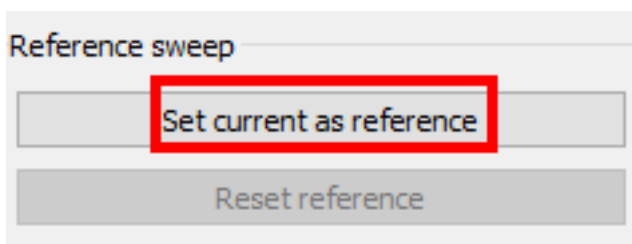
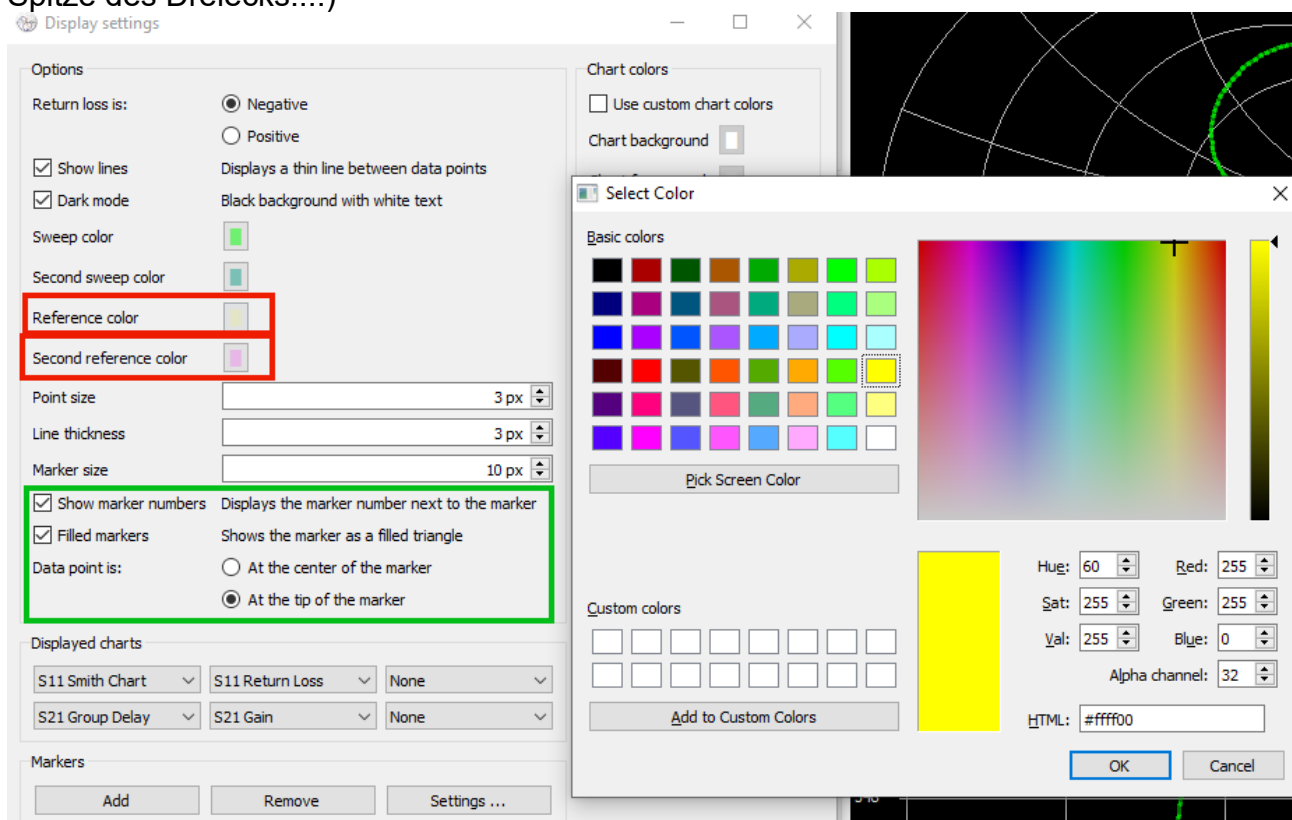
Eine praktische Sache, denn damit kann man die Ergebnisse einer Änderung mit dem vorigen Zustand vergleichen.

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....)



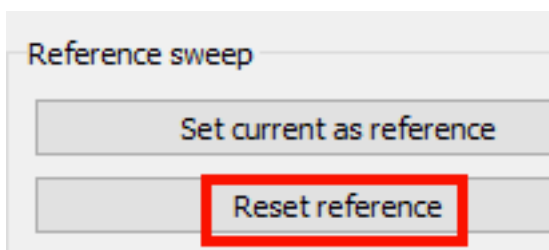
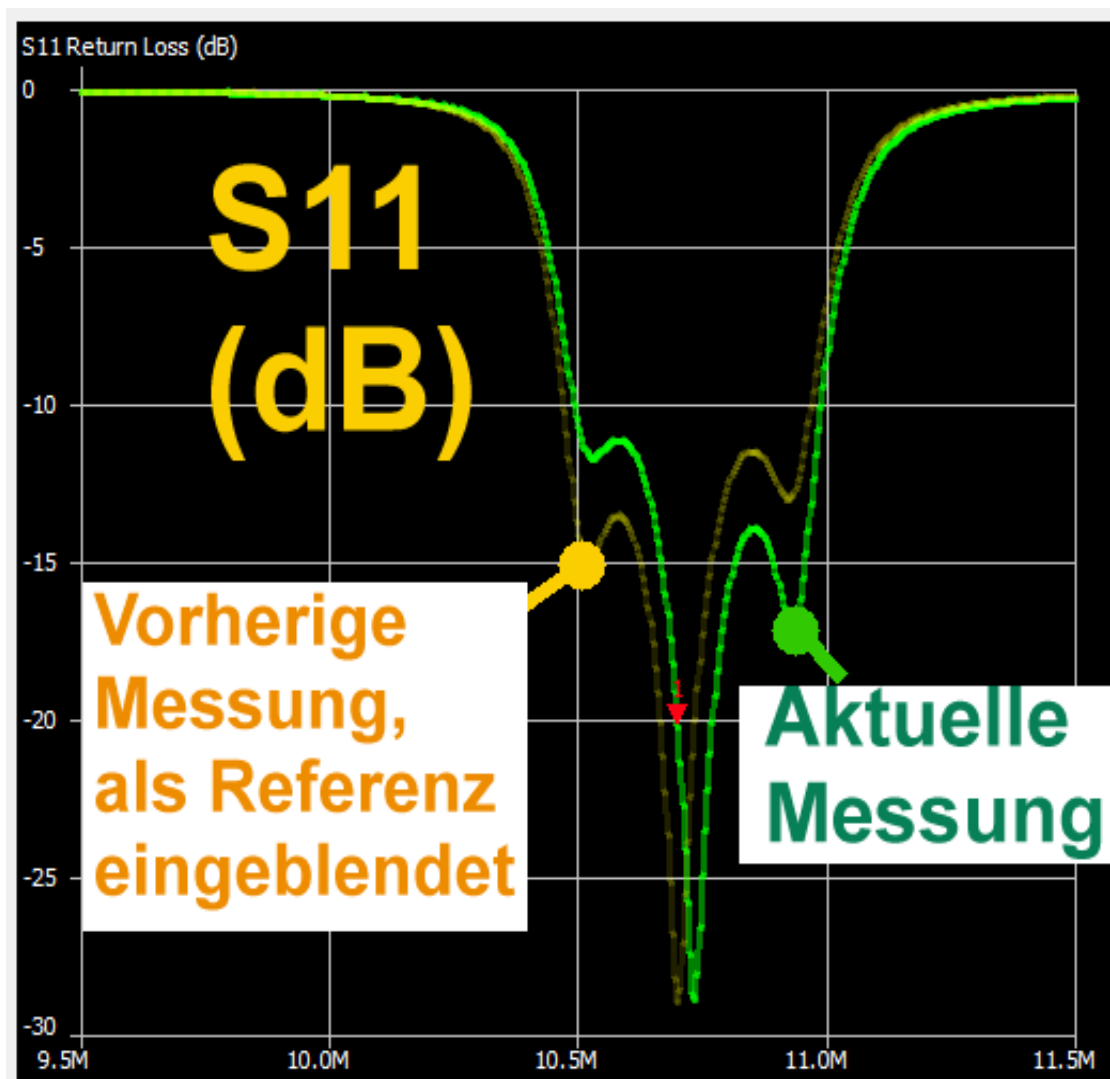
2. Schritt:

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. Solche dadurch entstehenden leichten **Änderungen der Filterdaten** erkennt man immer am besten an der **Eingangs-Reflektion S11**:



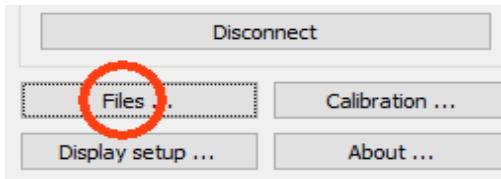
Wenn man die Referenzkurve nicht mehr braucht, dann klickt man einfach auf

Reset reference

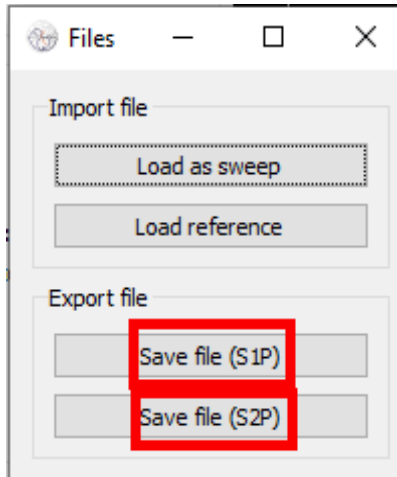
Persönliche Anmerkung:

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...

14.3. Speichern der erzeugten Touchstone Files für S11 und S21



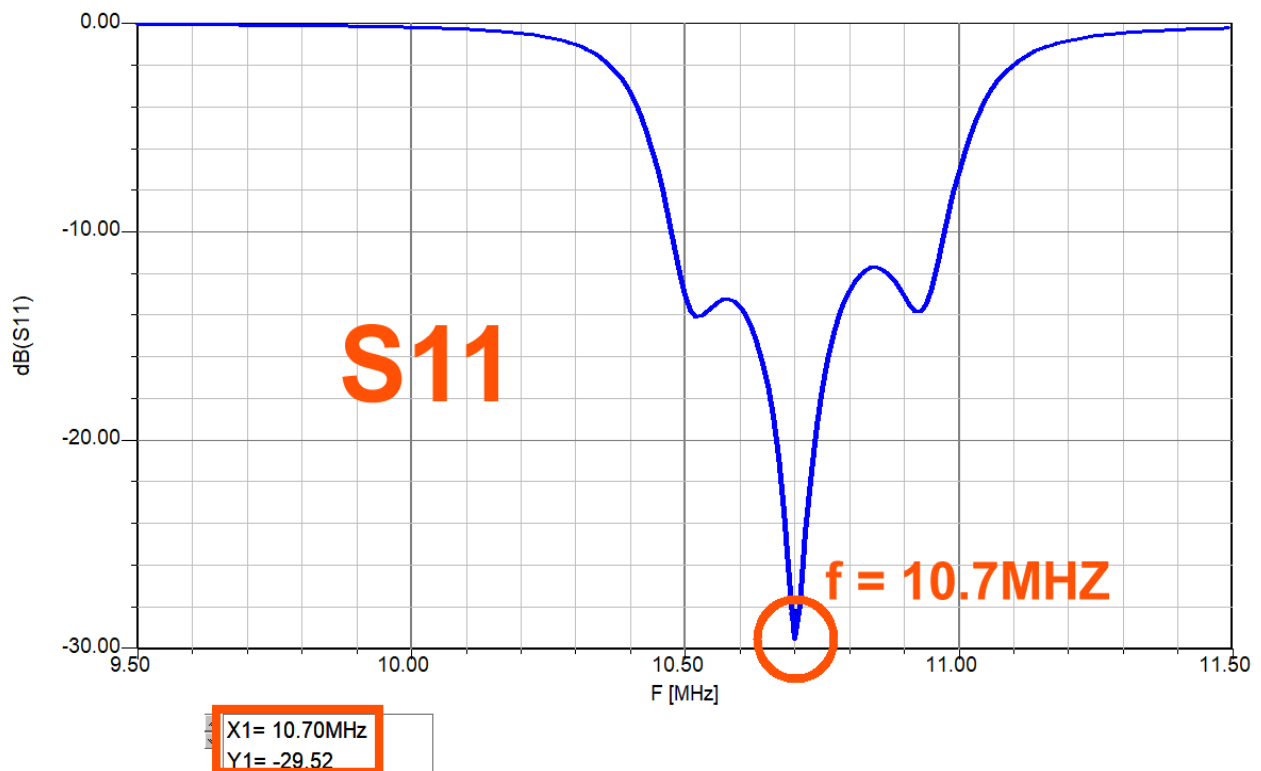
Zuerst „Files“ im linken unteren Eck des Bildschirmes öffnen....



