

# DL1JWD-HamVNAS 1.3

## Bedienanleitung

*HamVNAS* (Vektorielle Netzwerkanalyse/-synthese) ist ein einfach zu bedienendes Windows-Programm zur Analyse und Synthese passiver elektrischer Schaltungen im Frequenzbereich. Es vereinigt die vom FUNKAMATEUR /1/ bzw. CQ DL /2/ bekannten Programme *Ham-Tuning-Stick*, *Ham-VNA-Stick* bzw. *HamCAD* unter einem Dach.

*HamVNAS* arbeitet parallel sowohl im Analyse- als auch im Synthesemodus und so kann man sich zum Beispiel Antennenanpassungen berechnen lassen und gleichzeitig deren Transmission wobbeln. Besondere theoretische Vorkenntnisse, die über das zur Lizenzprüfung erforderliche Allgemeinwissen von Funkamateuren hinausgehen, sind nicht erforderlich. Die Bedienung von *Microsoft Windows* wird als bekannt vorausgesetzt.

---

**HINWEIS:** Herausragendes Alleinstellungsmerkmal von *HamVNAS* ist eine detaillierte, grafisch unterstützte **Verlustanalyse**, wie man sie in keinem anderen vergleichbaren Programm findet!

---

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*. Dabei sorgt die praxisgerechte mathematische Nachbildung von ohmschen und Streuverlusten für eine hohe Genauigkeit.

Ergebnis einer Schaltungssimulation mit *HamVNAS* sind folgende für den Funkamateur wichtigen Parameter: **Eingangsimpedanz**, **Übertragungsdämpfung** (Transmission), **Stehwellenverhältnis** (VSWR), **Rückflußdämpfung** (Return Loss). Auch **Spannungsmessungen** sind möglich. Die grafische Darstellung erfolgt als **Wobbelkurve** (Frequenzgang) und als **Smith-Diagramm**. Weiterhin können für jeden Frequenzpunkt die **S- oder Y-Vierpolparameter** angezeigt werden.

Im Synthesemodus von *HamVNAS* können die wichtigsten Antennen-Anpassungen (**L/C-Anpassungen** mit zwei Blindwiderständen, **Collinsfilter**, **T-Koppler**, **LDG- und SG-Koppler**, der **symmetrische Koppler BX-1200**, **Transformations- und Stichleitung**) unter Verwendung beliebiger Koax- und Bandkabel bzw. Hühnerleitern berechnet werden. Eingabewerte sind zum Beispiel die mit einem vektoriellen Antennenanalysator gemessenen Impedanzen.

### Systemvoraussetzungen

- PC/Laptop mit einer Bildschirmauflösung von mindestens **1440 x 900**<sup>1</sup>, die Bildlaufleisten erlauben aber auch die Verwendung von Monitoren geringerer Auflösung (z.B. 1366 x 768).
- **Windows Vista / 7 / 8 / 10**<sup>2</sup> (32Bit oder 64Bit)

---

**HINWEIS:** *HamVNAS* funktioniert **nicht** unter **Windows XP**!

---

- eine gute **optische Maus** (Touchpad ist weniger geeignet!)

---

<sup>1</sup> Moderne 17"-Notebooks haben in der Regel eine Auflösung von 1600 x 900.

<sup>2</sup> Für LINUX- oder MAC-Emulationen liegen noch keine Erfahrungen vor.

## Eine Installation ist nicht erforderlich!

- Freuen Sie sich auf ein übersichtliches "Progrämmchen", welches Registry und Festplatte nicht mit weiteren Einträgen und Bibliotheken vollstopft und das inkl. Handbuch nur ca. 2 MB Speicherplatz auf Ihrer Festplatte belegt!
- Entpacken Sie die Datei *HamVNAS.zip* in einem Ordner, für welchen Sie Schreib- und Leserechte haben, zum Beispiel *C:\Benutzer\IhrName\Afu*.
- Es entsteht der Ordner *\HamVNAS*, der folgende Dateien enthält:  
*HamVNAS.jwd*, *CircuitsDB.dat*, *SynthesisDB.ant* und *HandbuchHamVNAS.pdf*.

---

**HINWEIS:** Zusätzlich sind einige weitere *.dat*-Dateien vorhanden, z.B. *Übungen.dat*, die aber für die grundsätzliche Funktion des Programms nicht erforderlich sind.

---

- Benennen Sie die Datei *HamVNAS.jwd* um in *HamVNAS.exe* (rechte Maustaste: *Umbenennen*).
- Das Programm starten Sie per Doppelklick auf *HamVNAS.exe*.
- Falls (passiert nur beim allerersten Aufruf) eine Warnung vor möglicher Schadsoftware erscheint, klicken Sie auf "Weitere Informationen" und "Trotzdem ausführen" (meine Dateien sind virengeprüft!).


---

**HINWEIS:** Empfehlung: Stellen Sie eine Verknüpfung her (rechte Maustaste: *Verknüpfung erstellen*) und verschieben sie diese auf den Desktop, damit Sie das Programm von dort aus bequemer aufrufen können. Gleiches sollten Sie auch mit *HandbuchHamVNAS.pdf* tun.

---

- Da es keine Installation gibt, ist auch eine **Deinstallation** im klassischen Sinn nicht erforderlich, löschen Sie einfach das Verzeichnis *HamVNAS*.  
Nach dem Löschen hinterlässt das Programm keinerlei Spuren auf Ihrem PC!
- Um sich stressfrei in *HamVNAS* einarbeiten zu können empfiehlt es sich, einige relevante Seiten (7, 8, 9, 25, 26) der Bedienanleitung auszudrucken und neben den PC zu legen!

## Hilfsprogramme

Die Einsatzmöglichkeiten von *HamVNAS* werden durch einige nützliche Progrämmchen abgerundet, die auch in der DEMO-Version verfügbar sind und die Sie über den -Button erreichen, wie zum Beispiel *Eingangs- bzw. Abschlussimpedanz verlustbehafteter Kabel*, *Schwingkreis- und Spulenberechnungen*, *Serien-Parallel- und Stern-Dreieck-Transformationen*, *Dämpfungsglieder*, *Wissenschaftlicher Rechner*, *Umrechnung Y- in S-Parameter*, *Trafo und angezapfte Spule*....

## Registrierung


Ohne Registrierung ist die Funktionalität eingeschränkt (keine Änderung von elektrischen Parametern möglich).

Um die Demoversion von *HamVNAS* in eine Vollversion zu verwandeln, klicken Sie den

-Button und schicken die auf der Seite „Registrierung“ angezeigte *Programm-ID* per EMail an *dr.doberenz@gmail.com*.

Sie erhalten dann Ihren Registrierungsschlüssel zugesandt, den Sie in das entsprechende Feld eintragen:



Navigieren Sie zur ersten Seite (oder zu einer anderen Seite, die nicht schreibgeschützt ist) und klicken Sie im Hauptfenster (oben links) auf .

Schließen Sie *HamVNAS* über den -Button und starten Sie das Programm erneut. Die Kopfzeile des Hauptfensters verweist jetzt auf die mit Ihrem Rufzeichen registrierte Vollversion.

