

Ham-VNA-Stick 2.0

Bedienanleitung

Einführung und Installation

Ham-VNA-Stick ist ein speziell für Funkamateure entwickeltes Programm zur Schaltungssimulation im Frequenzbereich. Es zeichnet sich durch besonders einfache Bedienung und durch realitätsnahe Ergebnisse aus.

Man kann den *Ham-VNA-Stick* zum Beispiel vorteilhaft zum Testen von Antennenanpassungen oder Bandfiltern verwenden, bevor man seine Schaltungen praktisch aufbaut. Besondere theoretische Vorkenntnisse, die über das durchschnittliche Allgemeinwissen von Funkamateuren hinausgehen, sind nicht erforderlich¹.

In der Basisversion umfasst die Modellbibliothek die Bauelemente **Ohm'scher Widerstand**, **Kapazität**, **Induktivität (ohne, mit einer und mit zwei Anzapfungen)**, **Zwei- und Dreiwicklungsübertrager**, **Koaxialkabel** und **Bandkabel**, ein späteres Update soll auch Transistoren, Operationsverstärker, gesteuerte Quellen etc. enthalten.

Als Ergebnis der Simulation mit dem *Ham-VNA-Stick* werden die für den Funkamateure wichtigsten Wobbelkurven (**Übertragungsdämpfung**, **Stehwellenverhältnis**, **Rückflußdämpfung**) ausgegeben. Das Smith-Diagramm enthält die Ortskurven für **Eingangs-Reflexionsfaktor** und **Eingangsimpedanz**. Weiterhin können für jeden Frequenzpunkt die komplexen **Y-Vierpolparameter** der Schaltung angezeigt werden.

Systemvoraussetzungen:

- PC/Laptop mit einer Bildschirmauflösung von ca. **1440 x 900** für bequemes arbeiten, die Bildlaufleisten am rechten bzw. unteren Bildschirmrand erlauben aber auch die Verwendung von Monitoren mit geringerer Auflösung (z.B. 1366 x 768).
- **Windows** Vista/7/8/10 (läuft aber **nicht** unter LINUX-Emulation!)
- bei Windows XP ist evtl. nachträgliche Installation des .NET-Frameworks erforderlich
- eine gut funktionierende **optische Maus** (Touchpad ist weniger geeignet!)

Das Programm wird direkt vom USB-Stick durch Doppelklick auf die Datei **HamVNA.exe** gestartet. Eine Installation ist nicht erforderlich. Achten Sie darauf, dass sich die Schaltungs-Datenbank *CircuitsDB.dat* im gleichen Verzeichnis befindet. Nach Beenden wird das Programm keinerlei Spuren auf Ihrem PC hinterlassen!

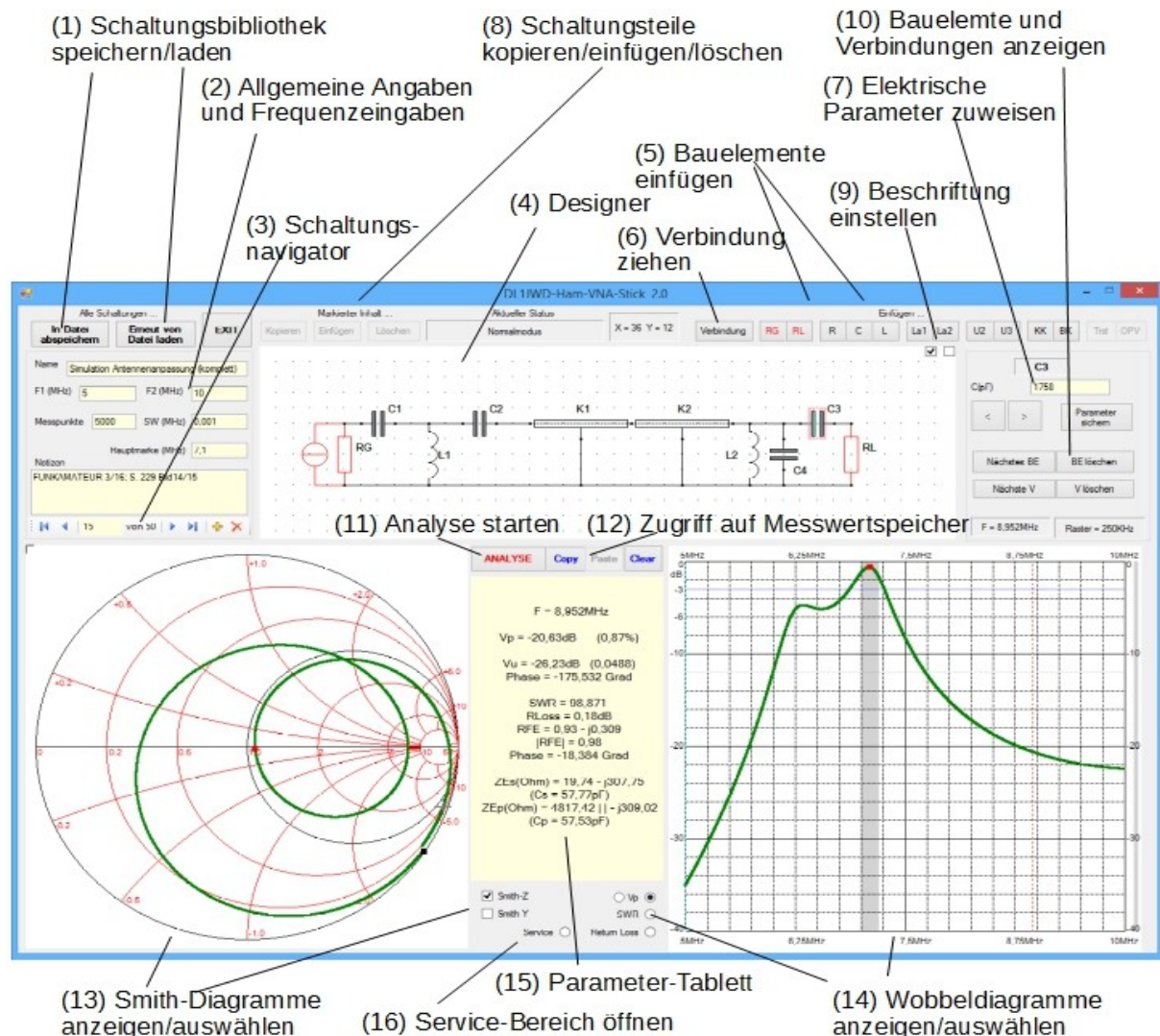
Hinweise:

- Fertigen Sie gleich zu Beginn ein Backup von *CircuitsDB.dat* an, um ein versehentliches Löschen von mitgelieferten Referenzbeispielen bei Bedarf wieder rückgängig zu machen oder um eine korrupte Datenbankdatei zu ersetzen.
- Sollte das Hauptfenster von *Ham-VNA-Stick* trotz genügend hoher Bildschirmauflösung nicht auf den kompletten Bildschirm passen, so gehen Sie in die Windows-**Systemsteuerung / Darstellung und Anpassung / Anzeige** um dort unter **Lesbarkeit auf Bildschirm erleichtern** o.ä. **Kleiner – 100% (Standard)** o.ä. einzustellen.