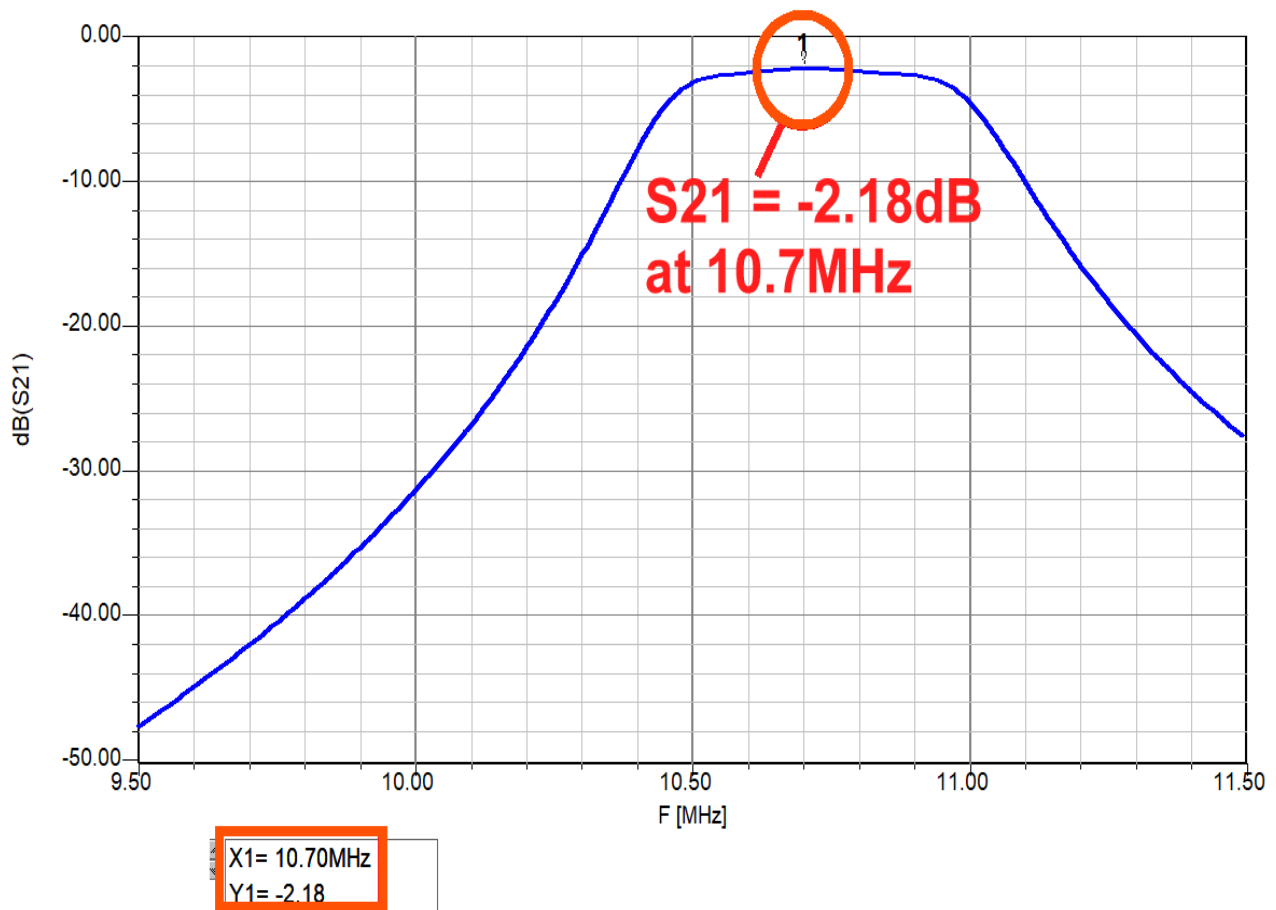
....und dann nacheinander S11 und S21 in eigenen Files (und mit eigenen Namen) in einem passenden Ordner speichern.

Nach einer weiteren Abgleich-Prozedur und einem neuen Sweep:

So sieht jetzt eine Test-Simulation mit dem **S11 - File** unter der professionellen Software „Ansoft Designer SV“ aus. (Diese kann kostenlos aus meiner Homepage www.gunthard-kraus.de heruntergeladen werden).

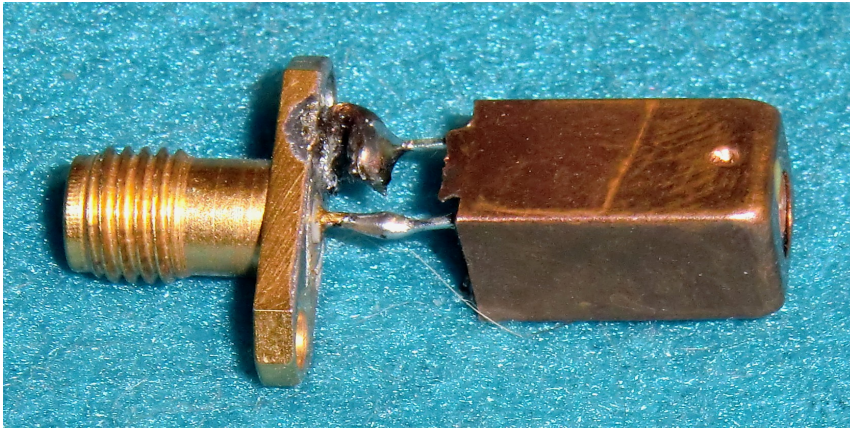


Und nun noch S21:



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

15. 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 einen **Sweep von 50 kHz bis 100 MHz** und lassen uns diese Sachen anzeigen.

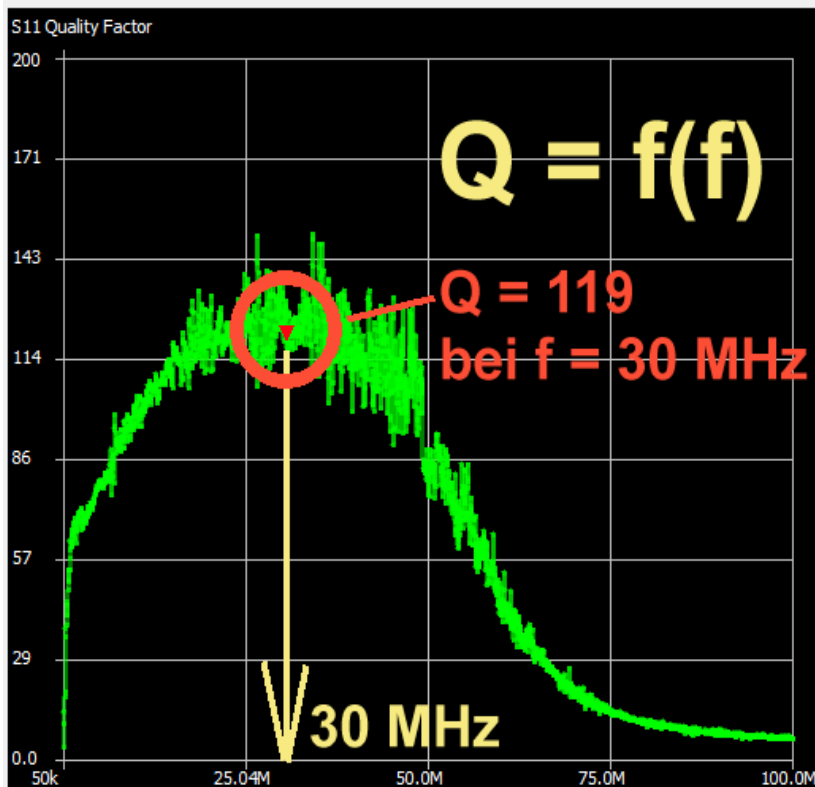
a) **R und X = f(f)**



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 $f = 30$ MHz mit $Q = 119$

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

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	

$R = 1,606 \Omega$

$L = 992,48$ nH

$Q = 119,1$

16. Ferritantenne für VLF-Experimente

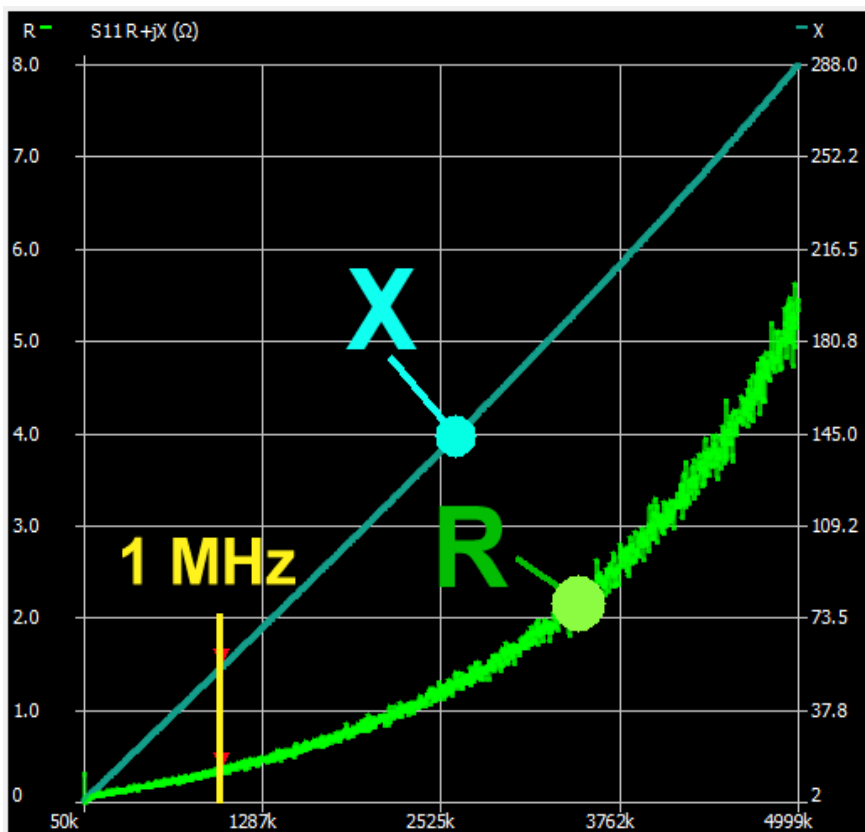
Ferritantennen aus alten Radios oder Kofferradios eignen sich hervorragend für den Bau von VLF-Antennen, mit denen der Frequenzbereich von 0....150 kHz untersucht werden kann. Dort gibt es viele interessante Dinge – von der U-Boot-Kommunikation über „Schumann-Resonanzen des Erdballs“ bis hin zu Zeitzeichen-Sendern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