---

**HINWEIS:** Wenn Sie den *HamVNAS*-Ordner auf einen anderen PC oder auf einen anderen Datenträger (oder Stick) Ihres PCs verschieben, so ändert sich die Programm-ID und Sie brauchen einen weiteren Registrierungsschlüssel.

---

## Neuigkeiten der Version 1.3

Außer einigen kleineren Verbesserungen und Bugfixes habe ich folgende Ideen realisiert, wie sie von verschiedenen OMs an mich herangetragen wurden:

- Neben der Standard-Datenbank *CircuitsDB.dat* können jetzt auch weitere Schaltungsdatenbanken geladen werden (z.B. *Übungen.dat*). Die Auswahl erfolgt über die Registerkarte "Einstellungen".
- Wobbelschrittweite und Anzahl der Messpunkte werden nicht mehr direkt zugewiesen, sondern indirekt über "Auflösung normal" oder "Auflösung hoch".
- Anfangs-, Haupt- und Endfrequenz des Wobbelbereichs lassen sich auch über ein PopUp-Menü festlegen (Aufruf über rechte Maustaste).
- Auch Wobbelkurven für die Eingangsimpedanz (Real-, Imaginärteil und Betrag) können jetzt angezeigt werden (drei verschiedene Messbereiche).
- Ergänzung um weitere Beispiele, z.B. Zusammenspiel von *HamVNAS* mit dem Netzwerkanalysator *miniVNapro* oder Einsatz des symmetrischen Kopplers *BX-1200*.

## **Nobody is perfect**

... und so ist es auch bei diesem doch ziemlich umfangreichen Programm nicht ausgeschlossen, dass trotz ausgiebiger Tests hier und da doch noch versteckte Mängel sichtbar werden. Über Hinweise und Verbesserungsvorschläge zu *HamVNAS* freue ich mich!

Handbuch und Programm werden von mir ständig aktualisiert und auf meine Homepage [www.profdoberenz.de](http://www.profdoberenz.de) zum Download bereitgestellt.

---

**HINWEIS:** Einen neuen Registrierungsschlüssel für eine neue Version brauchen Sie in der Regel nur dann, wenn sich Ihr Datenträger geändert hat.

---

Viel Spaß und Erfolg beim Experimentieren wünscht Ihnen

Walter DL1JWD

*dr.doberenz@gmail.com*

## Inhaltsverzeichnis

Teil 1: Schaltungssimulation.....	7
Bedienoberfläche.....	7
Erläuterung der Bedienelemente.....	8
Einstellen der Fenstergröße.....	9
Übungsbeispiele.....	10
Übung 1: Experimente mit der Schaltungsbibliothek.....	10
Zwischen den Seiten navigieren.....	10
Schreibschutz ändern.....	11
Schaltung analysieren.....	11
Übung 2: Frequenzeingaben variieren.....	12
Schrittweite und Wobbelbereich ändern.....	13
Änderungen rückgängig machen oder dauerhaft übernehmen.....	13
Übung 3: Elektrische Parameter editieren.....	13
Parameter ändern.....	14
Übung 4: Schaltung im Designer bearbeiten.....	14
Schaltung, Bauelement oder Verbindung verschieben.....	14
Schaltung, Schaltungsausschnitt oder Bauelement kopieren.....	15
Bauelement, Verbindung oder Schaltungsausschnitt löschen.....	15
Übung 5: Editieren im Datengitter und Einstellungen ändern.....	16
Übung 6: Entwurf einer eigenen Schaltung.....	17
Schaltung zeichnen.....	17
Elektrische Parameter zuweisen.....	18
Schaltung testen.....	19
Übung 7: Zwei Diagramme vergleichen.....	19
Übung 8: Spannungen anzeigen.....	20
Weitere Beispiele zur Schaltungsanalyse.....	22
HamVNAS vs miniVNA.....	22
Transformator vs angezapfte Spule.....	23
Teil 2: Synthese und Verlustanalyse von Antennenanpassungen.....	25
Bedienoberfläche.....	25
Erläuterung der Bedienelemente.....	26
Synthesegitter.....	27
Spezifikation und Auswahl der Anpass-Schaltung.....	28
Übungsbeispiele.....	29
Übung 9: Durchführung einer Schaltungssynthese.....	29
Synthese vorbereiten.....	29
Anpass-Glied einfügen.....	30
Anpassung analysieren.....	31
Übung 10: Durchführung einer Verlustanalyse.....	32
Antennen-Ersatzschaltbild generieren.....	32
Verlustanalyse auswerten.....	32
Übung 11: Verlustanalyse bei Anpassung eines verkürzten Vertikalstrahlers.....	33
Übung 12: Automatik-Koppler direkt am Fußpunkt der Antenne.....	34
Übung 13: Anpassung eines endgespeisten Dipols mittels T-Koppler.....	36
Übung 14: Kamikaze eines Automatikkopplers.....	38
Übung 15 Anpassung einer Mobilfunkantenne an das 80m-Band.....	40
Übung 16: Anpassung einer Doppelzepp mit symmetrischem Antennenkoppler.....	41

Weitere Beispiele zu Schaltungssynthese und Verlustanalyse.....	44
HamVNAS vs Smith-Diagramm.....	44
Der SWV-Mythos.....	45
Länge des Feeders optimieren.....	47
Experimente mit Lautsprecherkabel-Dipol.....	47
Teil 3: Technische Grundlagen.....	49
Modellbibliothek.....	49
Generator- und Lastwiderstand.....	49
Ohm'scher Widerstand, Kapazität, Induktivität.....	50
Angezapfte Spulen, Übertrager.....	50
Koaxkabel, Bandkabel.....	51
Basisalgorithmen.....	51
Aufstellen der Netzwerkgleichungen.....	51
Lösen der Netzwerkgleichungen.....	52
Betriebsparameter.....	52
Spannungsverstärkung $V_u$ .....	52
Leistungsübertragung $V_p$ .....	52
Eingangsimpedanz $Z_E$ .....	53
Eingangsreflexionsfaktor RFE.....	53
Stehwellenverhältnis SWR.....	53
Rückflussdämpfung $R_{Loss}$ .....	53
Anhang.....	54
Hilfsprogramme.....	54
Schwingkreis.....	54
Luftspule.....	54
Kabel-Rechner.....	54
RF, SWV, $R_{Loss}$ .....	55
Dämpfungsglieder.....	55
Serien-Parallel-Transformation.....	55
Stern-Dreieck-Transformation.....	56
Y-S-Parameter-Transformation.....	56
Trafo vs angezapfte Spule.....	56
Formelrechner.....	56
Beispiel 1: Thomson'sche Schwingungsformel.....	56
Beispiel 2: Wellenwiderstand symmetrischer Zweidrahtleitungen.....	57
Beispiel 3: Strahlungswiderstand elektrisch kurzer Antennen.....	57
Problemlösungen.....	58
Literatur.....	60

