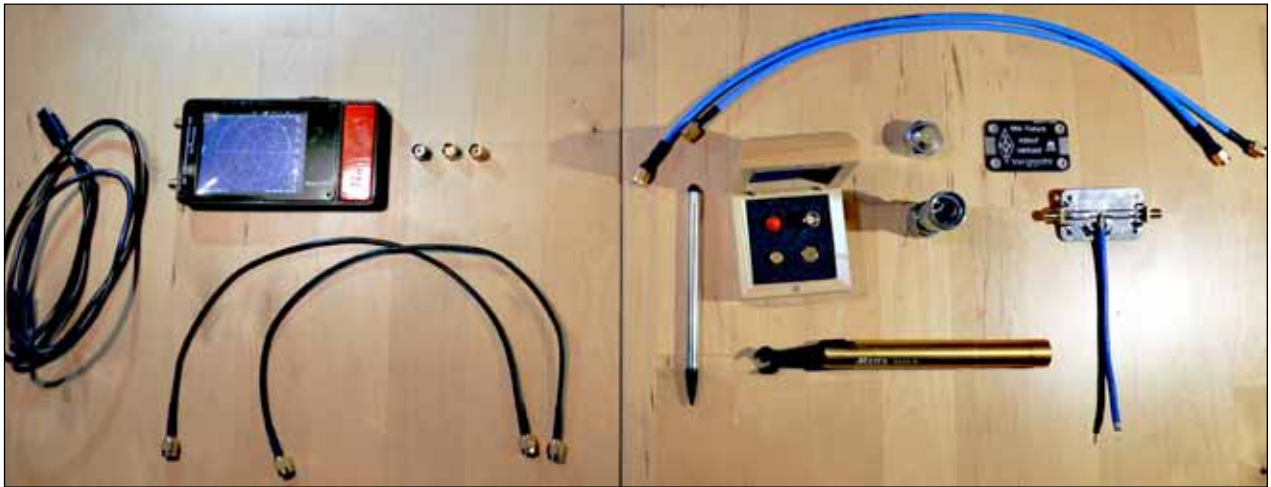


NanoVNA - Hot oder Schrott?

Mathias Weyland HB9FRV, Leiter Betrieb HB9UF (hb9frv@hb9uf.ch) und
Hansjörg Baur HB9DWS, Vorstandsmitarbeiter HB9UF (hb9dws@hb9uf.ch)



L: Lieferumfang (nicht abgebildet: SMA-Doppelweibchen und Plastikbox): Gehäuse mit roter Klappe sep. mit 3D-Drucker gefertigt
R: Zusätzlich: Plastikstift, Messkabel, weitere Kalibrierung-Standards, Drehmomentschlüssel, offene Leitung mit und ohne Koax-Stub

Einleitung

Wie jedes Jahr war die „UHF-Gruppe der USKA“ auch diesmal an der „Surplus Party“ in Zofingen vertreten, um den Kontakt mit Vereinsmitgliedern und anderen Benutzern unserer Anlagen zu pflegen. Wie üblich hielten wir an unserem Stand eine kleine Demonstration für interessierte Besucher bereit. Dieses Jahr ging es um den „NanoVNA“, einen Vektor-Netzwerkanalysator (VNA), welcher Frequenzen bis 900 MHz abdecken soll und auf chinesischen E-Shopping-Webseiten für weniger als 50 Franken bestellt werden kann. Weil die üblichen Preise für Geräte dieses Funktionsumfangs im hohen dreistelligen Bereich und darüber liegen, stellt sich unmittelbar die Frage nach der Qualität und Benutzbarkeit des „NanoVNA“. Der vorliegende Artikel nimmt sich dieser Fragestellung an, indem im Amateurfunk typische Messungen mit dem „NanoVNA“ untersucht werden. In Zofingen haben wir bemerkt, dass viele Funkamateure offenbar gar nicht recht wissen, wozu diese Geräte genutzt werden können. Das ist sehr schade, denn ohne Wissen um die gängigen Praktiken und Messmethoden sind wir gar nicht in der Lage, uns vertieft den technischen Aspekten unseres Hobbys zu widmen und verfallen zu reinen Anwendern – dem möchten wir mit unseren Artikeln ein wenig Gegensteuer geben und mit wachsendem Wissen helfen, den Amateurfunk in der breiteren Öffentlichkeit wieder als technisch motiviertes Hobby zu platzieren. Deshalb beginnt unser Artikel mit einer Erklärung, was es mit einem „VNA“ auf sich hat.