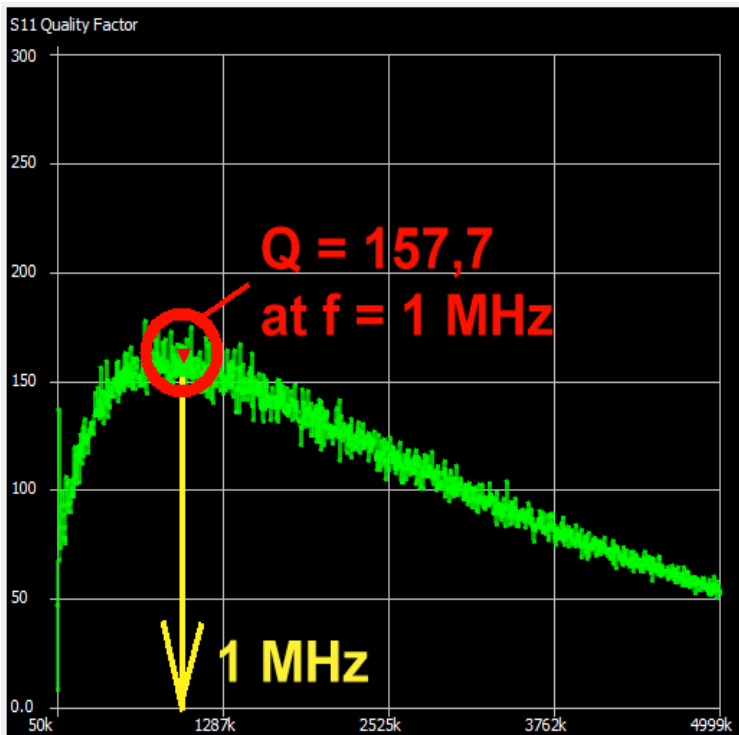
Nach dem Start des NanoVNA samt PC und der NanoVNA-saver-Software müssen wir zuerst eine **Kalibrierung für den Frequenzbereich von 50 kHz bis 5 MHz mit 20 Segmenten** erstellen. Das entstandene Calibration File wird unter einem **interessanten Namen** (bei mir: „**Suhner 30cm_Poulsen_50k - 5MHz_20Seg**“)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

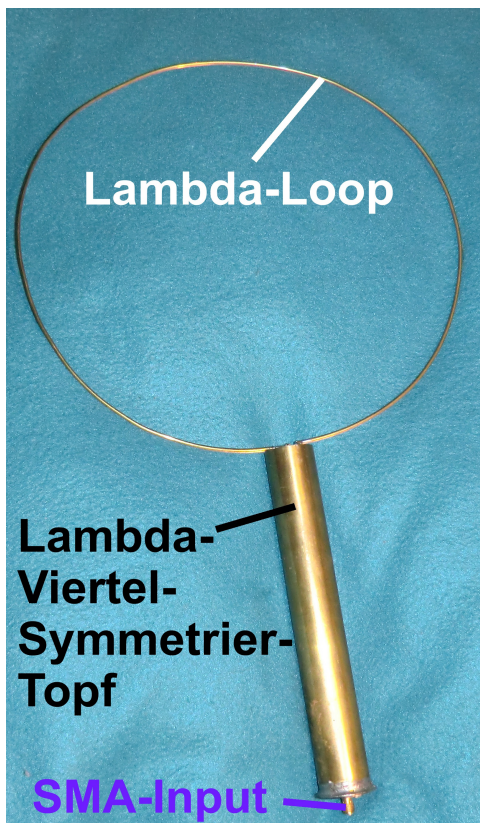
$$L = AL \times N^2$$

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

17. 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 $f = 433 \text{ MHz}$ wären das 693 mm).

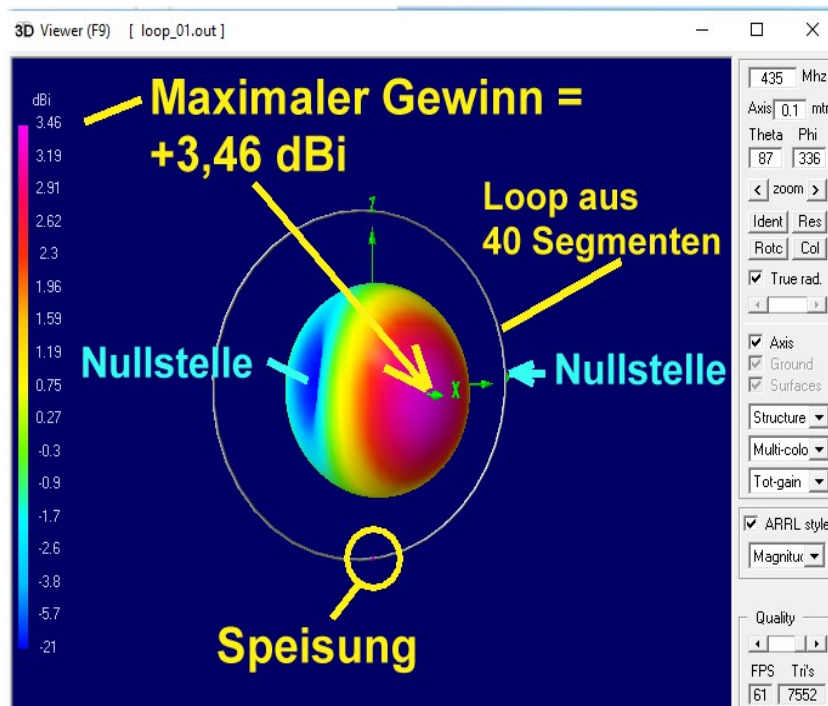
Dieser Draht wird zum Kreis gebogen und der weist dann einen Durchmesser von 22 cm auf.



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

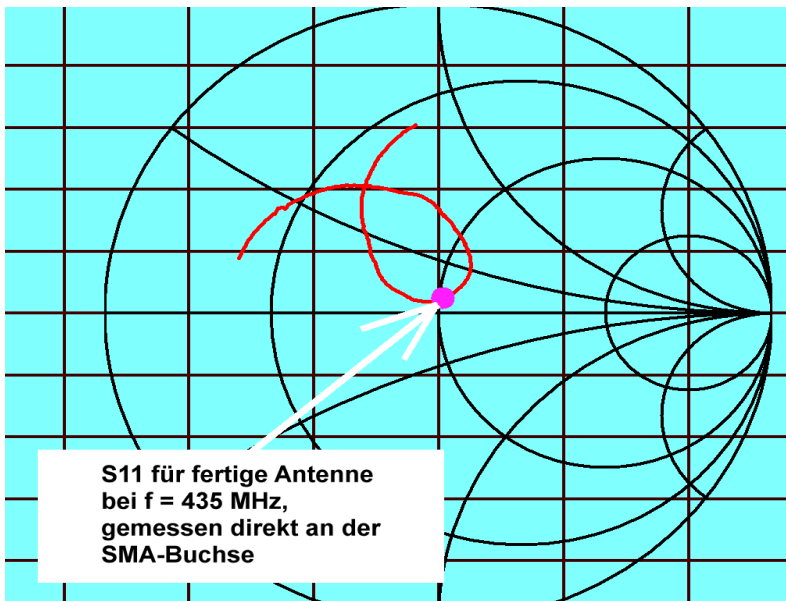
Am anderem Ende des Topfes finden wir eine **SMA-Buchse zur Einspeisung des Sendesignals über ein Koaxialkabel** – also vorschriftsmäßigen unsymmetrischen Betrieb.

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.

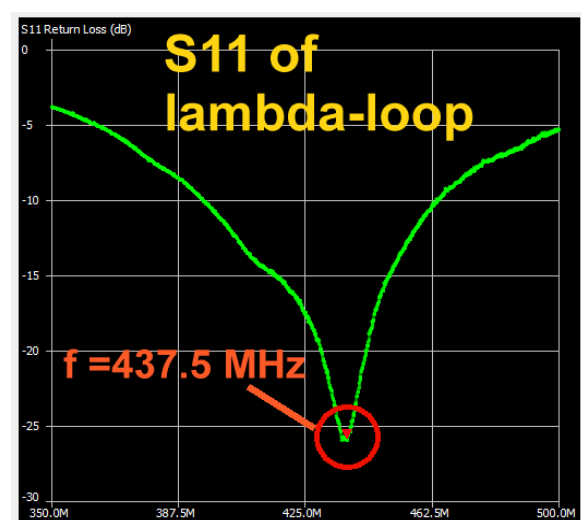
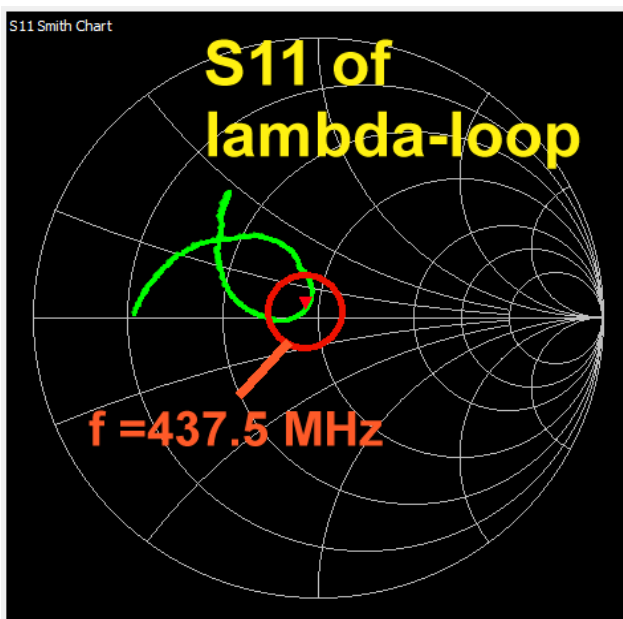


Aus diesem Artikel stammt auch die 3D-Simulation der Abstrahlung einer solchen Antenne mit 4NEC2 (...das Strahlungsmaximum ist rot bzw. violett gefärbt).

Das ist der an der SMA-Buchse mit einem 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 +j877.4 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

18. Low Pass Impulse Response: der NanoVNA-H2 als Kabeltester (= Time Domain Reflectometer)“

18.1. Grundlagen: die S-Parameter

Unser NanoVNA-H2 ist ein Gerät zur Ermittlung der S-Parameter (= Reflektion S11 bzw. Transmission S21) im Frequenzbereich (= Frequency Domain).

Dabei wird das Signal eines Generators von CH0 aus über ein Kabel an den Eingang eines Messobjektes als „**Incident Wave Uinc1**“ = Hinlaufende Welle) geschickt und mittels einer Messbrücke das am Eingang entstehende Echo (= Reflected Wave) bestimmt. So lässt sich **S11 als „Input Reflection“** berechnen. (...der Ausgang eines Twoports ist dabei mit dem Systemwiderstand von 50 Ohm abzuschließen).

Zusätzlich besitzt der NanoVNA -H2 einen auf dieselbe Frequenz abgestimmten **Empfänger**, dessen Eingang CH1 wir mit dem Ausgang eines „Twoports“ (Beispiel: Verstärker oder Filter) verbinden können. Ist der Sender an CH0 angeschlossen, dann können wir nun die Verstärkung oder Dämpfung des untersuchten Bausteins messen und definieren das, was aus dem Baustein kommt, als „**Incident Wave Uinc2**“. Damit berechnen wir die gesuchte Verstärkung als Verhältnis von Uinc2 zu Uinc1 (...Dieses Verhältnis heißt jetzt aber offiziell „**Forward Transmission S21**“ und alles läuft in einem 50 Ohm - System).

Natürlich gibt es in den Messobjekten Rückwirkungen und deshalb dreht man nun das Messobjekt um. Der NanoVNA-Sender schickt jetzt sein Signal auf den Ausgang des Bausteins und prüft das Echo. Der NanoVNA-Empfänger schaut dagegen nach, was zum Eingang zurückkommt.