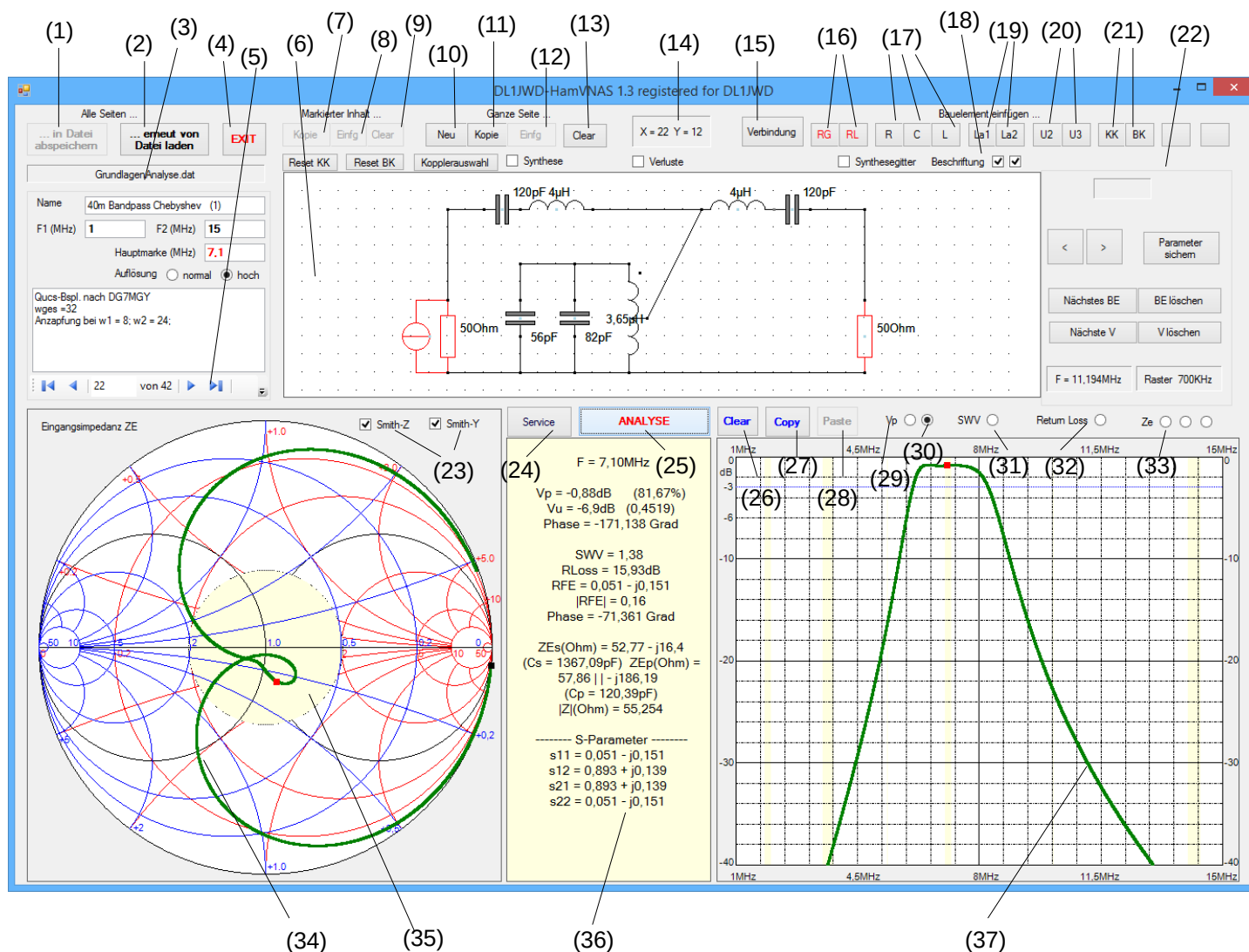
## Teil 1: Schaltungssimulation

Den Begriff "Schaltungssimulation" verwende ich gleichbedeutend mit "Schaltungsanalyse". Ziel ist ganz allgemein die Berechnung und Darstellung des Verhaltens eines vorgegebenen linearen elektrischen Netzwerks im Frequenzbereich.

### Bedienoberfläche

Die Abbildung zeigt das Hauptfenster von *HamVNAS*, wobei zunächst nur die für die Schaltungssimulation relevanten Bedienelemente referenziert sind:

- In der oberen Hälfte erfolgt der Datenbankzugriff, die Eingabe der Eckfrequenzen, der Schaltungsentwurf und die Zuweisung der elektrischen Parameter.
- Das frequenzabhängige Verhalten wird in der unteren Hälfte dargestellt, sowohl als Smith-Diagramm (links) als auch als Wobbelkurve (rechts).
- Für eine bestimmte Frequenz (Hauptfrequenzmarke) erfolgt die detaillierte Auflistung aller Betriebsparameter und weiterer Kenngrößen (Mitte untere Hälfte).



## Erläuterung der Bedienelemente

Nr	Bedienelement	Bedeutung
1	Button "... in Datei abspeichern"	... überschreibt die Datei <i>CircuitsDB.dat</i> mit dem Inhalt des Arbeitsspeichers und sichert somit alle Schaltungen dauerhaft. Der alte Inhalt von <i>CircuitsDB.dat</i> wird somit ersetzt.
2	Button "... erneut von Datei laden"	... füllt den Arbeitsspeicher mit dem Inhalt der Datei <i>CircuitsDB.dat</i> .
3	Tablett "Allgemeine Eingaben"	... der Bereich für die Eingabe allgemeiner Schaltungsparameter (Name, Anfangs- und Endfrequenz, Hauptfrequenzmarke, Anzahl Messpunkte, Schrittweite, Kommentar)
4	Button "EXIT"	... beendet das Programm. Falls nicht vorher abgespeichert wurde (1), gehen alle Änderungen verloren!
5	Navigator	... ermöglicht das Durchblättern aller Seiten des Arbeitsspeichers. Weiterhin sind die direkte Eingabe einer Schaltungsnummer sowie das Löschen einer bestimmten Seite möglich.
6	Designer	... die Zeichenfläche zum Entwurf und zur Darstellung der Schaltung.
7	Button "Kopie" (unter "Markierter Inhalt")	... kopiert einen bestimmter Schaltungsbereich, den Sie vorher mit der rechten Maustaste umrahmt haben, in die Zwischenablage.
8	Button "Einfüg" (unter "Markierter Inhalt")	... fügt den Inhalt der Zwischenablage zur aktuellen Schaltung hinzu.
9	Button "Clear" (unter "Markierter Inhalt")	... löscht den Der Inhalt der Zwischenablage.
10	Button "Neu"	... fügt eine neue leere Seite im Anschluss an die aktuelle Seite hinzu.
11	Button "Kopie" (unter "Ganze Seite")	... kopiert den kompletten Inhalt einer Seite in die Zwischenablage (dadurch entfällt das Einrahmen).
12	Button "Einfüg" (unter "Ganze Seite")	... fügt den Inhalt einer gesamten Seite aus der Zwischenablage in eine leere Seite ein.
13	Button "Clear" (unter "Ganze Seite")	... löscht den Inhalt des Designers (6).
14	Koordinatenanzeige	... zeigt die aktuelle Mausposition im Raster des Designers (6).
15	Button "Verbindung"	... schaltet den Designer in den Verbindungsmodus und ermöglicht so das Ziehen einer oder mehrerer Verbindungen.
16	Buttons "RG" und "RL"	... öffnet das Tablett "Bauelemente-Erzeuger" um dort einen Generator- oder einen Lastwiderstand zu erzeugen, zu drehen und zu spiegeln.
17	Buttons "R", "C" und "L"	... öffnet das Tablett "Bauelemente-Erzeuger" um dort einen ohm'schen Widerstand, eine Kapazität oder Induktivität zu erzeugen, zu drehen und zu spiegeln.
18	Kontrollkästchen "Beschriftung"	... ermöglichen vier unterschiedliche Arten, um die Bauelemente im Designer zu bezeichnen (erstes Häkchen = große oder kleine Schrift, zweites Häkchen = Bauelementetyp + Index oder Wert).
19	Buttons "La1" und "La2"	... öffnet das Tablett "Bauelemente-Erzeuger" um dort eine Induktivität mit zwei oder mit drei Anzapfungen zu erzeugen, zu drehen und zu spiegeln.
20	Buttons "U2" und "U3"	... öffnet das Tablett "Bauelemente-Erzeuger" um dort einen Übertrager mit zwei oder mit drei Wicklungen zu erzeugen, zu drehen und zu spiegeln.
21	Buttons "KK" oder "BK"	... öffnet das Tablett "Bauelemente-Erzeuger" um dort ein Koaxial- oder ein Bandkabel zu erzeugen, zu drehen und zu spiegeln..