Grundlagen

Netzwerkanalysatoren sind Geräte, mit denen Transmissions- und Reflexionseigenschaften von Hochfrequenznetzwerken frequenzabhängig ermittelt werden können. Sie dienen dem Ausmessen von Antennen, Filtern, Transformatoren, Baluns, Matching-Netzwerken, Splittern, Verstärkern, Stubs und vielem mehr. Ein vollwertiger Netzwerkanalysator hat zwei Anschlüsse (sog. Ports), ① und ②. Das Gerät kann sowohl an Port ① als auch an Port ②

ein Prüfsignal (einen sog. Stimulus) generieren. Bei aktiviertem Stimulus wird gemessen, wie viel des Signals reflektiert wird (also in den aussendenden Port zurück gelangt) und wie viel davon das zu testende Netzwerk durchwandert und zum jeweils anderen Port gelangt (Transmission). Bei einem Stimulus aus Port ① wird die **Reflexionsmessung** zurück zum Port ① „ S_{11} “ und die **Transmissionsmessung** durch das zu testende Netzwerk zum Port ② „ S_{21} “ genannt (die tiefergestellten Ziffern beziehen sich entsprechend auf die involvierten Ports). Bei einem Stimulus aus Port ② ergeben sich dementsprechend die Reflexionsmessung „ S_{22} “ sowie die Transmissionsmessung „ S_{12} “. Viele Geräte implementieren vielfach nur einen Teil dieser Messungen. Manchmal kommt der Stimulus nur aus einem der beiden Ports und man muss den Prüfling von Hand umdrehen; oder es sind nur Reflexionsmessungen möglich, letzteres z.B. bei einem Antennen-Analyzer. So oder so wird entweder nur die Amplitude (skalar) oder die Amplitude und Phase (Vektor) gemessen. Zur Korrektur von Messabweichungen in Testkabeln und dem Gerät (Frequenzabhängigkeit von Stimulus und Detektor) muss vor jeder Messung eine Kalibrierung durchgeführt werden. Dafür wird ein Kalibrierungs-Standard benötigt.

Es gibt diverse Geräte in verschiedenen Preisklassen und Frequenzbereichen. Ein Antennen-Analyzer (z.B. der MFJ-259, die AA-Reihe von RigExpert, der Funkamateure FA-VA5 usw.) führt lediglich eine reine **Reflexionsmessung** durch. Diese kann entweder skalar oder vektorieLL sein. Im ersten Fall gibt das Gerät eine Messung nur als „Return Loss“ (Rückflussdämpfung) oder dem im Amateurfunk oft missverstandenen SWR (Stehwellenverhältnis, welches aber eben auch ohne stehende Welle sehr hoch sein kann) an. In letzterem Fall kann die Impedanz der Antenne nicht bloss skalar berechnet, sondern in Wirk- und Blindwiderstand angegeben werden. Hierbei ist eine korrekte Kalibrierung besonders wichtig. Das Vorzeichen des Blindwiderstandes gibt dann an, ob die Antenne ka-