So bestimmen wir die „**Reverse Transmission S12**“ und die „**Output Reflection S22**“.

Jetzt wird eine Messfrequenz nach der anderen abgearbeitet und am Ende erhalten wir das berühmte „S-Parameter-File für einen bestimmten Frequenzbereich“.

18.2. Von der Frequency Domain zur Time Domain

Man muss wissen, dass man die Eigenschaften eines Bausteins sowohl im **Frequenzbereich** (hier: anhand der S-Parameter-Dateien) wie auch durch die Spannungsverläufe im **Zeitbereich** vollständig bestimmen und beschreiben kann.

Beide Methoden sind völlig gleichwertig und nur die beiden Seiten derselben Münze. Das Tolle ist, dass man nun mit Mathematik (= Fourier- bzw. Inverser Fourier-Transformation) jederzeit vom einen in den anderen Bereich wechseln kann!

Bei unserem NanoVNA-H2 nutzen wir aber nur einen sehr kleinen Teil dieser Möglichkeiten aus und kümmern uns **nur um die Eingangsreflektion S11**.

Hat der NanoVNA-H2 vorhin nacheinander die einzelnen Messfrequenzen eingestellt und damit den S11-Verlauf ermittelt, dann berufen wir uns nun darauf, dass ein **Dirac-Impuls mit unendlich kurzer Pulslänge, aber unendlich hoher Amplitude ALLE Frequenzen mit gleicher spektraler Leistungsdichte enthält**. Legt man ihn (bzw. ein angenähertes Signal) an den Eingang unseres Bausteins, dann wird das **messbare Echo im Zeitbereich automatisch dem gemessenen S11-Verlauf im Frequenzbereich entsprechen!**

Doch nun kommt der eigentliche Dreh beim NanoVNA-H2 als TDR:

Er hat S11 im Frequenzbereich gemessen und als Datei gespeichert. Lassen wir jetzt die **Inverse Fourier-Transformation in den Zeitbereich** über diese Datei laufen, dann muss das Ergebnis

der zeitliche Verlauf des Echos bei der Ansteuerung mit einem Dirac-Impuls sein!

Und wenn am Generator-Ausgang CH0 ein am Ende leerlaufendes oder kurzgeschlossenes Kabel hängt, können wir aus der Zeitverzögerung des am Kabelende reflektierten (theoretischen) Dirac-Impulses über die Kabelgeschwindigkeit die Kabellänge berechnen!

(Dieses Thema ist recht komplex und wer sich gründlich in verständlicher Form einarbeiten oder schlauer machen möchte, der hole sich die **Anritsu Application Note**

Time Domain Measurements using Vector Network Analyzers

aus dem Internet. Noch ausführlicher ist die **VNWA3-Hilfe von Tom Baier** mit dem Kapitel „**Time Domain Measurements**“).

18.3. Messung von Kabellängen mit dem NanoVNA und der NanoVNA-Saver-Software

18.3.1 Vorüberlegungen

Da gibt es – außer dem Problem der richtigen NanoVNA - Saver-Bedienung – gleich Fragen, die wir vorab klären müssen:

- a) **Wie hängen prinzipiell die maximal angezeigte Kabellängen mit dem Sweepbereich zusammen?**
- b) **Wie muss ich den Sweepbereich einstellen, um sehr kurze Kabellängen bzw. sehr große Kabellängen zu bestimmen?**
- c) **Wo finde ich schnell den maximalen Frequenzschritt** beim Sweepen? Wir brauchen ihn für die Inverse Fast fourier Transformation (IFFT).
- d) **Wie hängt dieser Frequenzschritt mit der angezeigten maximalen Kabellänge zusammen?**
- d) **Woher bekomme ich die Kabeldaten** (= Material und zugehörige Kabelgeschwindigkeit)?

Antworten:

Der NanoVNA-H2 misst bekanntlich immer nur an **101 Punkten** im eingestellten Sweepbereich und erzeugt deshalb **100 Frequenzschritte (Steps)**.

Wenn wir z.B. einen Span von 1 MHz bis 101 MHz wählen, dann hat jeder **Frequenzschritt (= Step)** eine Breite von

$$(101\text{MHz} - 1\text{ MHz}) / 100 = 1\text{ MHz}$$

Im Zeitbereich entspricht das einem **Time-Step** von **$1 / 1\text{ MHz} = 1\text{ }\mu\text{s} = 1000\text{ ns}$** , in dem gemessen werden kann. **Da wir aber das Echo des Kabelendes sehen wollen, müssen wir an seinen nötigen Rücklauf zurück zum Generator denken und haben dann nur einen maximalen Timestep von $1000\text{ns} / 2 = 500\text{ns}$ für die Entfernungsmessung zur Verfügung.**

Beim NanoVNA-Saver-Programm wurde dieser Wert nochmals auf die Hälfte reduziert (...wohl aus Anti-Aliasing-Gründen....) und so wird mit einem maximalen Zeit-Messbereich von **$500\text{ns} / 2 = 250\text{ns}$** gearbeitet.

Untersuchen wir nun ein **leerlaufendes Teflonkabel mit einer Kabelgeschwindigkeit von 70 % der Lichtgeschwindigkeit**, dann erhalten wir dafür mit der bekannten Formel

$$\text{Geschwindigkeit} = \text{Weg} / \text{Zeit} \quad \text{bzw.} \quad \text{Weg} = \text{Kabelgeschwindigkeit} * \text{Zeit}$$

eine darstellbare Länge von

$$0,7 * (3*10^8 \text{ Meter pro Sekunde}) * 250*10^{-9}\text{s} = 52,5 \text{ m}$$

Versuchen wir nun, das ganz praktisch nachzuprüfen!

18.3.2. Praktisches Projekt

Schritt 1:

NanoVNA-H2 über USB-C an den PC anschließen. **Am NanoVNA-H2 ist das 30cm lange Huber-Suhner-Messkabel fest aufgeschraubt und damit wurde kalibriert.**

Messobjekt ist ein ca. 30 cm langes SMA-Teflonkabel.

Software „NanoVNA-saver-v0.2.2-1.exe“ starten und den NanoVNA-H2 einschalten. Im Menü die COM-Verbindung zum NanoVNA-H2 herstellen.

Schritt 2:

„Calibrate“ öffnen und zuerst den gültigen **Calibration Standard laden**. Bei mir heißt er „**Poulsen_final**“ und den sollten wir vom Teil B) des Tutorials her noch kennen (Siehe nebenstehendes Bild).

Erst dann öffnen wir ein **geeignetes Calibration File** aus unserem Vorrat. Bei mir reicht es bis 1500 MHz und heißt

VNA_H_Suhner 30cm_Poulsen final_50k - 1500M_20Seg_avg=3

Erinnern Sie sich noch? Ich arbeite mit dem NanoVNA-H2 und ein Suhner-Kabel mit 30 cm Länge bleibt daran an CH0 fest angeschraubt. **Dessen SMA-Stecker am offenen Ende bildet die Referenzebene.** Kalibriert wird von 50 kHz bis 1500 MHz mit 20 Segmenten, zusätzlich wird ein Mittelwert aus

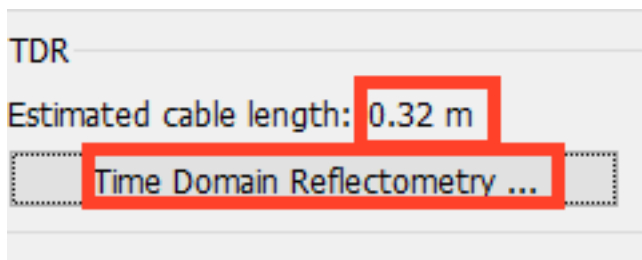
3 Messungen gebildet und der bei jedem Messpunkt gespeichert.

Schritt 3:

Wir programmieren die **Startfrequenz von 1 MHz und die Stoppfrequenz von 101 MHz**. Gearbeitet wird mit 1 Segment, also mit 101 Messpunkten.

Im roten Rahmen sehen wir nun den „**Span**“ von 100 MHz, darunter den **Step** mit 1 MHz.

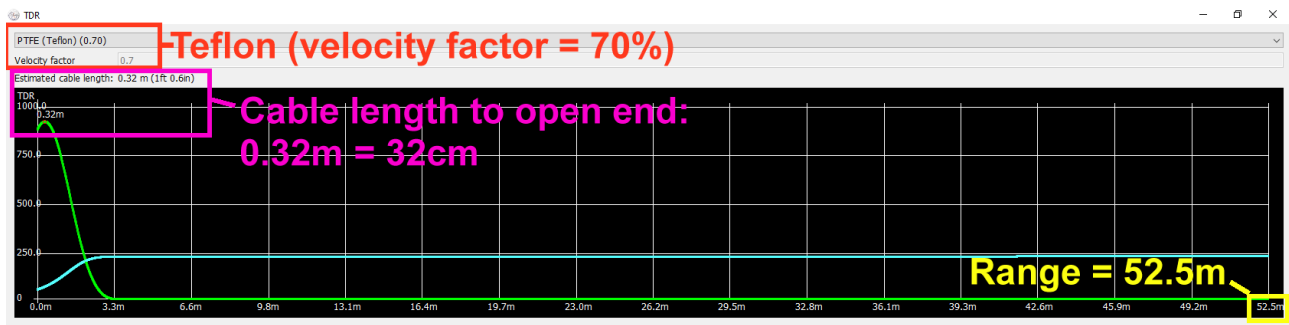
Ein Klick auf „**Sweep**“ startet die Messung.



Schritt 4:

Jetzt wird es spannend! Ein Klick auf „**Time Domain Reflectometry**“ (am linken Bildrand in halber Bildhöhe) löst die nötige **Inverse Fast-Fourier Transformation (= IFFT)** aus....

...und dann sehen wir folgendes Ergebnis (= grüne Kurve):



Das Teflon-Kabel und seine Eigenschaften holen wir uns aus dem Menü hinter dem Button.

Die maximal darstellbare Entfernung (= Kabellänge) beträgt **52,5 m** (Siehe oben).

Das Maximum des Echos erscheint nach **32cm** Kabellänge. Die wirkliche gemessene mechanische Länge (von Mitte zu Mitte beider SMA-Stecker beim Messobjekt) ist dagegen ca. 30 cm. Aber wir müssen noch die Länge des Female - Female -Through-Adapters vom Kabeleingang bis zur Referenzebene abziehen.

Wichtig:

Die verwendete IFFT-Software unterscheidet NICHT zwischen Leerlauf oder Kurzschluss am Kabelende – es gibt nur ein Echo mit einem Maximum. Ebenso fehlt (noch?) eine Programmierung zur Ermittlung von Impedanzsprüngen, komplexen Zusatzlasten und ähnlichen Feinheiten entlang der Kabellänge. Die ist aber sehr aufwendig, läuft unter dem Fachausdruck „Low Pass Step Response“ und ist noch nicht in NanoVNA-saver-v0.2.2-1.exe vorhanden.

Achtung:

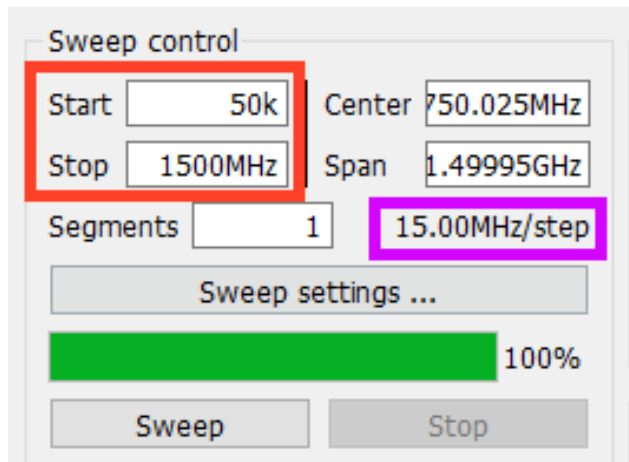
Die Software misst ab der durch die Kalibrierung festgelegten Referenz-Ebene, also ab dem Inneren des SMA-Steckers am offenen Ende des fest aufgeschraubten Huber-Suhner-Teflon-Kabels. Nur ab dort werden zusätzliche Kabellängen gezählt...