22	Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen"	... der Bereich, in welchem Sie die Liste der Bauelemente durchfahren und deren elektrische Parameter anzeigen und editieren können. Ebenso können Sie die Verbindungsliste durchfahren. Das Tablett verdeckt das Tablett "Bauelemente-Erzeuger".
23	Kontrollkästchen "Smith-Z" und "Smith-Y"	... ermöglichen die Anzeige des Smith-Diagramm (34) in Impedanz- und/oder Admittanz-Ansicht. Fehlen beide Häkchen, so erscheint der Verlauf des Eingangs-Reflexionsfaktors.
24	Button "Service" / "Smith-Chart"	... öffnet den Service-Bereich bzw. kehrt zum Smith-Diagramm zurück..
25	Button "ANALYSE"	... startet die Schaltungsanalyse.
26	Button "Clear"	... löscht den Messwertspeicher.
27	Button "Copy"	... überträgt die aktuellen Analyseergebnisse in den Messwertspeicher.
28	Button "Paste"	... fügt die zwischengespeicherten Analyseergebnisse (blau) zu Vergleichszwecken in die aktuellen Smith- und Wobbeldiagramme (grün) ein.
29	Umschalter "Vp" (links)	... zeigt den Frequenzgang der Betriebsleistungsverstärkung (Transmission) im Bereich geringer Übertragungsverluste (0...-4dB) an.
30	Umschalter "Vp" (rechts)	... zeigt den Frequenzgang der Betriebsleistungsverstärkung (Transmission) im Bereich von 0...-40dB an.
31	Umschalter "SWV"	... zeigt den Frequenzgang des Stehwellenverhältnisses an.
32	Umschalter "Return Loss"	... zeigt den Frequenzgang der Rückflußdämpfung an.
33	Umschaltergruppe "Ze"	... zeigt den Frequenzgang der Eingangsimpedanz (Realteil, Imaginärteil, Betrag) wahlweise in drei verschiedenen Meßbereichen an (100Ω, 1kΩ, 10kΩ).
34	Smith-Diagramm	... die Art des Diagramms kann mit den Kontrollkästchen (23) umgeschaltet werden.
35	SWV = 2	... im Inneren dieses Kreises ist das eingangsseitige Stehwellenverhältnis kleiner als 2,0
36	Tablett "Betriebsparameter"	... listet alle Betriebsparameter, Y- und S-Parameter für einen Frequenzpunkt auf.
37	Wobbeldiagramme	... die Art des Diagramms kann mit den Umschaltern (29) ... (33) geändert werden.

---

**HINWEIS:** Alle Bedienelemente zeigen in der Regel auch kurze Erklärungen (Hints) an, wenn Sie mit der Maus länger als 5 Sekunden darauf verweilen. Nach einer gewissen Einarbeitungszeit nerven diese Hinweise und Sie können diese im "Service"-Bereich (24) abschalten.

---

## Einstellen der Fenstergröße

Nach Programmstart zoomen Sie das Fenster auf eine bequeme Größe, so wie es die Bildschirmauflösung Ihres Computers erlaubt. Dazu fassen Sie das Fenster mit der Maus am rechten oder unteren Rand an oder aber Sie benutzen die vertikale oder horizontale Bildlaufleiste zum Verschieben des Inhalts.

---

**HINWEIS:** Sollte das Hauptfenster von *HamVNAS* 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* den Wert *100% (Standard)* einzustellen.

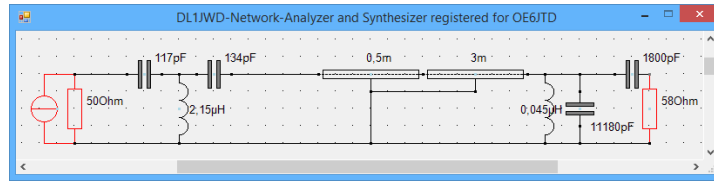
---



---

**HINWEIS:** 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:

---

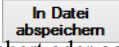
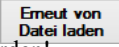


## Übungsbeispiele

Ein Beispiel sagt mehr als 1000 Worte! Bitte verzichten Sie deshalb auf planloses Herumprobieren und nehmen Sie sich etwas Zeit, um sich anhand der folgenden kleinen Übungen schrittweise in *HamVNAS* einzuarbeiten. Gewissermaßen en passant werden dabei die verschiedenen Bedienfunktionen, Bauelemente und Betriebsparameter erklärt.

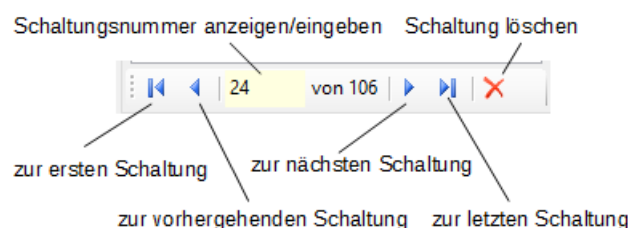
### Übung 1: Experimente mit der Schaltungsbibliothek


Die in der Datei *CircuitsDB.dat* gespeicherte Standard-Schaltungsbibliothek wird bei jedem Programmstart automatisch geladen. Im Auslieferungszustand sind aber auch weitere Schaltungsbibliotheken enthalten, die von Ihnen beliebig ergänzt werden können.

**HINWEIS:** Beachten Sie, dass mit den Buttons  (1) und  (2) immer nur die komplette Bibliothek, also keine einzelnen Schaltungen, gespeichert oder geladen werden!