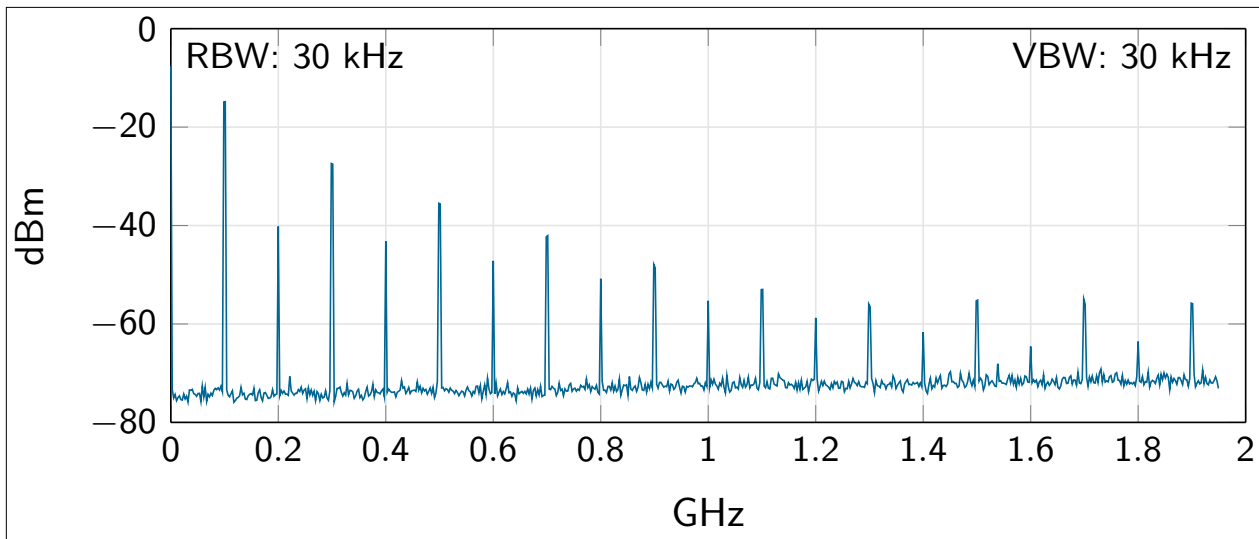


Abb. 1: Spektrum eines Stimulus von 100 MHz, Messung mit einem Siglent SSA 3021X.

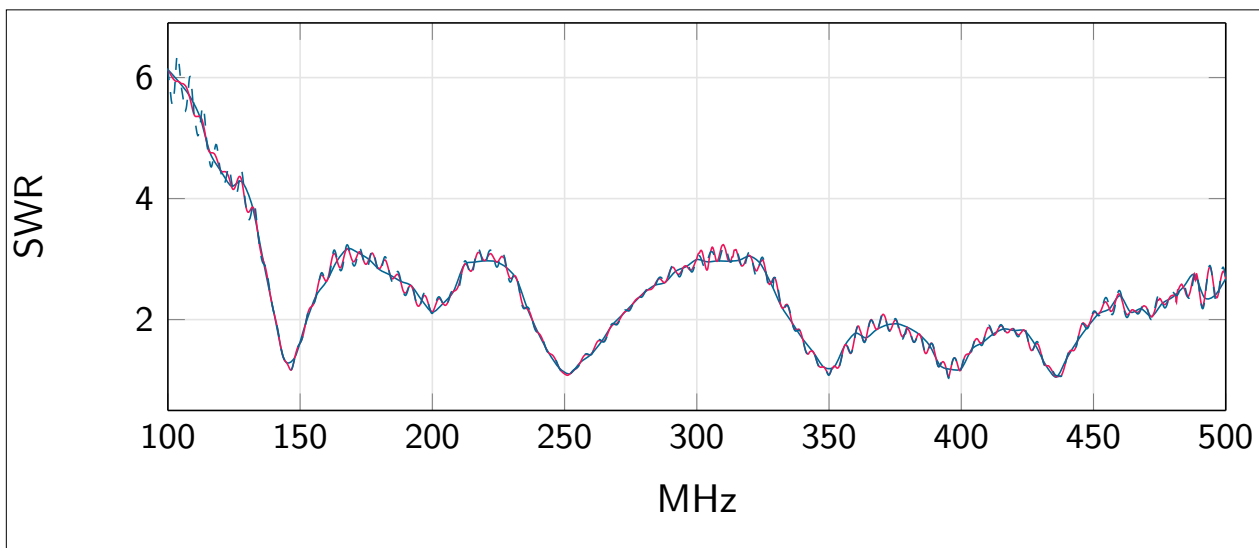


Abb. 2: Reflexionsmessung eines Antennensystems. Blau = direkte Messung mit dem "NanoVNA". Rot = Messung mit "NanoVNA" und nanovna-saver. Gestrichelt = Referenzmessung.

pazitiv (negativ) oder induktiv (positiv) ist. Komplexere Geräte zeigen die Messung graphisch als SWR-Plot, als „Return Loss“- oder im Smith-Diagramm an. Damit ist z.B. der Resonanzpunkt einer Antenne etwas einfacher zu finden. Reflexionsmessungen können aber nicht nur an Antennen, sondern an beliebigen Prüflingen durchgeführt werden (z.B. Eingangsimpedanz eines Verstärkers oder Duplexers, die Induktivität einer Spule usw.).