¹ Das von vielen OMs gemiedene *Smith-Diagramm* steht nicht im Mittelpunkt von *Ham-VNA-Stick*, dem ambitionierten Amateur dient es aber zum tieferen Verständnis der Schaltung!

Die Bedienoberfläche des Ham-VNA-Stick

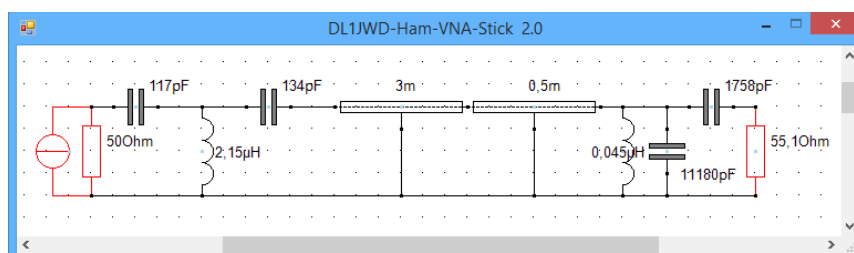
Die Hauptfunktionalität ist in einem einzigen Fenster zusammengefasst²:



Nach Programmstart ziehen Sie das Fenster auf seine maximale Größe oder aber benutzen Sie die vertikale oder horizontale Bildlaufleiste zum Verschieben des Inhalts.

Tipp:

Wenn das Fenster nur einen bestimmten Ausschnitt des Bildschirms zeigen soll, so verkleinern Sie zunächst das Fenster durch Ziehen an den Rändern und verschieben dann den Inhalt mittels der Bildlaufleisten, bis der gewünschte Ausschnitt erscheint:



² Geringfügige Abweichungen der Bedienoberfläche zur aktuellen Version des *Ham-VNA-Stick* sind möglich.

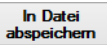

Übungen

Ein Beispiel sagt mehr als 1000 Worte! Bitte verzichten Sie deshalb auf wildes Herumprobieren und nehmen Sie sich eine gute Stunde Zeit, um sich anhand der folgenden sieben kleinen Übungen schrittweise in das Programm *Ham-VNA-Stick* einzuarbeiten. Gewissermaßen en passant werden dabei die verschiedenen Bedienfunktionen, Bauelemente und Betriebsparameter erklärt.

Ü1: Experimente mit der Schaltungsbibliothek

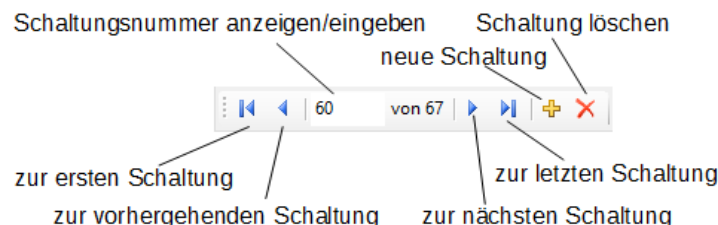
Die in der Datei *CircuitsDB.dat* gespeicherte Schaltungsbibliothek (1) wird bei Programmstart automatisch geladen. Im Auslieferungszustand von *Ham-VNA-Stick* sind bereits einige Referenzbeispiele³ enthalten, die Sie später um beliebig viele eigene Schaltungen ergänzen können.


Hinweis:

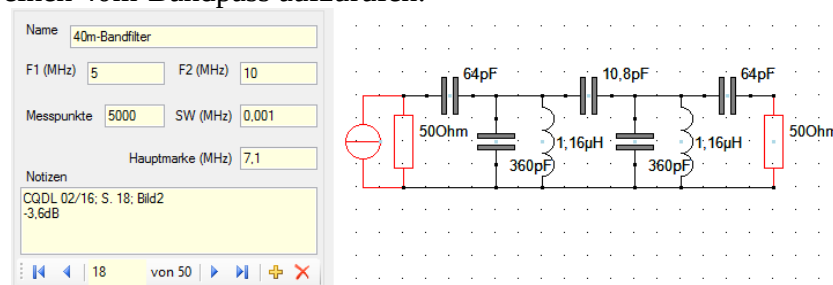
Beachten Sie, dass mit den Buttons  und  immer nur die komplette Bibliothek, also keine einzelnen Schaltungen, gespeichert oder geladen werden können!

Schaltungsnavigator

- Blättern Sie mit den kleinen blauen Pfeiltasten des Navigators (3) in der mitgelieferten Schaltungsbibliothek.




- Durch Klick auf das kleine rote Kreuz löschen Sie eine bestimmte Schaltung, allerdings wird diese Änderung nicht sofort in die Schaltungsbibliothek übernommen (erst nach Klick auf den Button ).
- Geben Sie in den Navigator die Schaltungsnummer **18** gefolgt von ENTER ein, um als Beispiel einen 40m-Bandpass aufzurufen:



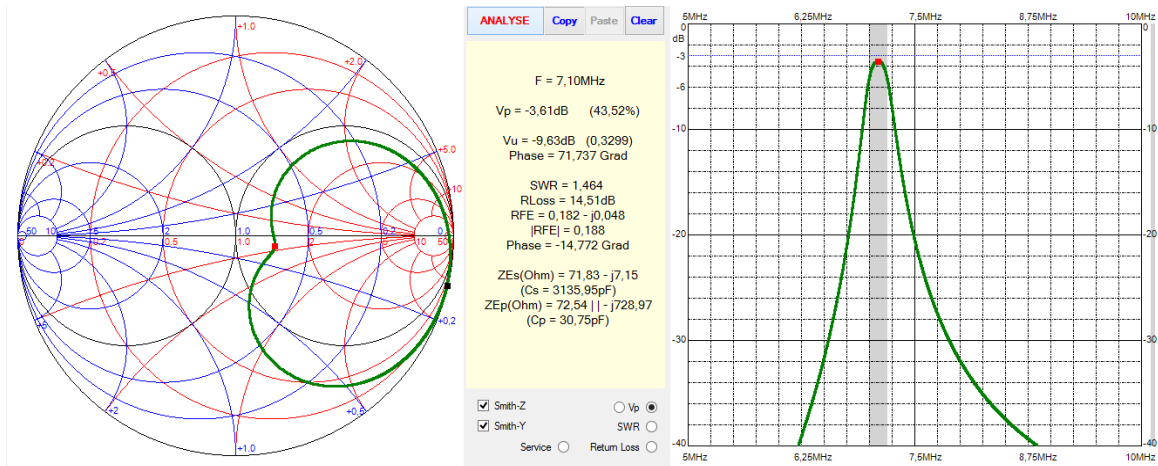
- Setzen Sie die entsprechenden Häkchen ☐ ☒ (9) in der rechten oberen Ecke des Designers, so werden entweder die indizierten Bauelemente-Bezeichner oder aber die wichtigsten elektrischen Parameter in zwei möglichen Größen angezeigt.

Schaltungsanalyse

- Starten Sie die Analyse mit Klick auf die Schaltfläche  (11) und betrachten Sie die Analyseergebnisse (der Bereich des 40m-Bands ist grau hinterlegt, so wie auch alle anderen Afu-Bänder). Im Parameter-Tablett (15) sehen Sie die Betriebsparameter für die Frequenz 7,1 MHz (die im Bereich (2) eingestellte Hauptmarke).
- Im Smith-Diagramm (13) ist die Anfangsfrequenz F1 mit einem kleinen schwarzen Viereck

³ siehe CQDL 02/2016 und FUNKAMATEUR 02/2016 und 03/2016

markiert. Die Hauptmarke erscheint, ebenso wie im Frequenzdiagramm (14), als kleines rotes Viereck:



- Bewegen Sie die Maus horizontal im Frequenzdiagramm (14), so markiert eine senkrechte rote gestrichelte Linie die aktuelle Frequenz. Synchron dazu fährt ein schwarzes Kreuz im Smith-Diagramm durch die Ortskurve der Eingangsimpedanz und markiert den dazugehörigen Frequenzpunkt.
- Das funktioniert auch umgekehrt, wenn Sie also mit der Maus auf einen bestimmten Punkt auf der Ortskurve im Smith-Diagramm (13) zeigen, erscheint ein schwarzes Kreuz und Sie können rechts im Frequenzdiagramm die entsprechende Frequenz anhand der dünnen roten Markierungslinie ablesen. Beachten Sie dabei auch die Anzeige der Betriebsparameter im Parameter-Tablett (15).
- Lassen Sie sich das Smith-Diagramm in Z- oder in Y-Form anzeigen, indem Sie die entsprechenden Häkchen ☒ Smith-Z ☐ Smith-Y setzen. Fehlen beide Häkchen, so sehen Sie kein Smith-Diagramm, sondern nur die Ortskurve des Reflexionsfaktors RF.
- Betrachten und vergleichen Sie die Frequenzgänge der Leistungsverstärkung V_p , der Spannungsverstärkung V_u , des Stehwellenverhältnisses SWR und der Rückflusdämpfung RLoss, indem Sie auf die kleinen runden Buttons ☐ V_p ☒ SWR ☐ Return Loss ☐ am unteren linken Rand des Frequenzdiagramms (14) klicken.
- Bei 7,1 MHz erkennen Sie z.B. eine Leistungsverstärkung V_p von -3,61 dB, was einer Übertragungsdämpfung von 3,61 dB entspricht, rechts daneben in Klammern steht der Wert 43,52%, d.h., nur ca. 44% der maximal verfügbaren Generatorleistung wird in RL umgesetzt. Für Sendezwecke dürfte dieses Filter deshalb ungeeignet sein.

Ü2: Frequenzeingaben variieren

Der Bereich für allgemeine Eingaben (2) besteht aus insgesamt sieben Textfeldern, in welche Sie für jede Schaltung Namen, Anfangs- und Endfrequenz, Anzahl der Messpunkte oder Schrittweite und eine Hauptfrequenzmarke eingeben.

Außerdem ist Platz für einen mehrzeiligen Kommentar.

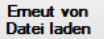

Hinweise:

- Alle Frequenzen werden grundsätzlich in „MHz“ eingegeben.
- Eine zu kleine Schrittweite kann zu einer unnötig hohen Anzahl von Messpunkten führen und beeinflusst evtl. (nur bei sehr umfangreicheren Schaltungen) die Rechenzeit negativ.
- Im KW-Bereich ist eine Schrittweite kleiner 0,001 MHz (1 kHz) meist wenig sinnvoll.

Schrittweite und Wobbelbereich ändern

- Wiederholen Sie die Analyse mit einer Schrittweite von 0,1MHz (100KHz) und analysieren Sie Vp, SWR und Rloss
- Verändern Sie die Anzahl der Messpunkte
- Verringern Sie den Wobbelbereich auf 7 ... 7,2MHz
- Ändern Sie die Hauptfrequenzmarke (diese Marke dient lediglich zur Orientierung, meist legt man sie in die Mitte eines Amateurfunkbandes)

Änderungen rückgängig machen oder dauerhaft übernehmen

- Klicken Sie auf  (1), so erscheint wieder die ursprüngliche Version der Schaltung. Sollen aber die Änderungen endgültig in die Schaltungsbibliothek übernommen werden, so nehmen Sie die Schaltfläche .

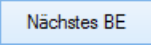
Ü3: Elektrische Parameter editieren

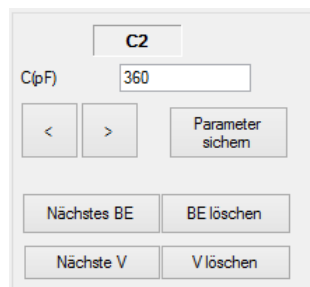
Ham-VNA-Stick verwendet grundsätzlich die elektrischen Maßeinheiten **MHz**, **µH**, **pF** und **Ohm**.



Tipp:

Wenn Sie **KHz**, **mH**, **nF** und **Ohm** einsetzen, sind alle Ergebnisse ebenfalls richtig!



Parameter anzeigen

- Klicken Sie im Bereich (10) auf , um nacheinander alle Bauelemente der Schaltung zu durchwandern. Im darüber liegenden Textfeld sehen Sie den aktuellen Wert des ersten Parameters.