### Zwischen den Seiten navigieren

- Blättern Sie mit den kleinen blauen Pfeiltasten des Navigators (5) in der Schaltungsbibliothek.

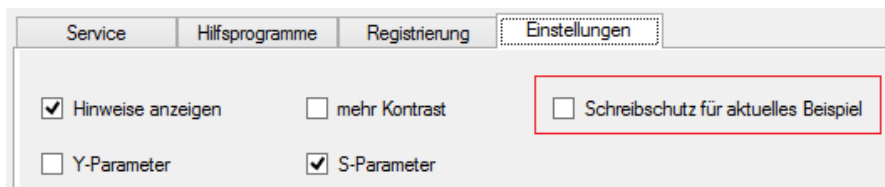





- Durch Klick auf das kleine rote Kreuz löschen Sie die aktuelle Seite, allerdings wird diese Änderung zunächst nur im Arbeitsspeicher wirksam, in die gerade aktuelle *\*.dat*-Datei gelangt sie erst nach Klick auf den Button  (1).
- Setzen Sie die gewünschten Häkchen ☐ ☒ (18) in der rechten oberen Ecke des Designers (6), so werden entweder die indizierten Bauelemente-Bezeichner oder aber die wichtigsten elektrischen Parameter in zwei möglichen Größen angezeigt.

## Schreibschutz ändern

Ist der Button  (1) deaktiviert, so ist das Beispiel schreibgeschützt. Sie können zwar beliebige Änderungen an der Schaltung vornehmen, diese Änderungen zunächst aber nicht dauerhaft speichern.

Wenn Sie den Schreibschutz aufheben wollen:




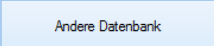
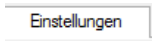
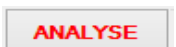
- Klicken Sie den  -Button (24) und entfernen Sie das Häkchen für den Schreibschutz.
- Klicken Sie den Button  (1).
- Wenn Sie eine Schaltung gegen Überschreiben sichern wollen, so setzen Sie erst das Häkchen, navigieren dann aber zunächst zu einer nicht schreibgeschützten Seite, da Sie erst dort den Button  klicken können.

---

**HINWEIS:** Aus programmtechnischen Gründen kann die **erste Seite** einer Schaltungsdatenbank weder gelöscht noch schreibgeschützt werden!

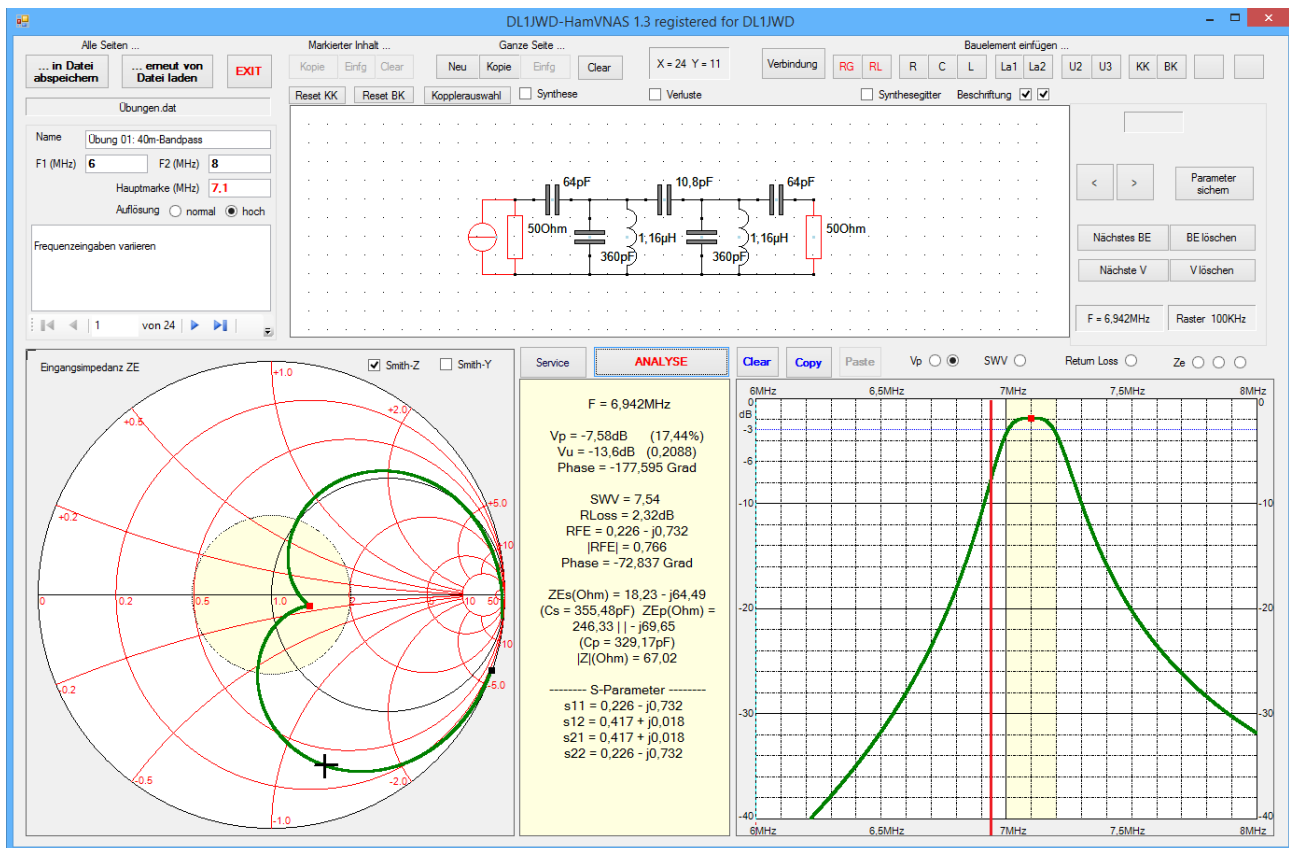
---

## Schaltung analysieren

- Klicken Sie  (24) und dann  auf der Registerkarte .
- Im Dateidialog wählen Sie die Datenbank *Übungen.dat* um einen 40m-Bandpass aufzurufen, der uns hier als Beispiel dienen soll.
- Klicken Sie  (25) und betrachten Sie die Wobbelkurven für Transmission ( $V_p$ ), SWV und Return Loss (**die Bereiche der Afu-Bänder sind gelb hinterlegt**). Um zwischen den Diagrammen zu wechseln, klicken Sie auf die kleinen runden Buttons (29)...(33) am oberen Rand des Wobbelgramms (37).
- Im Tablett "Betriebsparameter" (36) sehen Sie die Ergebnisse für die Frequenz 7,1MHz, das ist die im Tablett "Allgemeine Eingaben" (3) eingestellte rote Hauptmarke.
- Im Smith-Diagramm (34) ist die im Tablett "Allgemeine Eingaben" (3) eingetragene Anfangsfrequenz F1 mit einem kleinen schwarzen Viereck markiert. Die Hauptmarke erscheint hingegen, ebenso wie im Wobbelgramm (37), als kleines rotes Quadrat.
- Bewegen Sie die Maus horizontal im Wobbelgramm, so markiert eine senkrechte rote 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 der Ortskurve im Smith-Diagramm zeigen, erscheint dort ein schwarzes Kreuz und Sie können rechts im Wobbelndiagramm die entsprechende Frequenz anhand der senkrechten roten Markierungslinie ablesen.