Eine **Transmissionsmessung** hingegen ist nützlich, wenn man beispielsweise die Durchlasskurve eines Filters oder die Isolation eines Kopplers bestimmen möchte. Im skalaren Fall wird der Amplitudengang, im vektoriellen Fall zusätzlich auch der Phasengang gemessen. Man kann damit messen, welche Frequenzen wie stark verstärkt oder gedämpft werden und ob (oder wie) sich die Phase dabei verhält.

Mit einem Spectrum-Analyzer mit Tracking-Generator (Mitlaufgenerator) ist eine einfache skalare Transmissionsmessung möglich, für eine Reflexionsmessung ist ausserdem ein Richtkoppler oder eine „Return-Loss-Bridge“ notwendig (beides Geräte, die an Amateurfunk-Messen oft günstig zu beschaffen bzw. einfach selbst zu bauen sind).

Der „NanoVNA“

Mit dem „NanoVNA“ können Reflexions- und Transmissionsmessungen bis 900 MHz durchgeführt werden. Die Firmware ist auf „github“ verfügbar [1].

Drei SA612-Mischer erzeugen eine Zwischenfrequenz von 5 kHz der Signale für Referenz, Reflexion und Transmission. Ein TLV320AIC3204-CODEC von TI tastet diese Signale ab und sendet sie an einen STM32-ARM-Cortex-Mikrocontroller. Dieser Aufbau erinnert an den beliebten VNA von DG8SAQ [2], allerdings mit gewissen Unterschieden. So wird der Stimulus und die Lokaloszillatoren (LOs) von einem Si5351 von Silabs erzeugt. Die Folge davon ist, dass der Stimulus ein Rechteck-Signal ist (Abb. 1). Weil das Gerät mit Mixern anstelle von Breitband-Detektoren arbeitet, funktioniert dieses Vorgehen - es sind allerdings gewisse Situationen denkbar, in denen Oberwellen die Messung beeinflussen. Weil der Si5351 nur Signale bis 200 MHz erzeugen kann, werden aber genau diese Oberwellen für höhere Frequenzen zunutze gemacht.

Über ein mitgeliefertes USB-C-Kabel kann der integrierte LiPo-Akku (3.7 V, 450 mAh) geladen, das Gerät gesteuert und Messresultate heruntergeladen werden. Mit dem

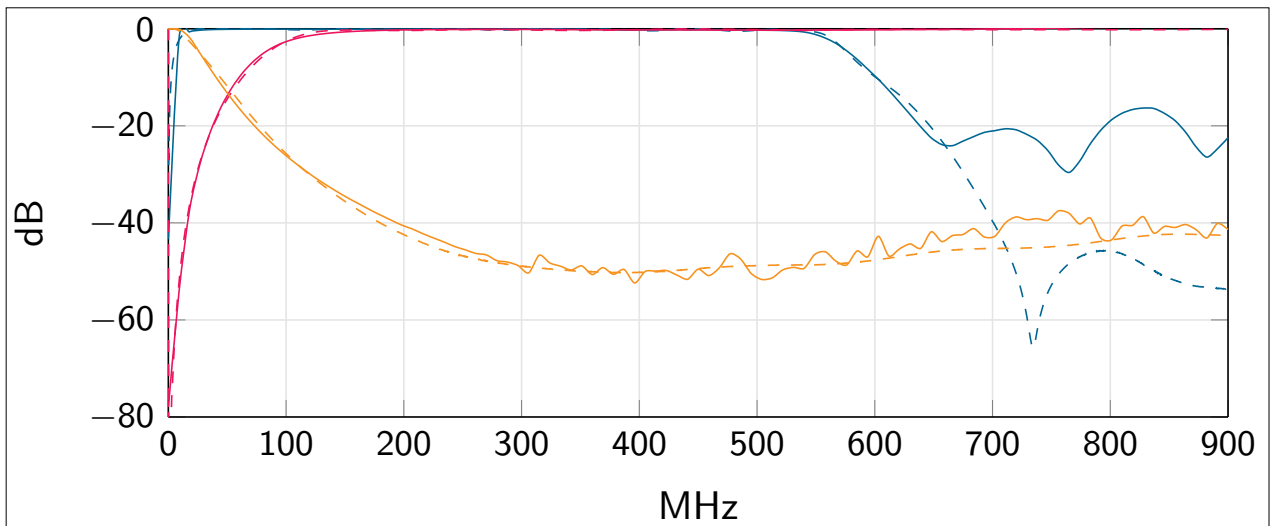


Abb. 3: Transmissionsmessungen von 3 Filtern (blau, rot, orange); die Referenzmessung ist gestrichelt angegeben.