- Hat das Bauelement mehrere Parameter, wie zum Beispiel L1 und L2, die neben dem Wert in µH auch noch die Güte QL enthalten, so durchlaufen Sie die Parameterliste mit  und .
- Navigieren Sie z.B. zur Schaltung 14, um die Länge des Koaxkabels zu ändern.
- Um die Parameter eines bestimmten Bauelements sofort anzuzeigen, klicken Sie im Designer mit der linken Maustaste in die Nähe des hellblauen Punkts im Zentrum des Bauelements.
Das so markierte Bauelement erscheint rot umrandet.

Parameter ändern

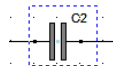
- Erhöhen Sie z.B. die Güten der Spulen L1 und L2 von 100 auf 200, indem Sie zuerst auf das Bauelement im Designer klicken (hellblauer Punkt). Danach stellen Sie im Bereich (7) mittels des Buttons  den Parameter „QL“ ein und ändern den Wert.
- Die Eingaben beenden Sie mit Klick auf  oder mittels ENTER-Taste.
- Analysieren Sie die Auswirkungen von Parameteränderungen auf Vp, SWR und Rloss!

Ü 4: Schaltung im Designer bearbeiten

Diese Übung zeigt, wie Sie Änderungen am Schaltbild vornehmen können.

Schaltung oder Bauelement verschieben


- Eine komplette Schaltung (oder auch einen Teil davon) können Sie verschieben, indem Sie bei gedrückt gehaltener **rechter** Maustaste einen Rahmen um die Schaltung aufziehen. Lassen Sie dann die rechte Maustaste los und klicken Sie mit der **linken** Maustaste in den Rahmen und verschieben Sie diesen bei gedrückt gehaltener Maustaste an seine neue Position.
- Die gleiche Arbeitstechnik verwenden Sie auch, um ein einzelnes Bauelement oder eine Verbindung zu verschieben. Probieren Sie dies aus, indem Sie z.B. C2 um ein Raster nach



rechts verschieben.

- Ziehen Sie den Rahmen um C2 einmal mit und einmal ohne Einschluss der zwei Bauelemente-Pins und beachten Sie den Unterschied beim Verschieben!
- Dasselbe versuchen Sie beim Verschieben einer Verbindung, indem Sie den Rahmen sehr klein einmal nur um den Anfangs- oder nur um den Endpunkt und ein anderes mal um beide Punkte aufziehen.


Schaltungsausschnitt oder Bauelement kopieren

- Ziehen Sie einen Rahmen um die Induktivität L1, klicken Sie im Bereich (8) auf die Schaltfläche **Kopieren** und anschließend auf **Einfügen**.
- Die kopierte Induktivität erscheint am linken Rand des Designers. Umrahmen Sie L3 und verschieben Sie L3 an seine neue Position.
- Um die komplette Schaltung oder einen Teil davon auf eine neue Seite zu kopieren, umrahmen Sie zunächst die Schaltung und klicken auf **Kopieren**. Im Schaltungsnavigator (3) klicken Sie auf  und schließlich im Bereich (8) auf **Einfügen**.

Bauelement, Verbindung oder Schaltungsausschnitt löschen

- Löschen Sie ein Bauelement, indem Sie zunächst im Designer mit der linken Maustaste darauf klicken, sodass das Bauelement rot umrandet erscheint. Anschließend wählen Sie im Bereich (10) **BE löschen** oder die Entf-Taste der PC-Tastatur.
- Löschen Sie eine Verbindung, indem Sie im Designer mit der linken Maustaste darauf anklicken, sodass die Verbindung rot markiert ist. Anschließend wählen Sie im Bereich (10) **V löschen** oder die Entf-Taste der PC-Tastatur.
- Löschen Sie eine Verbindung, ein Bauelement oder einen Schaltungsausschnitt, indem Sie mittels **rechter** Maustaste einen Rahmen darum ziehen und dann im Bereich (8) die Schaltfläche **Löschen** klicken.
- Machen Sie mit **Erneut von Datei laden** (1) die Änderungen wieder rückgängig.

Übung 5: Editieren im Datengitter

Den kompletten Zugriff auf die aktuelle Schaltung und eine übersichtliche Auflistung aller Bauelementeparameter erhalten Sie nach Öffnen des Service-Bereichs (16) über den Button **Service** .

- Die elektrischen und topologischen Parameter sind in drei Datengittern enthalten: *Bauelementeliste*, *Parameterliste* und *Verbindungsliste*.
- Ändern Sie die Güte von L2, indem Sie im oberen Datengitter (Bauelementeliste) zunächst die Zeile mit *Typ* = L und *Index* = 2 markieren (auf linken breiten Rand klicken).

Bauelementliste

	Typ	Index	X0	Y0	Dir	SF	J	K	L	M	N
	C	1	240	80	E	1	3	4	-1	-1	-1
	C	2	280	120	S	1	4	1	-1	-1	-1
	L	1	320	120	S	1	4	1	-1	-1	-1
	C	3	480	80	E	1	5	2	-1	-1	-1
	RL	0	520	120	E	1	2	1	-1	-1	-1
▶	L	2	440	120	S	1	5	1	-1	-1	-1
<	C	4	560	80	E	1	6	1	-1	-1	-1
>											

Parameterliste

	PName	PValue	Comment
	L(μH)	1.16	
▶	QL	100	
*			

Verbindungsliste

268

	X1	Y1	X2	Y2
▶	200	160	520	160
	500	80	520	80
	400	100	400	80

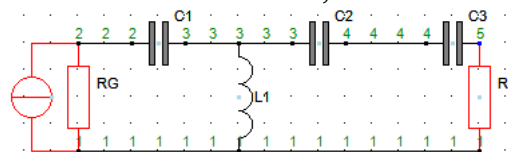
- Verändern Sie den Wert des Parameters *QL*, indem Sie in die Spalte *PValue* den neuen Wert eintragen und mit *Enter* abschließen.

Hinweise:

- Auf der *Service*-Seite haben Sie auch die Möglichkeit, die für Einsteiger nützlichen Hinweise auszublenden, die immer dann erscheinen, wenn man mit der Maus etwas länger auf ein bestimmtes Bedienelement des Hauptfensters zeigt.
- Außerdem können Sie entscheiden, ob die Y-Parameter im Parameter-Tablett (15) mit angezeigt werden sollen oder nicht.