Wir müssen ja den gemessenen Wert noch um die elektrische Länge des „Through“-Adapters zwischen dem Suhner - Messkabel und unserem Messobjekt kürzen. Dazu brauchen wir aber einen Messbereich unter 5 m, um das noch sauber zu erkennen...

18.3.3. Reduktion des Messbereichs für kurze Kabel

Das ist nun nicht mehr schwierig:

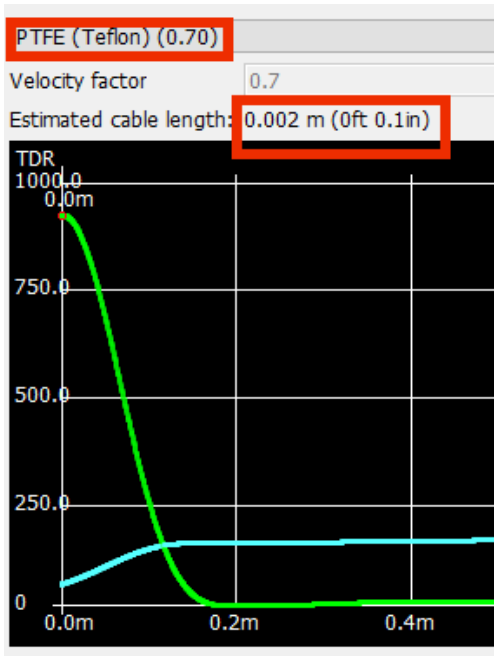
Je **größer der Frequenzschritt (Step)** beim Sweep in der Frequency Domain ist, desto **kleiner wird sein Kehrwert als Timestep und damit die dargestellte maximale Kabellänge**. Beim NanoVNA-H2 können wir bis **1500 MHz** sweepen und müssen dann mit maximal 101 Punkten (= 1 Segment) arbeiten. **Aber bitte nicht vergessen, vorher ein bis 1500 MHz gültiges Calibration File zu laden!**



Vorsicht:

Bitte die **Zahl der eingestellten Segmente in diesem Fall immer möglichst klein (= also zu 1) wählen**. Nur dann erhalten wir den größten Step und als **Geschenk seinen kleinsten Kehrwert – also die kürzeste zugehörige maximale Kabellänge**.

Arbeiten wir also mal mit **50 kHz1500 MHz und einem einzigen Segment**.

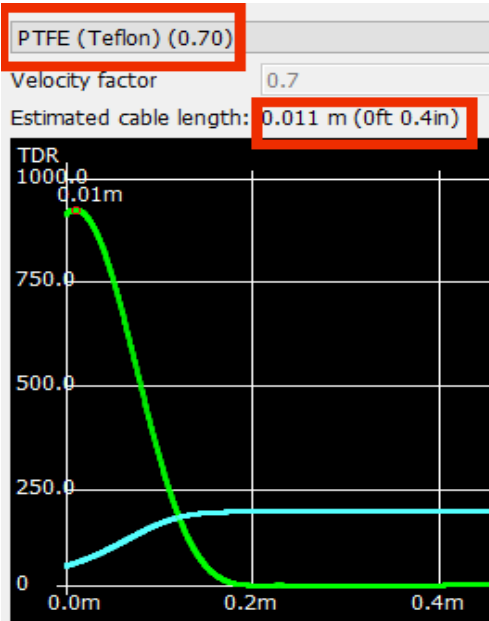


Und jetzt **schrauben wir das auszumessende Kabel samt „Through“-Adapter ab**, um bei der nächsten Messung möglichst nahe an die Referenz-Ebene heranzukommen. Dann sweepen wir und starten hinterher die IFFT.

Bei einem angezeigten maximalen **Messbereich von 3,5 Metern** können wir nun sogar **einzelne Millimeter erkennen**.

Da sehen wir, dass uns die „Open End Extension des offenen SMA-Steckers das Ergebnis wohl leicht verfälscht – die gemessene Länge ist nicht Null (= Referenzebene), sondern **2 Millimeter**.

Also schrauben wir nun den Female-Female Through Adapter auf das offene Ende des Suhner - Messkabels und messen nochmals.



Jetzt wird eine Kabellänge von **11 mm** angezeigt. Davon dürfen wir 2 mm für die Verschiebung der Referenz-Ebene abziehen und wir bekommen eine zu berücksichtigende mechanische Länge des Through-Adapters von

$$11 \text{ mm} - 2 \text{ mm} = 9 \text{ mm}$$

Vorhin hatten wir eine Gesamtlänge von 320 mm beim Kabel ermittelt. Wenn wir nun den Through-Adapter ohne Open End Extension abziehen (...das Messobjekt ist am Ende ja auch offen...), dann landen wir bei einer tatsächlichen Kabellänge von

$$320 \text{ mm} - 9 \text{ mm} = 311 \text{ mm.}$$

Passt....

(Übrigens:

Wenn wir auf die grüne Kurve klicken, wird ein Cursor eingeblendet. Damit könnten wir mit der Maus jeden Kurvenpunkt „anfahren“).

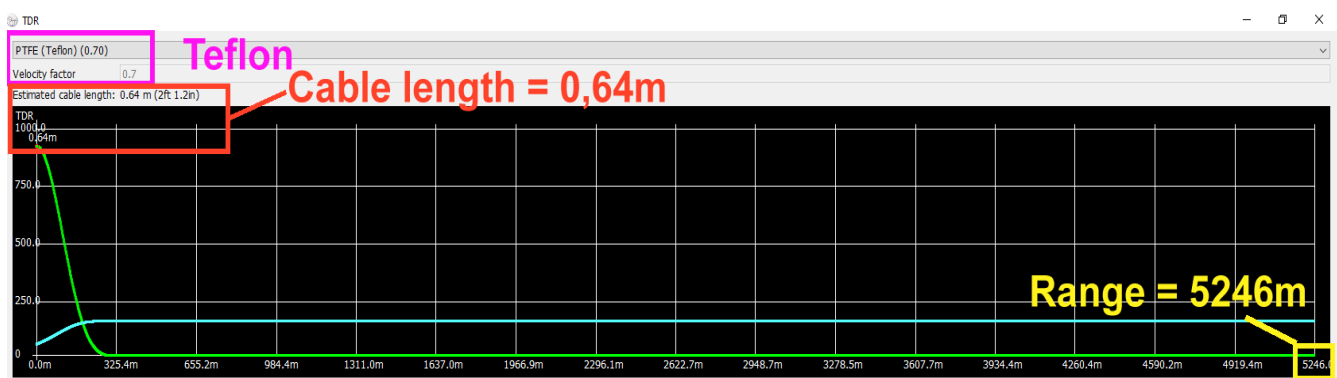
18.3.4. Wie kann ich sehr lange Kabel untersuchen?

Nach den obigen Formeln brauchen wir dazu einen möglichst großen Time-Step und dazu gehört ein **kleiner Step im Frequenzbereich**.

Wir benützen weiterhin das Messkabel mit 30 cm Länge (mit offenem Ende) als Testobjekt.

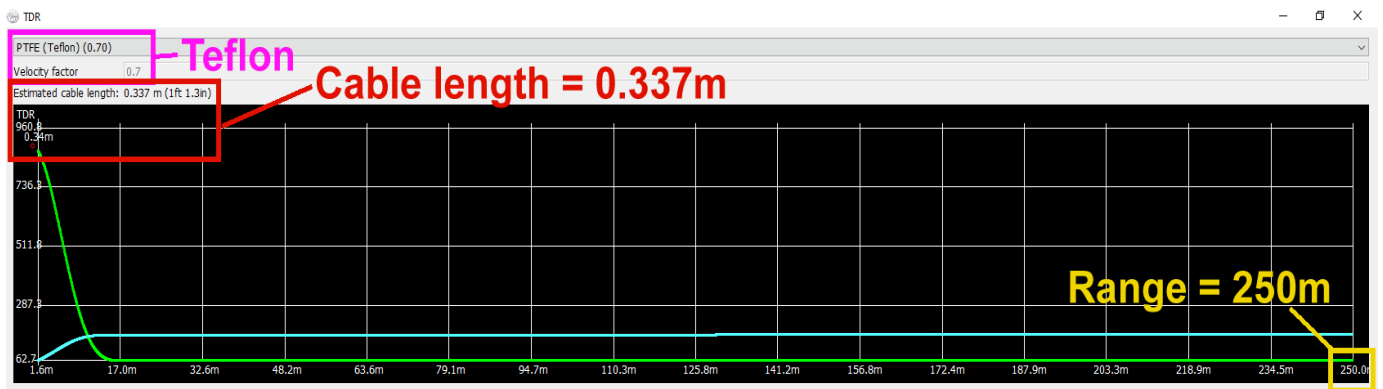
Beispiel:

Wir sweepen nur von **1 MHz bis 2 MHz** mit **1 Segment** und erhalten damit **100 Frequency Steps** mit je **10 kHz**.



Der Messbereich steigt auf **5246 Meter** an, aber unser Messergebnis liegt sehr nahe am Nullpunkt und wird – wie bei jedem wirklichen Messgerät! – dadurch leider sehr ungenau. Da sollte man als Anwender schon ein vernünftiges Verhältnis wählen....

Folglich machen wir den Span größer (mit 1 Segment) und sweepen nun von **1MHz bis 20 MHz**:



Der neue Messbereich von 250 m liefert nun eine Kabellänge von 0,337 m = 337 mm. Ohne Through-Adapter mit 9 mm Länge sind das 328 mm als reine Kabellänge.