Touch-Screen und einem Plastikstift (leider nicht im Lieferumfang enthalten) lässt sich der „NanoVNA“ auch ohne Computer bedienen.

Unser Exemplar wurde am 31. Juli mangels helvetischer Bezugsmöglichkeit auf „aliexpress“ bestellt und am 4. September geliefert. Das Paket enthielt in einer Plastikbox neben dem VNA das oben erwähnte USB Kabel, zwei (nicht sehr zuverlässig wirkende) SMA-Kabel sowie einen SMA-Kalibrierungs-Standard. Diese Bestandteile sind im Titelbild auf der linken Seite zu sehen. Weil das Preis-/Leistungsverhältnis dieses Angebotes tatsächlich unschlagbar erscheint, wurde über den „NanoVNA“ bereits verschiedentlich publiziert. Wir halten uns deshalb mit einer genauen Beschreibung des Gerätes zurück und setzen stattdessen Schwerpunkte auf eine Demonstration der Möglichkeiten, welche der „NanoVNA“ dem Funkamateurer eröffnet, sowie Vergleichen zu Referenzmessungen mit einem professionellen, viel teureren Gerät von Rohde & Schwarz.

Messobjekt: Antenne

Gemessen wurde eine Diamond X-5000 Triband-Antenne für 2 m, 70 cm sowie (ausserhalb des Messbereiches des

„NanoVNA“) 23 cm. Die Resultate sind in **Abb. 2** (S. 45) dargestellt. Alle Messungen wurden am Shack-Ende der Speiseleitung durchgeführt, was nicht unbedingt empfehlenswert ist, wenn man nur die Antenne ausmessen möchte. Die ausgezogene, blaue Linie ist die Messung mit dem „NanoVNA“, die gestrichelte Linie die Referenzmessung. Die Resultate sind sehr ähnlich, wenn auch die Referenzmessung „welliger“ erscheint (eine Folge leitungstheoretischer Effekte). Weil der „NanoVNA“ nur 101 Punkte aufnehmen kann, sind diese in der Auswertung nicht erkennbar. Die rote Linie wurde ebenfalls mit dem „NanoVNA“ aufgenommen, allerdings mit der Zusatz-Software „nanovna-saver“. Wie im Fazit erklärt, umgeht diese Software dieses Limitierungs-Problem elegant und die Messung ist deckungsgleich mit derjenigen des Referenzgerätes.

Messobjekt: Filter

Gemessen wurden drei selbst gebaute Filter: zwei Tiefpassfilter zur Unterdrückung von Oberwellen sowie ein Hochpassfilter zur Unterdrückung unerwünschter Kurzwellen-Signale. **Abb. 3** (oben) zeigt die entsprechenden Transmissionsmessungen. Daraus wird klar ersichtlich, dass der „NanoVNA“ bis ca. 600 MHz ordentlich zu gebrauchen ist. Oberhalb von 600 MHz kommt die dritte Harmo-