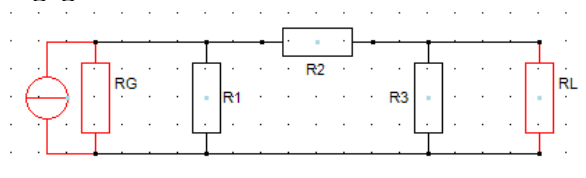
☒ Hinweise anzeigen
 ☐ Y-Parameter anzeigen
 Knoten anzeigen

- Die Funktion „Knoten anzeigen“ ermöglicht im Designer eine Kontrolle darüber, ob die integrierte Topologienalyse zu einem regulären Netzwerk geführt hat (jeder Anschluss eines Bauelements muss eine eindeutige fortlaufende Knotennummer haben, sind mehrere Bauelementeanschlüsse miteinander verbunden, so bilden sie einen gemeinsamen Knoten).





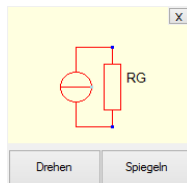
Ü6: Entwurf einer eigenen Schaltung

Haben Sie bis jetzt alle Übungen erfolgreich absolviert, können Sie sich an den Entwurf einer eigenen Schaltung wagen. Der Designer (4) bietet eine in 40 x 12 Rasterpunkte aufgeteilte Fläche, auf welcher Sie Ihre Schaltung zeichnen. Das soll anhand eines sehr einfachen Beispiels, der Analyse eines 3dB-Dämpfungsglieds, erklärt werden.



Schaltung zeichnen:

- Klicken Sie auf  im Schaltungsnavigator (3) um eine neue leere Seite zu erzeugen.
- Tragen Sie im Bereich Eingabebereich (2) als Namen „3dB-Dämpfungsglied“ ein. Die übrigen Felder mit den Frequenzangaben können Sie auf ihren Standardwerten belassen.
- Klicken Sie im Bauelemente-Menü (5) auf die Schaltfläche , und das entsprechende Symbol wird Ihnen rechts oben auf dem (vorher durch den Bereich (7) verdeckten) Bauelemente-Tablett serviert:

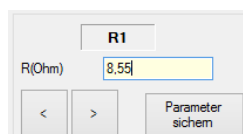


- Drehen und spiegeln Sie das Bauelement auf dem Tablett, um es schon hier in die gewünschte Lage zu bringen (im Designer haben Sie diese Möglichkeit nicht mehr!).
- Ziehen Sie das Bauelement bitte nicht direkt vom Tablett in den Designer, sondern klicken Sie erst mit der linken Maustaste auf den Designer (4) und ziehen Sie dann das Bauelement (bei gedrückt gehaltener Maustaste) an seine endgültige Position.
- Setzen Sie das Bauelement ab, indem Sie die Maustaste wieder loslassen.
- Klicken Sie im Bereich (5) auf die Schaltfläche **R**, und setzen Sie auf analoge Weise den Widerstand R1 im Designer ab. Wiederholen Sie die Prozedur mit R2 und R3.
- Klicken Sie die Schaltfläche **RL**, um den Lastwiderstand RL hinzuzufügen.
- Klicken Sie im auf die Schaltfläche **Verbindung** (6) und dann im Designer (4) mit der linken Maustaste auf das untere Pin von RG um den Startpunkt der ersten Verbindung festzulegen.
- Lassen Sie die die Maustaste gedrückt und ziehen Sie die Verbindung bis zum unteren Pin von RL.
- Stellen Sie auf gleiche Weise die übrigen zwei Verbindungen her (zwischen oberem Pin von RG und dem linken Pin von R2, zwischen rechtem Pin von R2 und oberem Pin von RL).
- Wollen Sie die Drehrichtung oder Spiegelung eines Bauelements korrigieren, so müssen Sie es erst im Designer löschen und dann neu einfügen (siehe oben).

Hinweis: Sie können auch schräge Verbindungen ziehen. Allerdings ist dann das Anklicken bzw. Löschen etwas schwieriger als bei waagerechten oder senkrechten Verbindungen, es funktioniert nur in unmittelbarer Nähe von Anfangs- bzw. Endpunkt.

Elektrische Parameter zuweisen

- Klicken Sie mit der linken Maustaste in die Nähe des hellblauen Punkts im Zentrum von R1. Ist das Bauelement markiert, so erscheint es hellrot umrandet.
- Im Bereich (7) geben Sie für „R(Ohm)“ den Wert 8,55 ein. Bestätigen Sie die Eingabe durch Klick auf die Schaltfläche **Parameter sichern** oder mit der ENTER-Taste der PC-Tastatur.



- Wiederholen Sie die gleiche Prozedur für R2 und R3, denen Sie die Ohm-Werte 141,93 und 8,55 zuweisen.
- RG und RL haben standardmäßig bereits den Wert 50 Ohm, sodass Sie in unserem Beispiel nichts einzugeben brauchen.

Bem.: Der sensitive (hellblaue) Punkt von RG liegt nicht auf RG, sondern im Zentrum !



Schaltung analysieren

Da die Schaltung unseres Beispiels nur ohm'sche Widerstände enthält, sind die Frequenzeingaben im Bereich (2) ohne Bedeutung.

- Klicken Sie auf die Schaltfläche **ANALYSE** (11) und betrachten Sie die Ausgaben im Smith-Diagramm (13). Der einzelne Punkt exakt im Zentrum bedeutet eine reelle Eingangsimpedanz von 50Ohm (Eingangsreflexionsfaktor $R_{fe} = 0$).
- Das Vp-Diagramm (14) ist in zwei unterschiedlichen Auflösungen verfügbar (0 ... -40dB







und 0...-4dB). Die 3dB-Linie markiert den Wert, wo nur noch die Hälfte der maximal verfügbaren Generatorleistung am Lastwiderstand R_L umgesetzt wird.

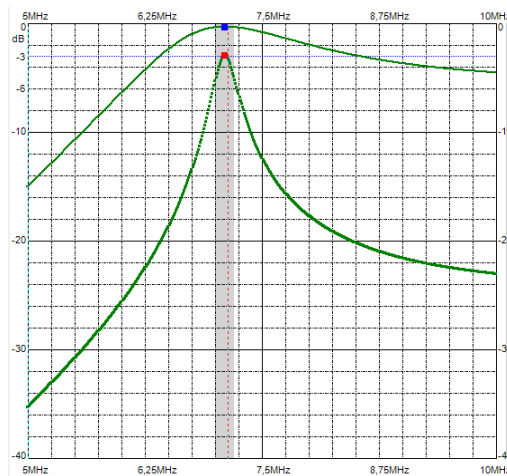
- Betrachten Sie das SWR-Diagramm. Ideal ist der Wert 1, d.h., keine reflektierte Welle am Eingang.
- Bewegen Sie die Maus (ohne zu klicken) horizontal im Frequenzdiagramm, so erscheinen im Parameter-Tablett (15) die dem angezeigten Frequenzpunkt entsprechenden Betriebsparameter.