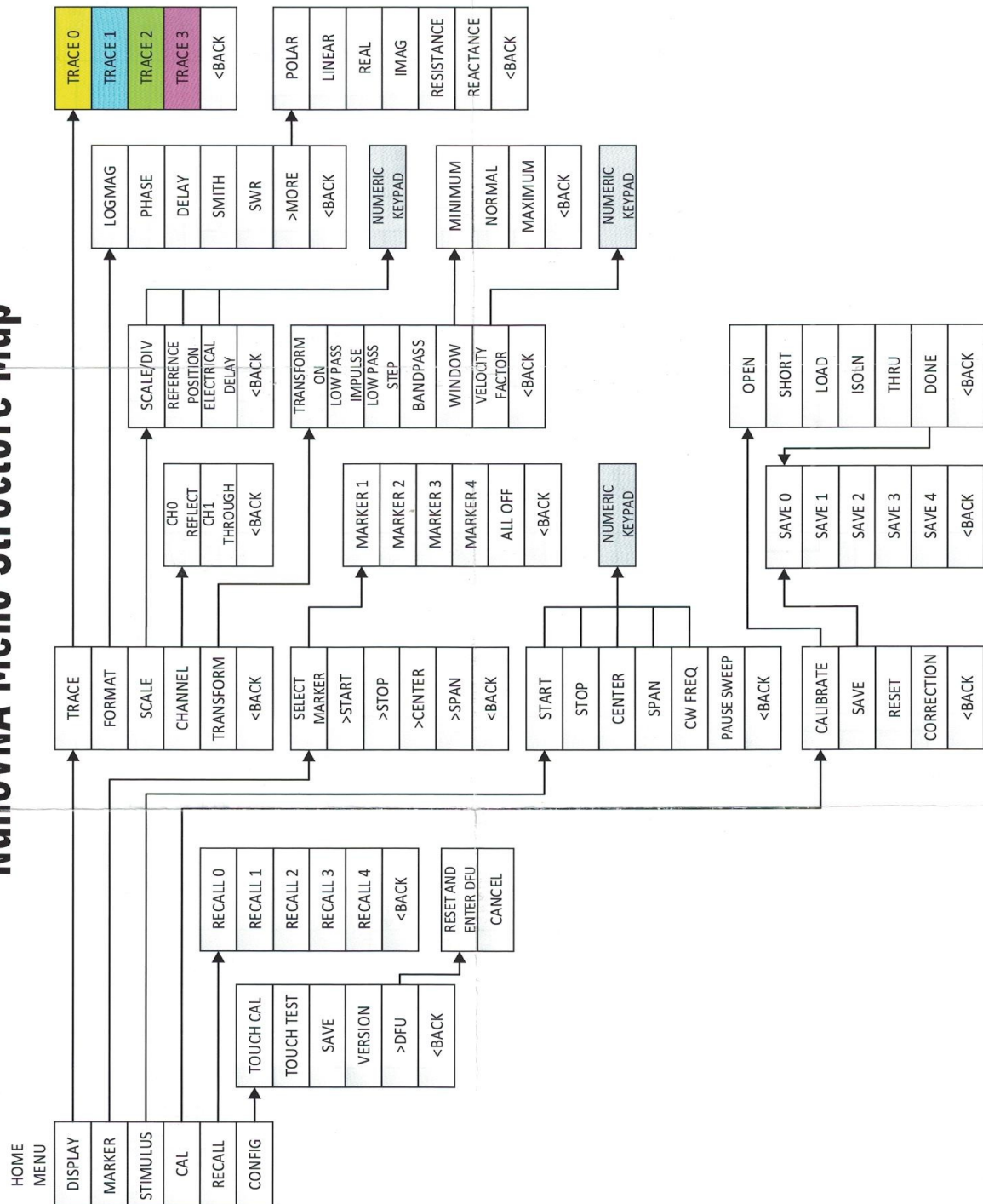
Schon besser..

C): Stand alone Betrieb

19. Die Struktur des Bediener-Menüs bei den H-Versionen

Da hat sich gegenüber der billigen Standardversion doch viel getan (Erweiterungen / Verbesserungen / Vereinfachungen...), dass das einen Blick darauf lohnt.

NanoVNA Menu Structure Map



20. Erste direkte Bekanntschaft mit dem NanoVNA-H2

Da sorgt man zuerst dafür, dass beide RF - Eingänge offen sind und startet. **Fehlt der Akkumulator, dann schließt man den NanoVNA-H2 z.B. über das mitgelieferte USB-C-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.**



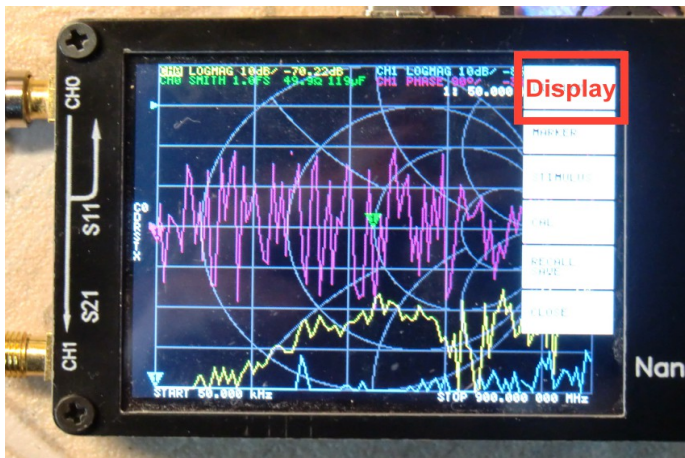
Zeigt sich nun Leben, dann schrauben wir mal den

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

Auf dem NanoVNA-Bildschirm sehen wir dann **drei Kurven in verschiedenen Farben** und ein **Smith Chart**. Am unteren Bildrand muss nun die **Startfrequenz (50 kHz) und die Stoppfrequenz (900 Mhz)** als Defaultwert zu sehen sein.

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) und man sollte am besten gleich die H4-Version mit 4,3 inch Bildschirm kaufen. Das ist wirklich eine Erleichterung!

21. Die erste erfolgreiche Messung: Eigenschaften der LOAD



Wir schrauben den LOAD - Widerstand auf den TX - Port CH0 und tippen mit dem Finger oder einem „Stimulus Pencil“ auf den rechten Bildschirmrand („**Stimulus Pencil**“ = 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 drücken wir auf **Trace 1** und **löschen so die violette Kurve**. In gleicher Weise löschen wir auch **Trace 3 als 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 **468,024 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“)** zwischen -38 und -40 dB hin- und herschwankt.

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 Ersatz-Reihenschaltung für die Eingangsimpedanz bei 468 MHz:

49,5 Ω in Reihe mit ca. 300.....350 pF

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

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

(Lösung: S11 = -37,2 dB / R = 49,7 Ω in Reihe mit ca.- 800pF)

22. Die Sweep-Möglichkeiten

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

- a) Mit „**Start**“ und „**Stop**“ legen wir die **Sweep-Grenzen** fest.
- 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**“.

22.1. 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**“ und Eingabe der gewünschten Frequenz von „**460.0M**“ über die auftauchende Tastatur. Sofort wird das umgesetzt und der normale Bildschirm erscheint wieder – aber mit dieser neuen Startfrequenz.

Schritt 3:

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

22.2. Center / Span - Betrieb bei 465 MHz und einem Span von 20 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:

„**20M**“ eingeben

Schritt 6:

Bitte durch Verschieben des Markers prüfen, ob bei **455 MHz gestartet** und bei **475 MHz gestoppt** wird.

22.3. CW – Betrieb bei 470 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

23. 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 mit dem Span von 50 kHz bis 900 MHz 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 sollte 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 Sweepbereich 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-H2 steht dort die Nummer des **aktivierten Speicherplatzes C0**, gefolgt von den vorher durch eine Kalibrierung ermittelten „Error Terms“ und das sollte so aussehen:

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

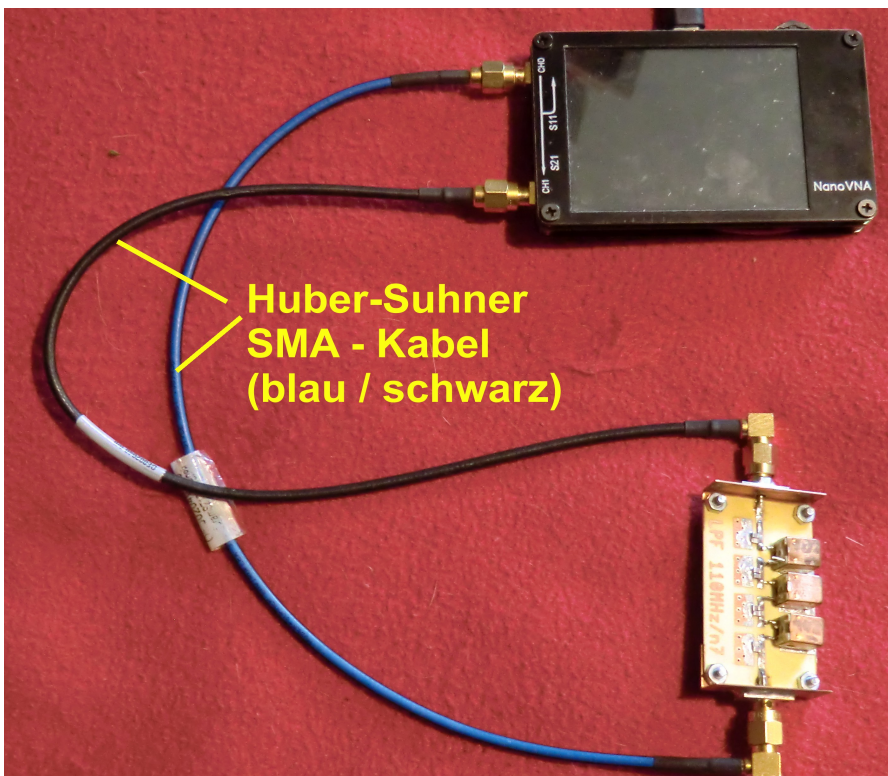
aus dem Internet enthalten. Da lohnt sich der Download!)

24. 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, Drehmoment = 0,45 Nm). 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:
Bitte auf und unter allen Tischen beim HAM - Radio-Flohmarkt genau schauen. Irgendwo liegen sie herum..

25. SOLT - Kalibrierung mit Messkabeln (50 kHz bis 1500 MHz) für Platz C0

1) NanoVNA -H2 starten und die Suhner - SMA – Kabel auf die beiden RF - Ports (CH0 und CH1) dauerhaft aufschrauben. Kontrolle mit Drehmoment-Schlüssel (0.45Nm) nicht vergessen!

2) Einen „**Start-Stopp-Betrieb**“ von **50 kHz bis 1500 MHz** programmieren (Geht über „**DISPLAY**“, dann „**STIMULUS**“. Anschließend diese beiden Frequenzen einzeln nacheinander auf der auftauchenden Tastatur eingeben.

3) Mit „**BACK**“ zurück zum Hauptmenü (= einmal über den Schirm wischen) und „**DISPLAY**“, gefolgt von „**TRACE**“, wählen.
Darin brauchen wir die **gelbe Kurve** „**TRACE 0**“ und schalten alle anderen aus. Anschließend öffnen wir „**FORMAT**“ unterhalb von „**TRACE**“ und darin „**LOGMAG**“.

3) Jetzt dasselbe Spiel für die **blaue Kurve Trace 1**:
Hauptmenü starten (= einmal über den Schirm wischen) und „**DISPLAY**“, gefolgt von „**TRACE**“ wählen.
Darin brauchen wir die **blaue Kurve** „**TRACE 1**“, suchen dann wieder „**FORMAT**“ und wählen „**LOGMAG**“.



So sollte den Bildschirm nun aussehen.

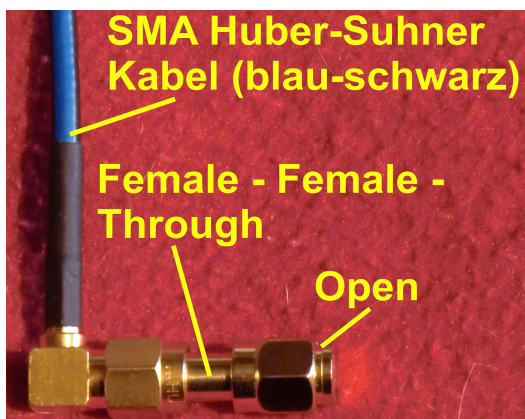
CH 0 = gelbe Kurve = S11

CH 1 = blaue Kurve = S21

(beides in dB)

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.

Da schrauben wir die im Kit enthaltene **SMA - Kupplung (Female - Female Through)** samt dem **Open-Kalibrierteil** 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 – aber es muss nicht unbedingt sein, denn es gibt nur wenig Fehler, wenn CH1 offen bleibt.

Es folgt die Kalibrierung der **ISOLATION** beider Kanäle. **Dazu bleibt zumindest CH0 mit 50 Ω abgeschlossen.**

=====

Die letzte Aktion ist **THROUGH**. Dazu werden die Abschlusswiderstände entfernt und beide Messkabel-Enden 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

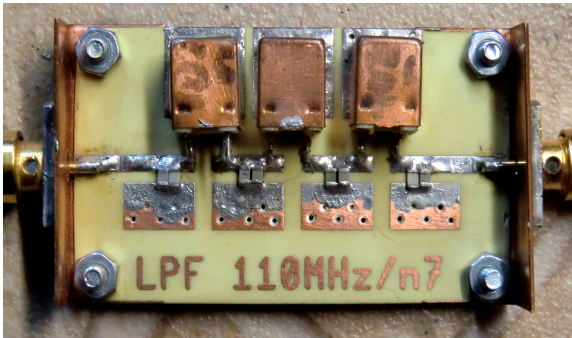
steht. Dann ist alles OK).