**HINWEIS:** Beachten Sie dabei auch die sich synchron dazu ändernden Anzeigen im Tablett "Betriebsparameter" (36).

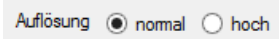


- Lassen Sie sich das Smith-Diagramm in Z- oder in Y-Form anzeigen, indem Sie die beiden Häkchen (23) entsprechend setzen. Fehlen beide Häkchen, so sehen Sie nur die Ortskurve des Reflexionsfaktors RF.
- In obigem Bild erkennen Sie bei 6,942MHz eine Leistungsübertragung (Transmission) Vp von -7,58dB, was einer Übertragungsdämpfung von 7,58dB entspricht, rechts daneben in Klammern steht der Wert 17,44%, d.h., nur dieser Teil der maximal verfügbaren Generator bzw. PA-Leistung wird im Abschlusswiderstand RL in Nutzenergie umgesetzt.

## Übung 2: Frequenzeingaben variieren

Das Tablett "Allgemeine Eingaben" (3) besteht aus insgesamt fünf Textfeldern, in welche Sie für jede Schaltung Namen, Anfangs- und Endfrequenz und eine Hauptfrequenzmarke eingeben. Außerdem ist Platz für einen mehrzeiligen Kommentar.

**HINWEIS:** Die Hauptfrequenzmarke dient lediglich zur Orientierung, meist legt man sie in die Mitte eines Amateurfunkbands.

Die beiden Umschalter  erlauben die Auswahl zwischen "normaler" und "hoher" Auflösung, d.h., zwischen 1000 oder 10000 Messpunkten. In den meisten Fällen genügt die normale Auflösung.

### Bitte beachten:

- Alle Frequenzen grundsätzlich in „**MHz**“ eingeben!
- Dezimaltrenner ist immer das **Komma** (deutsche Tastatur)!

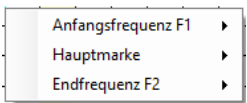
---

**HINWEIS:** Die hohe Auflösung ist z.B. beim Wobbeln steilflankiger Filter oder scharfer SWV-Verläufe erforderlich, sie kann aber bei umfangreicheren Schaltungen und langsamen PCs die Rechenzeit deutlich verlängern (verzögerte Reaktion der Anzeige auf Mausbewegungen im Wobbeldiagramm).

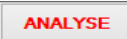
---

### Schrittweite und Wobbelbereich ändern

- Verändern Sie die Auflösung von "normal" in "hoch"
- Verringern Sie den Wobbelbereich auf 7 ... 7,2MHz
- Klicken Sie mit der **rechten** Maustaste in das Frequenzdiagramm, so erscheint ein

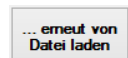

Kontextmenü , in welchem Sie auf direktem Weg Anfangs- und Endfrequenz, sowie die Hauptfrequenzmarke zuweisen können.

---

**HINWEIS:** Die Auswirkungen der vorgenommenen Änderungen sehen Sie erst dann, wenn Sie  geklickt haben!

---

### Änderungen rückgängig machen oder dauerhaft übernehmen

- Klicken Sie auf den Button  (2), so erscheinen wieder die ursprünglichen Einstellungen. Sollen aber die Änderungen endgültig auf die Festplatte geschrieben werden, so nehmen Sie den Button  (1).

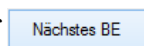
## Übung 3: Elektrische Parameter editieren

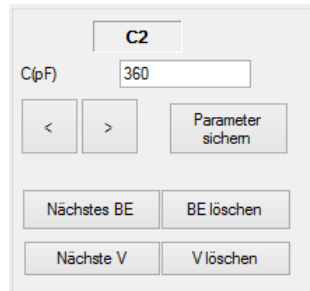
*HamVNAS* verwendet grundsätzlich die Maßeinheiten **MHz**, **μH**, **pF** und **Ohm**.

---

**HINWEIS:** Wenn Sie MHz, μH und pF als **KHz**, **mH** und **nF** interpretieren, so sind alle Analyse-Ergebnisse ebenfalls richtig! Parameter anzeigen

---

- Klicken Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) 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 in unserem Beispiel L1 und L2, die neben dem Wert in  $\mu\text{H}$  auch noch die Güte QL enthalten, so durchlaufen Sie die Parameterliste mit den Buttons und .
- Um die Parameter eines bestimmten Bauelements sofort anzuzeigen, klicken Sie im Designer mit der linken Maustaste in die Nähe des sensiblen blauen Punkts im Zentrum des Bauelements. Das so markierte Bauelement erscheint rot umrandet.

**HINWEIS:** Falls die Markierungen auf Ihrem Bildschirm zu schwach sind, klicken Sie (24) und setzen das Häkchen auf **mehr Kontrast**.

Um diese Änderung zu übernehmen, müssen Sie zunächst (1) klicken und das Programm über (4) verlassen und neu starten.

### Parameter ändern<sup>3</sup>

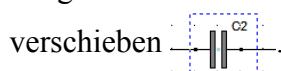
- Verringern Sie z.B. die Spulengüten L1 und L2 von 200 auf 60, indem Sie zuerst auf das Bauelement im Designer klicken (blauer Punkt). Danach stellen Sie mittels des Buttons den Parameter QL ein und ändern dessen Wert.
- Die Eingaben beenden Sie mit dem Button oder mittels ENTER-Taste.
- Analysieren Sie die Auswirkungen von Parameteränderungen auf  $V_p$ , SWR und  $R_{\text{Loss}}$ !

## Übung 4: Schaltung im Designer bearbeiten


Diese Übung zeigt, wie Sie im Designer (6) Änderungen am Schaltbild vornehmen können.

### Schaltung, Bauelement oder Verbindung 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 Technik 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

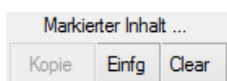


<sup>3</sup> In der Demo-Version ist diese Funktion gesperrt.

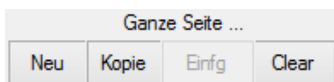
- Ziehen Sie den Rahmen um C2 einmal mit und einmal ohne Einschluss der zwei Bauelemente-Pins und beobachten Sie den Unterschied beim Verschieben!
- Dasselbe versuchen Sie beim Verschieben einer Verbindung, indem Sie den Rahmen sehr klein einmal nur um den Anfangs- oder nur um den Endpunkt  und ein anderes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

### Schaltung, Schaltungsausschnitt oder Bauelement kopieren

- Ziehen Sie mittels **rechter** Maustaste einen Rahmen um die Induktivität L1, klicken Sie unter "Markierter Inhalt..." auf den Button "Kopie" (7) und anschließend auf "Einfg" (8).