Ü7: Diagramme vergleichen

Um die Auswirkungen von Parameteränderungen anschaulich darzustellen, kann man unter Benutzung der Zwischenablage des Messwertspeichers (12) das aktuelle mit dem zwischengespeicherten Diagramm überlagern.

Im folgenden Beispiel vergleichen Sie zwei Einstellungen eines CLC-T-Glieds (Antennenkoppler MFJ-941E), um eine optimale Anpassung an das 40m-Band zu finden.

- Navigieren Sie mit  zur ersten Schaltung der Bibliothek und klicken Sie auf  um im Diagramm (14) die Wobbelkurve der Leistungsverstärkung V_p anzuzeigen.
 - Klicken Sie auf  um die aktuelle Kurve in die Zwischenablage zu kopieren.
 - Navigieren Sie mit  zur zweiten Schaltung und klicken Sie auf .
 - Mit nachfolgendem Klick auf die Schaltfläche  fügen Sie die zwischengespeicherte Kurve hinzu.
 - Zwecks Unterscheidung von der originalen Kurve ist die aus der Zwischenablage eingefügte Kurve etwas dünner. Außerdem ist die Hauptfrequenzmarke blau statt rot.
- Gleiches gilt auch für die Ortskurven im Smith-Diagramm.



- Der Vergleich beider Wobbelkurven zeigt die Überlegenheit der ersten Einstellung des Antennenkopplers, die wesentlich breitbandiger und verlustärmer ist.

Hinweise:

- Sie können durch Start mehrerer Instanzen des *Ham-VNA-Stick* auch mehrere Programmfenster gleichzeitig öffnen und die Ergebnisse direkt vergleichen (genügend großer Bildschirm vorausgesetzt)!
- Alle Instanzen greifen auf eine gemeinsame Schaltungsbibliothek zu, die in einer beliebigen Programminstanz vorgenommenen Änderungen sind deshalb sofort auch in der anderen sichtbar.

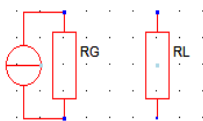
Technische Grundlagen

Im Folgenden finden Sie eine kurze Erklärung der verwendeten Bauelementemodelle und die Herleitung der Betriebsparameter.

Modellbibliothek

Die in *Ham-VNA-Stick* verwendeten Bauelemente-Ersatzschaltbilder wurden von mir nach dem Prinzip „so genau wie für Funkamateure nötig“ für den KW- und UKW-Bereich optimiert. Die Einbeziehung der ohm'schen- und Streuverluste bei Induktivitäten, Trafos und Leitungen gewährleistet eine praxisnahe Modellierung.

Generator- und Lastwiderstand

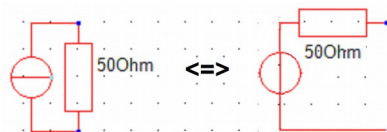


Wichtig: Jede Schaltung muss einen Generatorwiderstand RG und einen Lastwiderstand RL haben!

Beispiel: Bei Sendeantennen-Anpassungen ist RG in der Regel identisch mit dem Innenwiderstand der PA (50 Ohm) und RL mit der reellen Komponente der Eingangsimpedanz der Antennenzuleitung (die genauen Werte lassen sich leicht mit einem Antennenanalysator ermitteln).

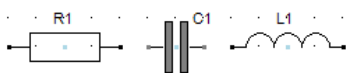
Sie können RG und RL an jede beliebige Stelle der Schaltung setzen, es wird immer das Übertragungsverhalten zwischen dem dadurch definierten Input- und Output-Tor ermittelt.

Bem.: Das in *Ham-VNA-Stick* aus Platzgründen verwendete Generatorersatzschaltbild (Stromquelle mit parallel geschaltetem RG) ist identisch mit einer Spannungsquelle und RG in Reihe:



Bem.: Falls nur die Eingangsimpedanz Z_e einer Schaltung ermittelt werden soll, ist die Größe von RG bedeutungslos (RG muss aber vorhanden sein).

Ohm'scher Widerstand, Kapazität, Induktivität

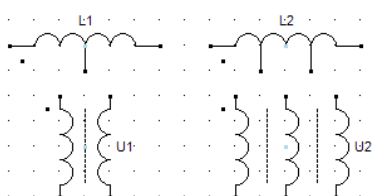


Während die Zweipole R und C nur jeweils einen elektrischen Parameter brauchen (Maßeinheit Ohm bzw. pF), ist bei L (Maßeinheit μH) zusätzlich die Spulenleerlaufgüte QL als dimensionslose Zahl einzugeben. QL ist als Verhältnis des induktiven Blindwiderstandes zum Reihenverlustwiderstand der Spule definiert.

Fügen Sie eine neue Induktivität ein, so wird für QL standardmäßig der Wert 1000 zugewiesen, was einer nahezu verlustfreien Spule entspricht. Praktische Größen für QL schwanken zwischen 10 (minderwertiger Pulvereisenkern) und 200 (versilberte Luftspule).

Kapazitäten sind in der Regel so verlustarm, dass (zumindest für Amateurbelange) die Einführung eines Gütefaktors meist ohne praktische Relevanz ist. Falls dennoch notwendig, kann man aber auch entsprechende ohm'sche Verlustwiderstände in Reihe oder parallel schalten.

Angezapfte Spulen, Übertrager



Das verwendete Übertragermodell hat den Vorteil, dass sowohl ohm'sche als auch Streuverluste Berücksichtigung finden.

Die Ersatzschaltbilder angezapfter Spulen werden intern auf einen Zwei- bzw. Dreiwicklungsübertrager zurückgeführt.

Elektrische Parameter für den Zwei- bzw. Dreiwicklungsübertrager:

- **L1(μ H)**: Induktivität der Primärwicklung (im Symbol des Übertragers ist die Primärwicklung mit einem fetten schwarzen Punkt gekennzeichnet).
- **QL**: einheitliche Leerlaufgüte aller Wicklungen (diese Vereinfachung ist in den meisten Fällen zulässig)
- **k**: Koppelfaktor (kennzeichnet die Streuverluste, ist idealerweise 1, praktische Werte zwischen 0,5... 0,99)
- **w1 / w2**: Verhältnis der Windungszahlen von Primär- zur zweiten Wicklung (Sekundärwicklung beim Zweiwicklungsübertrager)
- **w1 / w3**: Verhältnis der Windungszahlen von Primärwicklung zur dritten Wicklung (Dreiwicklungsübertrager)

Wichtig:

Sind beide Wicklungen gegenseitig, so ist w1 / w2 bzw. w1 / w3 mit negativem Vorzeichen einzugeben!