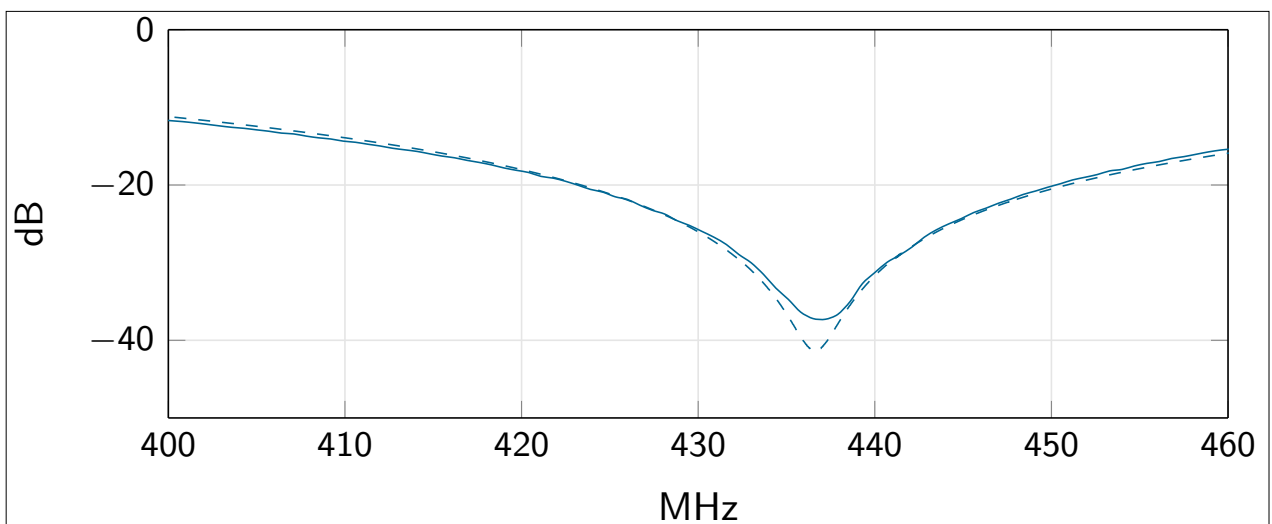


Abb. 4: Transmissionsmessung einer $\lambda/4$ -Leitung; auch hier ist die Messung mit dem „NanoVNA“ vergleichbar mit der Referenzmessung (gestrichelt).

nische des rechteckigen Stimulus zur Anwendung und die Resultate weichen stark von der Referenzmessung ab. Folglich ist der „NanoVNA“ für die Bestimmung der Filterkurve des zweiten Filters eher ungeeignet. Bei dieser Gelegenheit kann auch direkt die Eingangsimpedanz mit einer Reflexionsmessung geprüft werden.

Messobjekt: Koaxialkabel

Für den Bau einer 70-cm-Endstufe war ein Stück Koaxialkabel der Länge $\lambda/4$ (Anwendung: Balun) notwendig. Bei derart kurzen Wellenlängen lohnt es sich, die richtige Länge messtechnisch zu eruieren. Zu diesem Zweck wurde das überlange Koaxialkabel auf einer offenen 50 Ω -Leitung (Testaufbau im Titelbild) angebracht und eine Transmissionsmessung durchgeführt (Abb. 4). Das Kabel wird dann zum Viertelwellentransformator, der offene Anschluss wird zu einem Kurzschluss transformiert und wirkt als Stub-Filter. So kann die Länge sehr genau eingestellt werden, sofern darauf geachtet wird, dass das Kabel noch abisoliert wird und der Innenleiter vom Mantel getrennt werden muss.

Messobjekt: 50- Ω -Abschluss

Ein an der Surplus Party Zofingen erworbener 50- Ω -Abschluss unbekanntes Ursprungs soll auf seine Tauglichkeit hin geprüft werden. Hierfür wird eine Reflexionsmessung durchgeführt. Aus Abb. 5 ist zu entnehmen, dass sich dieser Abschluss für eine Anwendung im UHF-Bereich nicht eignet.

Kalibrierungs-Standard

Wie eingangs erwähnt, muss ein VNA vor der Messung kalibriert werden. Bei der Transmissionsmessung wird

der Prüfling dabei im einfachsten Fall durch ein Verbindungsstück ersetzt. Man sagt dem VNA damit quasi „Das siehst du, wenn der Prüfling den gesamten Stimulus passieren lässt“. Damit können z.B. Kabelverluste und die Phasenverzögerungen der Messkabel ausgelöscht werden. Die Kalibrierung für die Reflexionsmessung erfolgt mit einem Kurzschluss („short“), einer offenen Verbindung („open“) und einem 50- Ω -Abschluss („load“). Auch hier werden Verluste und leitungstheoretische Effekte (allfällige Verbindungskabel zum Prüfling transformieren dessen komplexe Impedanz) ausgelöscht. Mehr Informationen zu diesem Thema gibt es z.B. in [3].