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



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...

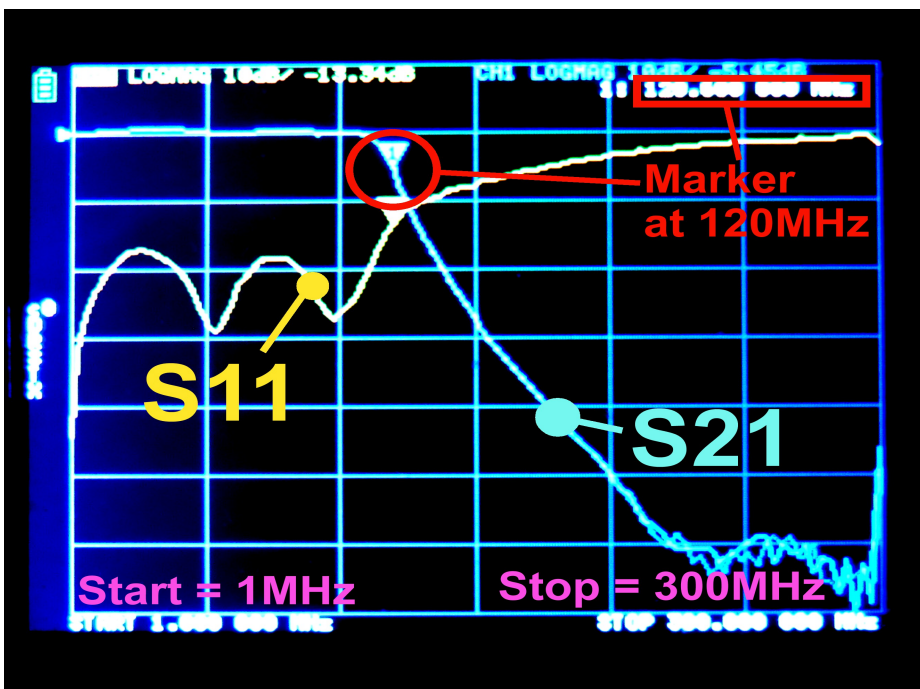
26. Beispiel: ein Tschebyscheff - Tiefpass mit $f_g = 110 \text{ MHz}$ und $N = 5$



Da wir gerade von 50 kHz bis 1500 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 reflexionsfrei auf der zentralen Microstrip - Leitung auf.

Wenn wir einschalten, sollte in **Platz C0** alles für einen Sweep von 50 kHz bis 1500 MHz vorbereitet sein und der NanoVNA -H2 mit der Messung loslegen. **Bitte nur Trace 1 (gelb, für S11) und Trace 2 (blau, für S21) freigeben.**

Der Span ist aber etwas groß und wir stellen auf einen **Start bei 1 MHz sowie einen Stopp bei 300 MHz um**



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

Alle Daten werden am oberen Bildrand eingeblendet.

Hinweis:

Wir haben bei einer Kalibrierung bis 1500 MHz wegen der auf 101 Punkte beschränkten Messungen nur alle 15 MHz einen Kalibrierpunkt zur Verfügung.

Möchte man also noch genauer (z. B. innerhalb des Passbandes, also unter 100 MHz) messen, dann sollte man unbedingt eine weitere Kalibrierung für einen eingegengten Frequenzbereich (z. B. **nur bis 200 MHz**) vornehmen und sie in einem der übrigen Speicherplätze – z. B. in C1 – ablegen. Dann steht sie auch bei anderen Projekten in diesem Frequenzbereich zur Verfügung und kann über RECALL aufgerufen werden.

27. Low Pass Impulse Response / Low Pass Step Response

(Dieses Thema ist recht komplex und wer sich gründlich in verständlicher Form einarbeiten oder schlauer machen möchte, der hole sich die **Anritsu Application Note**

Time Domain Measurements using Vector Network Analyzers

aus dem Internet. Noch ausführlicher ist die **VNWA3-Hilfe von Tom Baier** mit dem Kapitel „**Time Domain Measurements**“).

Mit der **Low Pass Impulse Response** und ihren Grundlagen sowie dem Arbeiten unter der Software „NanoVNA-saver“ haben wir uns im **Kapitel 18** ausführlich beschäftigt (Siehe auch die theoretischen Grundlagen in Kapitel 18.1 und 18.2). Das Tollste daran ist die Bedienung und Ergebnis-Darstellung auf dem schönen großen PC-Bildschirm. **Aber die Low Pass Step - Funktion fehlt dort.**

Beim **NanoVNA-H2** sind beide Optionen bereits in der Firmware enthalten und können über das Bedienermenü aufgerufen werden. Das Problem der winzigen Darstellung auf 2,8“ kann man durch den Kauf der **H4-Version mit 4“ Bildschirm** entschärfen.

Sehen wir nun ganz praktisch den Unterschied zwischen beiden Methoden an:

Speist man den Eingang des Messobjektes mit einem **Impuls**, dann kann man **Echos durch Störstellen (z. B. einen Leerlauf oder Kurzschluss) als Maximum erkennen. Den Ort ihrer Entstehung bzw. die Entfernung in Metern vom Kabelanfang ermittelt man durch Verschieben des Cursors.**

Speist man den Eingang des Kabels mit einem **Step**, dann kann man sich beim Echoverlauf auf dem Bildschirm **an jedem Punkt der Kurve die exakte Impedanz anzeigen lassen.** Das Verschieben des Messpunktes entlang des Kabels erfolgt wieder mit dem **Cursor**.

27.1. Bedienungsablauf und Test beim NanoVNA-H2 (Low Pass Impulse Response)

Schritt 1:

Wir starten den NanoVNA-H2 im „Standalone-Betrieb“ und prüfen, ob unser **blau-schwarzes Huber Suhner -Kabel an Port CH0 aufgeschraubt** und der SMA-Stecker mit dem vorschriftsmäßigen Drehmoment angezogen ist.

Schritt 2:

Wir öffnen das Startmenü (...das beginnt mit „**DISPLAY**“), und wählen die **Grundkalibrierung „C0“ mit dem Bereich von 50 kHz bis 1500 MHz aus dem vorigen Kapitel.**

Schritt 3:

Bitte nun prüfen

a) Ist der **Sweep-Bereich korrekt auf 50 kHz bis 1500 MHz** eingestellt?

b) Steht am linken Bildrand senkrecht untereinander die Buchstabenfolge

C0 D R S T X

für eine auf Platz **C0** abgespeicherte SOLT-Kalibrierung für 50 kHz bis 1500 MHz?

Achtung:

Die Referenz-Ebene bei dieser Kalibrierung war genau die Mitte des SMA-Steckers am offenen Ende des Huber Suhner Kabels!

Schritt 4:

Wir tippen auf den Bildschirm und rufen dadurch das Startmenü auf. Unter „**DISPLAY**“ wählen wir „**TRACE**“.

Wir brauchen nur Trace 1 (gelbe Kurve) und das grüne Smith -Chart (Trace 3). Die beiden Anderen werden gelöscht. Dann gehen wir mit „**BACK**“ wieder eine Stufe zurück.

Schritt 5:

Nun schrauben wir auf das Ende des Suhner Messkabels erst den Female Female Through Adapter und dann ein 30 cm langes Teflon-Messkabel auf.

Schritt 6:

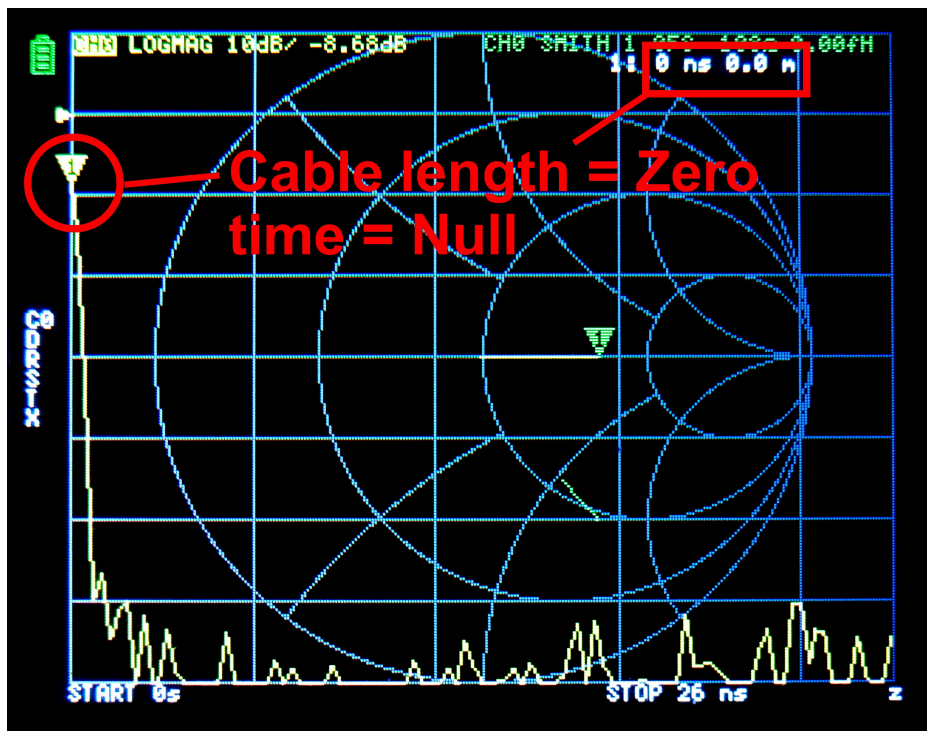
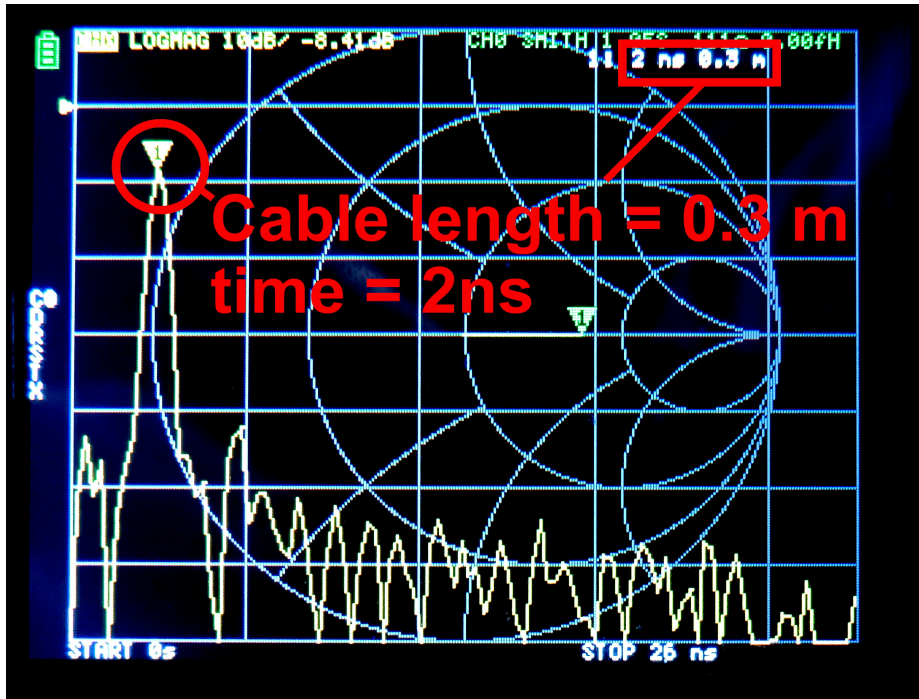
In der Menü-Liste (die jetzt mit „**TRACE**“ beginnen muss) tippen wir erst auf „**TRANSFORM**“, gefolgt von „**LOW PASS IMPULSE**“. Dann wiederholen wir die „**TRANSFORM**“-Eingabe, rufen aber jetzt „**TRANSFORMATION ON**“ (= oberstes Feld.) auf.