Der Beginn der Primärwicklung w1 ist mit einem fetten schwarzen Punkt markiert. Der Anfang der Sekundärwicklung hat keine Markierung, ob sie gleich- oder gegenseitig gewickelt ist, erkennt man am Vorzeichen von w1/w2!

Die elektrischen Parameter für angezapfte Induktivitäten:

- **L(μ H), QL**: wie bei normaler Induktivität
- **k**: Koppelfaktor (≤ 1 , wie bei Übertrager)
- **w1 / w**: Windungszahl w1 vom „kalten“ Ende der Spule bis zur ersten Anzapfung im Verhältnis zur Gesamtwindungszahl w
- **w2 / w**: Windungszahl w2 vom „kalten“ Ende der Spule bis zur zweiten Anzapfung im Verhältnis zur Gesamtwindungszahl w

Das „kalte“ Ende ist das Wicklungsende, der Wicklungsanfang ist (wie beim Übertrager) mit einem fetten Punkt markiert. Es gilt immer: $w > w2 > w1$.

Koaxkabel, Bandkabel

Koaxialkabel und Bandkabel haben dieselben elektrischen Parameter und unterscheiden sich nur dadurch, dass es sich einmal um einen Dreipol, ein anderes mal um einen Vierpol handelt:



- **Zw(Ω)**: Wellenwiderstand
- **l(m)**: Länge
- **v**: Verkürzungsfaktor (kleiner oder idealerweise gleich Eins)
- **a(dB/100m)**: Kabeldämpfung (bei 10MHz!)

Verkürzungsfaktor und Kabeldämpfung sind dem Herstellerkatalog zu entnehmen. Die Umrechnung für andere Frequenzen erfolgt durch das Programm automatisch, wobei die Frequenzabhängigkeit der dB-Dämpfungskurve aus der Quadratwurzel (Sqrt) des Frequenzverhältnisses interpoliert wird:

$$a(\text{dB}) = a(\text{dB})_{10\text{MHz}} * \text{Sqrt}(f(\text{MHz}) / 10)$$

Betriebsparameter

Rechenzeitintensiver Kern einer Schaltungsanalyse mit *Ham-VNA-Stick* ist die Ermittlung der zwischen Ein- und Ausgangstor liegenden komplexen **Y**-Vierpolmatrix, was in meinem Verfahren durch schrittweise Eliminierung der inneren Schaltungsknoten mittels eines von mir modifizierten vektoriellen Gauss-Algorithmus unter Verwendung spezieller Sparse-Matrix-Techniken realisiert

wird. Ergebnis sind die Real- und Imaginärteile der vier Elemente der Y-Vierpolmatrix, die bei Bedarf auch für jeden Frequenzpunkt im unteren Teil des Parameter-Tablets (15) aufgelistet werden können (siehe Hinweise am Schluss von Übung 5):

$$\begin{aligned}\underline{Y}_{11} &= g_{11} + jb_{11} & \underline{Y}_{12} &= g_{12} + jb_{12} \\ \underline{Y}_{21} &= g_{21} + jb_{21} & \underline{Y}_{22} &= g_{22} + jb_{22}\end{aligned}$$

Nach Beschaltung von Ein- und Ausgangstor mit RG bzw. RL lassen sich dann die verschiedenen Betriebsparameter nach den aus der klassischen Vierpoltheorie bekannten Formeln leicht ermitteln:



Spannungsverstärkung V_u

Diese vektorielle Größe gibt das Verhältnis der Ausgangsspannung zur Generatorurspannung an:

$$\underline{V}_u = \underline{U}_2 / \underline{U}_0 = - \underline{Y}_{21} * G_G / ((\underline{Y}_{11} + G_G) * (\underline{Y}_{22} + G_L) - \underline{Y}_{12} * \underline{Y}_{21})$$

oder

$$V_u[\text{dB}] = 20 * \log|\underline{V}_u|$$

mit $G_G = 1 / R_G$ und $G_L = 1 / R_L$

Leistungsübertragung V_p

Dieser wichtige, manchmal auch als Leistungsverstärkung oder Transmission bezeichnete Parameter steht für das Verhältnis der am Lastwiderstand RL umgesetzten Leistung zur maximal verfügbaren Generatorleistung (Wirkungsgrad). Im Unterschied zur Spannungsverstärkung V_u handelt es sich um eine reelle (also keine vektorielle) Größe. Der Frequenzgang von V_p entspricht der experimentellen Situation bei der Aufnahme von Wobbelkurven:

$$V_p = |\underline{V}_u|^2 * 4 * R_G / R_L$$

und in Dezibel:

$$V_p[\text{dB}] = 10 * \log(V_p)$$

Bem.: Die so genannte Übertragungsdämpfung ($a[\text{dB}]$) ist gewissermaßen die negative Leistungsverstärkung, unterscheidet sich also nur durch das Vorzeichen.

Eingangsimpedanz \underline{Z}_E

Der vektorielle Eingangswiderstand ist der Kehrwert des vektoriellen Eingangsleitwerts:

$$\underline{Z}_E = 1 / \underline{Y}_E$$

$$\text{mit } \underline{Y}_E = \underline{Y}_{11} - \underline{Y}_{12} * \underline{Y}_{21} / (\underline{Y}_{22} + 1 / R_L)$$

\underline{Z}_E wird sowohl als Serienschaltung

$$\underline{Z}_{Es} = R_s + jX_s$$

als auch als Parallelschaltung angegeben:

$$\underline{Z}_{Ep} = R_p \parallel jX_p$$

Diese zweifache Anzeige einer Impedanz als Serien- und als Parallelschaltung eines ohmschen und eines Blindwiderstands ist auch bei Antennenanalysatoren üblich (z.B. bei den Antennenanalysatoren der Firma *RigExpert*):

$$R_p = (R_s^2 + X_s^2) / R_s \quad X_p = (R_s^2 + X_s^2) / X_s$$

bzw.