- Die kopierte Induktivität erscheint als L3 am linken Rand des Designers. Verschieben Sie L3 an die neue Position (mit rechter Maustaste einrahmen, mit linker Maustaste hineinklicken und ziehen).
- Um die komplette Schaltung auf eine neue Seite zu kopieren klicken Sie unter "Ganze Seite..." den Button "Kopie" (11). Wählen Sie nun den Button "Neu" (10) und schließlich "Einfg" (12).

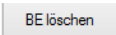


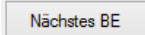
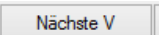


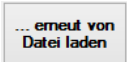

---

**HINWEIS:** Die gleiche Vorgehensweise gilt auch dann, wenn Sie eine komplette Schaltung in eine andere Datenbank übernehmen wollen (Kopieren => andere Datenbank öffnen => zu leerer Seite navigieren > Einfügen)!


---

### Bauelement, Verbindung oder Schaltungsausschnitt löschen

- Löschen Sie ein Bauelement, indem Sie zunächst im Designer (6) mit der linken Maustaste auf dessen blauen sensiblen Punkt klicken, sodass das Bauelement rot umrandet erscheint. Anschließend klicken Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) auf den Button  oder nehmen Sie die Entf-Taste der PC-Tastatur.
- Löschen Sie eine Verbindung, indem Sie diese im Designer (6) mit der linken Maustaste anklicken, sodass sie rot markiert ist. Anschließend klicken Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) auf  oder sie nehmen die Entf-Taste der PC-Tastatur.
- Löschen können Sie auch, indem Sie mittels rechter Maustaste einen Rahmen um eine Verbindung, ein Bauelement oder einen Schaltungsausschnitt aufziehen und dann im Bereich "Markierter Inhalt..." den Button  (9) klicken.
- Falls sich ein Bauelement oder eine Verbindung durch Anklicken nicht markieren lässt, so klicken Sie den Button  oder  so lange, bis die Markierung zum entsprechenden Bauelement bzw. zur Verbindung gewandert ist.

- Machen Sie mit dem Button  (2) die Änderungen wieder rückgängig.

## Übung 5: Editieren im Datengitter und Einstellungen ändern

Den kompletten Zugriff auf die aktuelle Schaltung und eine übersichtliche Auflistung aller Bauelementparameter erhalten Sie nach Öffnen des Service-Bereichs über den  -Button (24). Die elektrischen und topologischen Parameter sind in drei Datengittern enthalten:

- Bauelementliste,
- Verbindungsliste,
- Parameterliste.

**HINWEIS:** Editieren können Sie nur die Parameterliste!

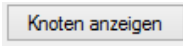
	Typ	Index	X0	Y0	Dir	SF	J	K	L	M	N
	C	1	240	80	E	1	3	4	-1	-1	-1
	C	2	280	120	S	1	4	1	-1	-1	-1
	L	1	320	120	S	1	4	1	-1	-1	-1
	C	3	480	80	E	1	5	2	-1	-1	-1
	RL	0	520	120	E	1	2	1	-1	-1	-1
	L	2	440	120	S	1	5	1	-1	-1	-1
	C	4	260	80	E	1	5	4	1	1	1

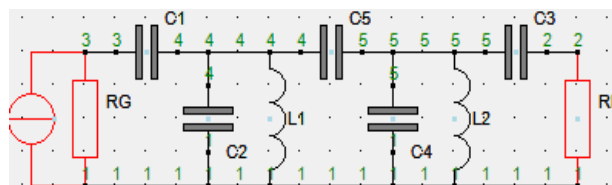
  


	PName	PValue	Comment
	L(μH)	1.16	
	QL	100	
*			

	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.
- Der Button  ermöglicht eine Kontrolle darüber, ob die integrierte Topologieanalyse 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). Diese Schaltung hat z.B. 5 Knoten:

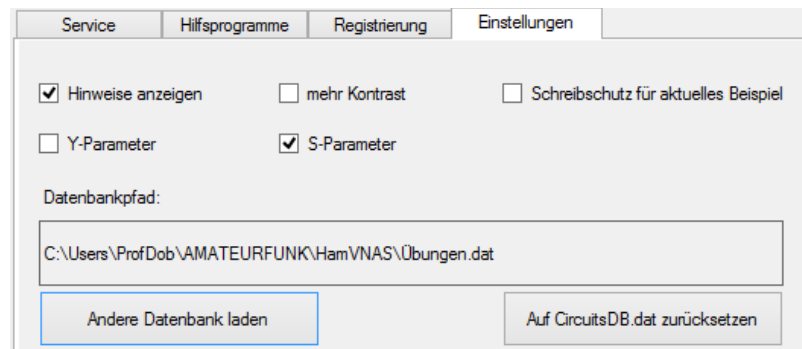


- Auf der Registerseite "Einstellungen", die Sie ebenfalls über den  -Button erreichen, haben Sie die Möglichkeit, die lästigen Hinweise (Hints) auszublenden, die immer dann erscheinen, wenn Sie mit der Maus etwas länger auf ein bestimmtes Bedienelement des Hauptfensters zeigen. Auch können Sie entscheiden, ob die Y- und/oder S-Parameter im Tablett "Betriebsparameter" (36) angezeigt werden sollen.

**HINWEIS:** Das Zuweisen des Kontrasts erfordert ein  mit nachfolgendem  und Neustart des Programms!

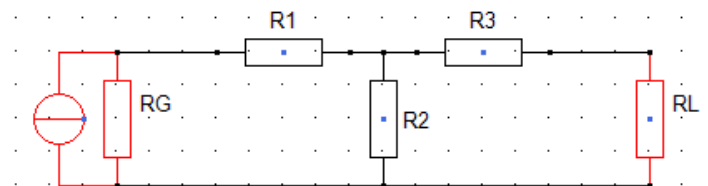


- Sie können hier an Stelle der Standarddatei *CircuitsDB.dat* auch eine andere Schaltungsdatei laden (z.B. *Übungen.dat*):



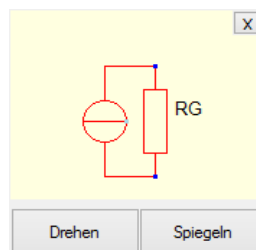
## Übung 6: Entwurf einer eigenen Schaltung

Der Designer (6) bietet eine in 40 x 12 Rasterpunkte aufgeteilte Fläche, auf welcher Sie Ihre Schaltung ähnlich wie mit jedem anderen Zeichenprogramm entwerfen. Das soll am Beispiel eines 3dB-Dämpfungsglieds erklärt werden:



### Schaltung zeichnen

- Mit dem Navigator (5) blättern Sie zu einer leeren Seite oder aber Sie fügen mit dem Button "Neu" (10) eine leere Seite ein.
- Tragen Sie im Tablett "Allgemeine Eingaben" (3) als Namen z.B. „3dB-Dämpfungsglied“ ein. Die übrigen Felder mit den Frequenzangaben können auf ihren Standardwerten bleiben.



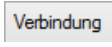


- Klicken Sie im Bauelemente-Menü auf den Button **RG** (16), und das entsprechende Symbol wird Ihnen auf dem Tablett "Bauelemente-Erzeuger" serviert. Das Tablett "Bauelemente-Erzeuger" verdeckt jetzt das Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen"(22):
- Drehen und spiegeln Sie das Bauelement auf dem Tablett, um es in die gewünschte Lage zu bringen, später (nach Absetzen im Designer) gibt es diese Möglichkeit nicht mehr!