Jede Messung mit einem VNA ist natürlich nur so gut wie der vorher eingesetzte Kalibrierungs-Standard - hätte das oben erwähnte Verbindungsstück eine Dämpfung von 1 dB, so würde sich dieser Fehler in die eigentliche Messung fortpflanzen. Entsprechend sind Standards für hohe Frequenzen sehr teuer. Der „NanoVNA“ wird mit einem Kalibrierungs-Standard geliefert, der die vier oben genannten Bestandteile beinhaltet. Das Verbindungsstück ist ein SMA-Doppelweibchen, die restlichen Teile sind SMA-Männchen. Letzteres ist aus unserer Sicht eine etwas unglückliche Wahl, denn zumindest wir nutzen SMA-Weibchen viel häufiger - z.B. zur Kalibrierung am Ende einer Speiseleitung oder eines Messkabels. Das gelieferte Verbindungsstück ist qualitativ nicht sonderlich gut [4], ein Ersatz ist jedoch einfach aufzutreiben. Die übrigen Teile sind für den angestrebten Bereich genügend, denn für genauere Messungen ist ohnehin weiteres Zubehör (bessere Messkabel, Drehmomentschlüssel usw.) nötig. Ab ca. 1 GHz (also oberhalb des Messbereiches des „NanoVNA“) weicht der Abschluss dann deutlich von 50 Ω ab. Ein Grund dafür ist wohl, dass im Abschluss nur ein 50- Ω -SMD-Widerstand anstelle von zwei parallelen 100- Ω -Widerständen verbaut ist. So hat es jedenfalls Larry WOQE bei seinem Standard festgestellt. Weil wir neugierig waren, ob dies auch für unseren Standard der Fall ist, gleichzeitig ebendiesem aber nicht beschädigen wollten, haben wir den Abschluss geröntgt und siehe da, auch bei uns ist nur ein Widerstand zu sehen (Abb. 6). Ein selbst-

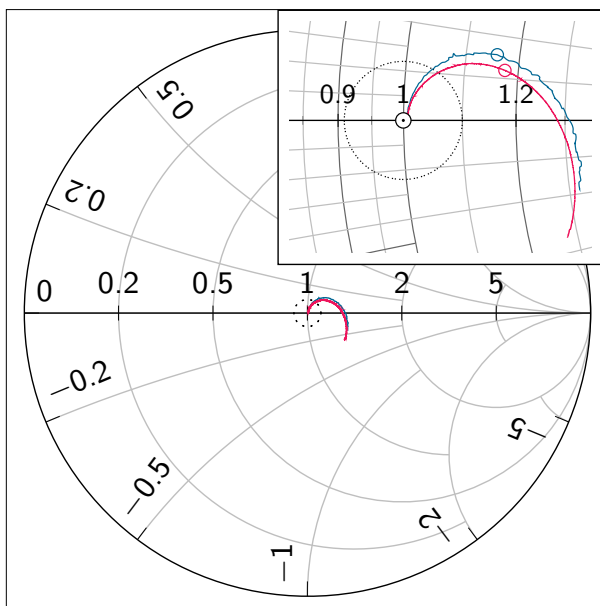


Abb. 5: Smith-Diagramm eines unbekanntes Abschlusses. Die Mitte des Diagramms stellt 50 Ω dar; dieser Ausschnitt ist oben rechts vergrößert abgedruckt. Bei tiefen Frequenzen weist der Abschluss tatsächlich eine Impedanz von ca. 50 Ω auf. Bei höheren Frequenzen wird der Abschluss aber zunächst induktiv, dann kapazitiv. Die Impedanzen innerhalb des gepunkteten Kreises erzeugen ein SWR von weniger als 1.1. Bei 450 MHz (Kringel) hat der Abschluss dieses SWR bereits überschritten und eignet sich deshalb nicht für präzise Messungen auf dieser Frequenz. Blau: „NanoVNA“; rot: Referenz.

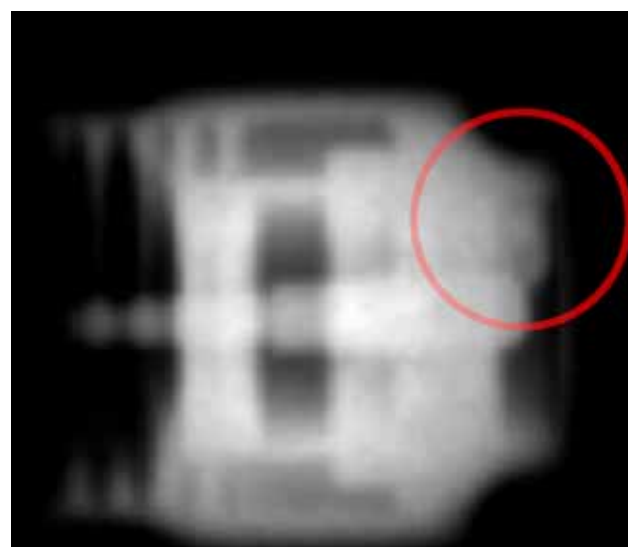


Abb. 6: Röntgenbild des SMA-Abschlusswiderstandes. Der eigentliche Widerstand ist rot eingekreist.