$$R_s = R_p / (1 + R_p^2 / X_p^2) \quad X_s = X_p / (1 + X_p^2 / R_p^2)$$

Eingangsreflexionsfaktor RF_E

RF_E leitet sich aus dem Eingangsleitwert \underline{Y}_E und dem Generatorwiderstand R_G her:

$$RF_E = (\underline{Y}_E - 1 / R_G) / (\underline{Y}_E + 1 / R_G)$$

Stehwellenverhältnis SWR

VSWR errechnet sich aus dem Betrag von RF_E :

$$VSWR = (1 + RF) / (1 - RF) \quad \text{mit } RF = |RF_E|$$

Rückflussdämpfung R_{Loss}



R_{Loss} ist das logarithmische Maß des Reflexionsfaktors RF :

$$R_{Loss} = -20 * \log(RF)$$

Problemlösungen

Im Folgenden sind die mir bekannt gewordenen wesentlichen Probleme und deren Lösungen zusammengefasst, wie sie im Ergebnis der Beta-Tests von *Ham-VNA-Stick* aufgetreten sind:

Problem	Lösung
Mein Windows-PC hat zwar eine Grafikauflösung von größer als 1400x900, trotzdem passt das Hauptfenster von <i>Ham-VNA-Stick</i> nicht auf den Bildschirm.	Gehen Sie in die <i>Windows-Systemsteuerung / Darstellung und Anpassung / Anzeige</i> um dort unter <i>Lesbarkeit auf Bildschirm erleichtern</i> die Einstellung <i>Kleiner – 100% (Standard)</i> o.ä. vorzunehmen.
In der Schweiz verwendet man anstatt des Kommas den Punkt als Dezimaltrennzeichen.	Belassen Sie die <i>Region- und Spracheinstellung</i> auf „Schweiz (Deutsch)“ und wählen Sie die schweizerdeutsche Tastatur an.
Ich emuliere Windows unter LINUX und erhalte Fehlermeldungen.	Es fehlen die Bibliotheken des .NET-Frameworks (ab 4.5), wie sie unter Windows Vista, 7, 10 standardmäßig vorhanden sind.
Ich arbeite noch unter Windows XP und erhalte eine Fehlermeldung.	Folgen Sie den Hinweisen zur nachträglichen Installation des .NET-Frameworks ab 4.5.
Sofort nach Programmstart erscheint eine Fehlermeldung.	Möglicherweise ist die Datenbankdatei <i>CircuitsDB.dat</i> beschädigt, ersetzen Sie diese durch eine vorher angefertigte Kopie.

Nach Klick auf „ANALYSE“ erscheint eine Fehlermeldung oder es passiert überhaupt nichts.	<ul style="list-style-type: none"> - Überprüfen Sie, ob <u>allen</u> Bauelementen (auch RG und RL) <u>alle</u> elektrischen Parameter richtig (Maßeinheit!) zugewiesen wurden. - Ist das <u>Dezimaltrennzeichen</u> korrekt? Es wird wie üblich aus den <u>Regions- und Spracheinstellungen</u> des Betriebssystems übernommen (in Deutschland in der Regel das Komma, der Dezimalpunkt wird überlesen). - Klicken Sie im <i>Service</i>-Bereich auf  um auszuschließen, dass Bauelemente falsch verbunden oder außerhalb des Designers „fallengelassen“ wurden. - Hat die Schaltung <u>einen</u> Generator- <u>und einen</u> Lastwiderstand? Wurde RG richtig an seinen beiden Pins (nicht an die Stromquelle!) angeschlossen?
Eine Verbindung oder ein Bauelement lässt sich nicht markieren, ziehen oder löschen.	<ul style="list-style-type: none"> - Vergleichen Sie im <i>Service</i>-Bereich die <u>kompletten</u> Bauelemente- und Verbindungslisten anhand ihrer Pin-Koordinaten mit dem Schaltbild. Evtl. sind Bauelemente oder Verbindungen außerhalb des Designers gelandet, durch andere verdeckt oder es gibt unbemerkte <u>isolierte Knoten</u>. - Eine <u>schräge Verbindung</u> kann nur dann markiert werden, wenn man in die unmittelbare Nähe ihres Anfangs- oder Endpunktes klickt. - Ursache kann auch eine <u>prellende Maus</u> sein, testen Sie versuchsweise eine andere Maus!
Im Parameter-Tablett werden keine Betriebsparameter angezeigt	<ul style="list-style-type: none"> - Klicken Sie den Button . - Zeigen Sie mit der Maus auf die Ortskurve im Smith-Diagramm (13) oder bewegen Sie die Maus im Wobbel-Diagramm (14).
Die elektrischen Parameter des Bauelements werden nicht angezeigt.	<ul style="list-style-type: none"> - Klicken Sie im Designer auf das Bauelement (hellblauer Punkt). - Im Eingabefeld (7) können Sie den Wert ablesen/editieren. - Alternativ können Sie den Service-Bereich (16) öffnen und dort die Bauelementeliste editieren.
Der hellblaue (sensitive) Punkt eines Bauelements ist nicht sichtbar.	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhen Sie die Helligkeit des Bildschirms.
Ich möchte die Zwischenablage des Designers löschen.	<ul style="list-style-type: none"> - Ziehen Sie im Designer mit der rechten Maustaste ein leeres Rechteck auf und drücken Sie die Entf-Taste.

Schlussbemerkungen

- Das Pendant zu *Ham-VNA-Stick* ist der *Ham-Tuning-Stick*. Alle damit berechneten Leistungsanpassungen etc. können mit *Ham-VNA-Stick* bequem überprüft werden.
- Weitere Einsatzmöglichkeiten von *Ham-VNA-Stick*⁴ für die Simulation für Antennenanpassungen siehe FUNKAMATEUR (2016, Heft 2 und 3).
- Nobody is perfect und ein solch ziemlich umfangreiches Programm wird eigentlich niemals ganz fertig – und so ist es nicht ausgeschlossen, dass trotz ausgiebiger Tests, die von mir und anderen OM⁵ durchgeführt wurden, hier und dort doch noch versteckte Mängel sichtbar werden. Für Hinweise und Verbesserungsvorschläge zum *Ham-Tuning-Stick* bin ich jederzeit dankbar!

Viel Spaß und Erfolg wünscht Ihnen

Walter (DL1JWD)

dr.doberenz@gmail.com

⁴ *Ham-VNA-Stick* und *Ham-VNA-Stick* sind unterschiedliche Bezeichnungen für ein- und dasselbe Programm.

⁵ Ein besonderer Dank an OM Anton, DL6KAL.