Was nun zu sehen ist, gilt zunächst für Luft als Dielektrikum. Deshalb gibt es ganz unten im Menü das Feld „**VELOCITY FACTOR**“. Nach dem Öffnen sehen wir eine Tastatur und damit geben wir den

Verkürzungsfaktor als „70“ und „x1“ (= 70%) für Teflon ein.

Wenn wir nun den Cursor genau auf die **Spitze des Impulses** fahren, können wir die Impuls-Laufzeit (= 2 Nanosekunden) und damit die **mechanische Länge des angeschlossenen Huber Suhner -Messkabels mit 0,3 Metern** auf eine Stelle nach dem Komma ablesen.

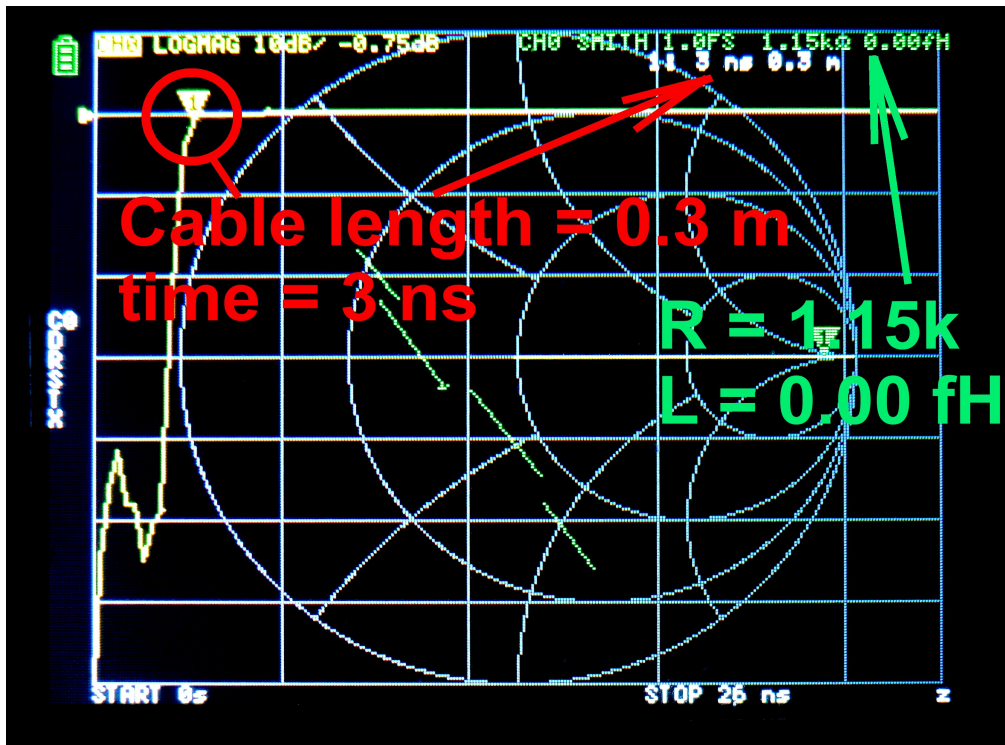
Der Messbereich beträgt nun **26 ns**, das entspricht einer messbaren Kabellänge von **2,7 m**



Interessant ist es, jetzt mal **das Testkabel samt Adapter abzuschrauben** und nur allein zu prüfen, ob die **Referenzebene** wirklich durch das offene Ende des Huber Suhner - Messkabels an Port CH0 verläuft:

Sie tut es....

27.2. Bedienungsablauf und Test beim NanoVNA-H2 (Low Pass Step Response)

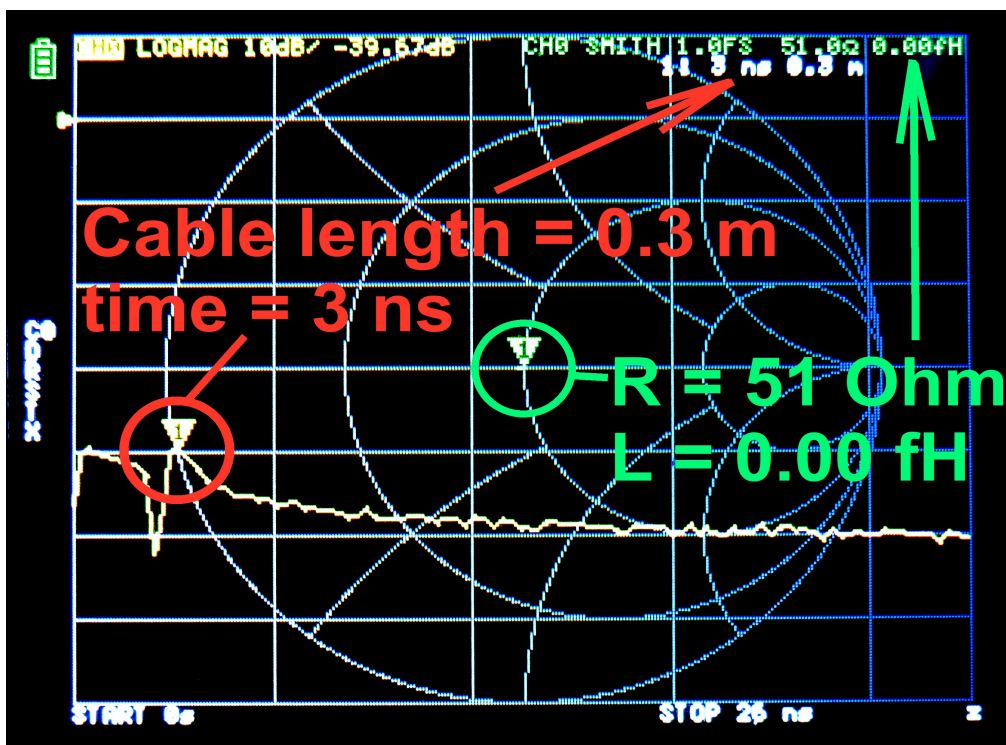


Wer nun nochmals das Testkabel samt Adapter auf das Suhner - Kabel aufschraubt, sollte im TRACE-Menü „TRANSFORM“ drücken.

Dann kann er mal mit dem „**LOW PASS STEP**“ arbeiten.

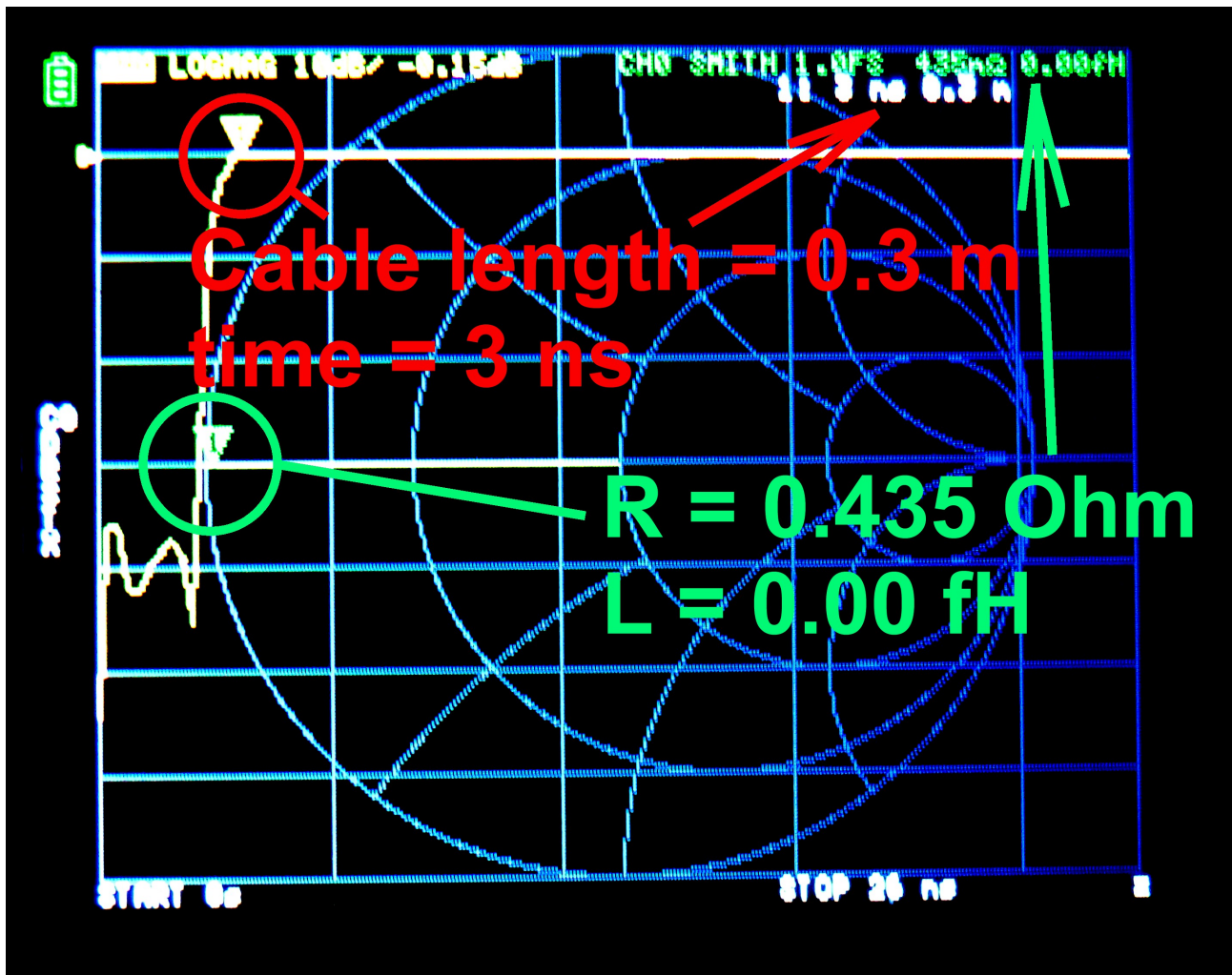
Da sehen wir nun ein Bild, wie es ein anständiges Time Domain Reflektometer liefert!

Nach 3 Nanosekunden bzw. 30 cm Kabellänge springt die Kurve hoch auf den Leerlauf am Kabelende und für das Smith Chart wird eine Impedanz von ca. 1,15 k Ω in grüner Schrift am oberen Bildrand eingeblendet (und kein induktiver Anteil...).



So sieht das bei der „**Low Pass Step Response**“ dann mit einem 50 Ω -Abschluss.....

...und so mit einem **Kurzschluss** am Testkabel-Ende aus.



435 Milli-Ohm....das ist wirklich ein Kurzschluss.....

28. 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-C-Verbindung und der kostenlosen Software „Nano-saver“** 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-v0.2.2-1“ umsteigen und / oder gleich die Geräteversion „H4“ mit 4,3“ - Bildschirm kaufen (Jetzt bereits unter 70 Euro)**

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)

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

Menüführung auf dem Touchscreen-Display des NanoVNA-H2 - Boards im Vergleich zur PC-Bedienung noch leicht gewöhnungsbedürftig, aber gegenüber der billigen Standardversion **sehr stark verbessert**.

Der **Multi-Funktionsschalter MFS** ist ein etwas klappriges Gebilde und verlangt einen behutsamen Zugriff (...damit nichts bricht...).

SOLT - Kalibrierdaten werden beim Kauf nicht mitgeliefert. **Sie stehen jetzt aber für den**

PC-Betrieb mit der NanoVNA – saver - Software

(dank Kurt Poulsen) zur Verfügung. Danke!