gebauter SMA-Standard ist (falls sorgfältig gemacht) qualitativ besser als derjenige des „NanoVNA“ und lässt sich ohne weiteres bis ca. 3 GHz nutzen. Man nimmt dazu SMA-Stecker und -Buchsen für die Print-Montage, schleift die Beinchen für die Printmontage ab und lötet die nötigen SMD-Komponenten ans nun flache Ende. Der Kalibrierungs-Standard ist deshalb aus unserer Sicht nicht der stärkste Bestandteil des „NanoVNA“-Pakets, die Mängel fallen aber nur gering ins Gewicht und lassen sich mit wenig Eigeninitiative und Geld leicht beheben.

Mängel und Fazit

Vorweggenommen sei, dass der „NanoVNA“ ein fantastisches Gerät für den Funkamateurliebhaber ist. Die negativen Aspekte sind, dass der Bildschirm doch sehr klein und für den regelmässigen Heimgebrauch deshalb nicht ganz leicht abzulesen ist. Ausserdem ist der Analyzer auf Frequenzen ab 600 MHz an aufwärts nur bedingt zu gebrauchen, aber wir meinen, dass man sich bei diesem Preis darüber nicht beschweren sollte. Der verwendete Mikrocontroller hat nur einen Speicher für 101 Messpunkte. Je nach Messung ist dies völlig genügend - oder aber viel zu wenig. Wie bereits erwähnt, schafft eine Software namens „nanovna-saver“ von Rune Broberg (5Q5R) Abhilfe [5], denn damit kann man am PC den Messbereich in kleine Abschnitte aufteilen. Die Software setzt diese Abschnitte nach erfolgten Messungen wieder zusammen und umgeht damit das Problem der geringen Speicherkapazität von 101 Punkten. Ausserdem erlaubt sie eine „Distance To Fault“-Messung („DTF“, man kann damit die Stellen von Impedanzsprüngen und Brüchen in Koaxialkabeln genau orten)

und die VNA-Messungen lassen sich damit auch für den späteren Gebrauch abspeichern. Auch diese Software ist Open-Source und Rune würde sich über ein Feedback und Verbesserungsvorschläge sehr freuen.

Workshop

Zum Schluss noch etwas Werbung in eigener Sache: Unser Verein plant einen Workshop zum Umgang mit dem „NanoVNA“. Ziel ist es, die Handhabung des Gerätes für die vorgängig beschriebenen Messungen sowie die dazu nötige Theorie (Smith-Diagramme, richtige Kalibrierung, häufig gemachte Fehler etc.) zu lernen. Mehr Informationen dazu gibt es auf <http://www.hb9uf.ch>

Links:

- [1] <https://github.com/ttrftech/NanoVNA>
- [2] Baier, Thomas C. „A Small, Simple, USB-Powered Vector Network Analyzer Covering 1 kHz to 1.3 GHz.“ *QEX* 15 (2009): 32-36.
- [3] Hiebel, Michael. „Fundamentals of Vector Network Analysis, Rohde & Schwarz GmbH & Co.“ (2005). <https://www.rohde-schwarz-usa.com/rs/rohdeschwarz/images/Vector-Network-Analyzer-Fundamentals-Primer.pdf>
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=fSzY5q-QTpw&t=852s>
- [5] <https://github.com/mihtjel/nanovna-saver> ■

VARA und PACTOR 4 - Richtigstellung

Im HBradio 1/2019 (S. 37) wurde ein Vergleich verschiedener ARQ-Betriebsarten veröffentlicht. Wie uns der Autor des Artikels mitteilt, führte ein Fehler in der damaligen Testanordnung zu einer falschen Bestimmung des PACTOR 4 - Durchsatzes. Neue Messungen ergaben wesentlich bessere Resultate für PACTOR 4, und zwar mit einem Geschwindigkeits-Vorteil von 20 % bis 30 % gegenüber VARA.