---

**HINWEIS:** Achten Sie auch auf die veränderbare Position der **Beschriftung** des Bauelements!

---

- Ziehen Sie das Bauelement nicht direkt vom Tablett in den Designer, sondern klicken Sie erst mit der **linken** Maustaste auf den Designer 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 Bauelemente-Menü auf den Button  (17), und setzen Sie auf analoge Weise den Widerstand R1 im Designer ab. Wiederholen Sie die Prozedur mit R2 und R3.
- Klicken Sie auf den Button  (16), um den Lastwiderstand RL hinzuzufügen.
- Klicken Sie auf den Button  (15) und danach im Designer mit der linken Maustaste auf den Startpunkt der Verbindung (das untere Pin von RG).
- Bei gedrückt gehaltener **linker** Maustaste 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).

---

**HINWEIS:** Wollen Sie Drehrichtung oder Spiegelung eines Bauelements korrigieren, so müssen Sie das Bauelement erst löschen und dann neu erzeugen und 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.

---



---

**HINWEIS:** Wenn Sie mit der linken Maustaste auf eine freie Stelle im Designer klicken wird die gesamte Schaltung neu aus dem Speicher aufgebaut (empfohlen als Ausweg aus "verfahrenen" Situationen).

---

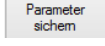
### Elektrische Parameter zuweisen

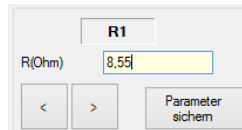
- Klicken Sie mit der linken Maustaste in die Nähe des sensiblen (blauen) Punkts von R1. Ist das Bauelement markiert, so erscheint es rot umrandet.

---

**HINWEIS:** Falls die Markierungen zu schwach sind, klicken Sie  (24) und setzen das Häkchen ☒ **mehr Kontrast** .

---

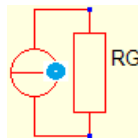
- Im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) geben Sie für „R(Ohm)“ den Wert 8,55 ein (Dezimaltrenner ist das **Komma!**). Bestätigen Sie die Eingabe durch Klick auf den Button  oder mit der ENTER-Taste der PC-Tastatur.



- Wiederholen Sie die gleiche Prozedur für R2 und R3, denen Sie die Ohm-Werte 141,93 und 8,55 zuweisen.

**HINWEIS:** Ein kleines Programm zur Berechnung von Dämpfungsgliedern erreichen Sie über [Service](#) (24).

- RG und RL haben standardmäßig bereits den Wert  $50\Omega$ , sodass Sie in unserem Beispiel nichts einzugeben brauchen. Der sensitive Punkt von RG liegt nicht direkt auf RG, sondern auf dem inneren Rand des Stromquellen-Symbols!



### Schaltung testen

Da die Schaltung unseres Beispiels nur ohm'sche Widerstände enthält, sind die Frequenzeingaben im Tablett "Allgemeine Eingaben" (3) ohne Bedeutung.

- Klicken Sie auf den Button [ANALYSE](#) (25) und betrachten Sie die Ausgaben im Smith-Diagramm (34). Der einzelne Punkt exakt im Zentrum bedeutet eine reelle Eingangs-impedanz von  $50\Omega$  (Eingangsreflexionsfaktor  $R_F = 0$ ).
- Das Wobbelndiagramm (37) für  $V_p$  ist in zwei unterschiedlichen Auflösungen verfügbar: 0 ... -40dB (30) und 0...-4dB (29). Die 3dB-Linie markiert den Wert, bei dem nur noch die Hälfte der maximal verfügbaren Generatorleistung am Lastwiderstand RL umgesetzt wird.
- Betrachten Sie das SWR-Diagramm (31). Ideal ist der Wert 1, d.h., keine reflektierte Welle am Eingang.
- Bewegen Sie die Maus (ohne zu klicken!) horizontal im Wobbelndiagramm, so erscheinen im Tablett "Betriebsparameter" (36) die zur angezeigten Frequenz gehörenden Parameter.

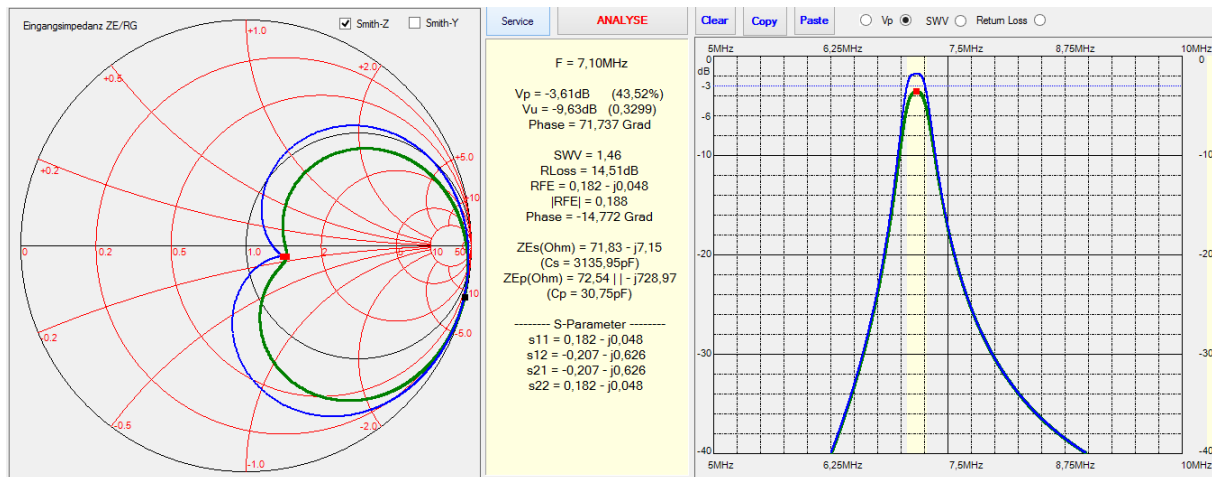
### Übung 7: Zwei Diagramme vergleichen

Um die Auswirkungen von Parameteränderungen anschaulich darzustellen, kann man mit Hilfe des Messwertspeichers das aktuelle mit dem gespeicherten Diagramm überlagern.

Am Beispiel unseres 40m-Bandpasses wollen wir feststellen, wie sich die Übertragungseigenschaften ändern, wenn wir schlechtere Spulen einsetzen ( $Q_L = 100$  anstatt  $Q_L = 200$ ).

- Klicken Sie auf den Button [ANALYSE](#) (25) um die Wobbelkurve der Leistungsverstärkung  $V_p$  für  $Q_L = 200$  anzuzeigen.
- Klicken Sie auf den Button [Copy](#) (27) um die Kurve in die Zwischenablage zu kopieren.
- Klicken Sie im Designer (6) auf L1 und ändern Sie die Spulengüte  $Q_L$  auf den Wert 100 (siehe Ü3). Gleiches wiederholen Sie für L2.
- Klicken Sie wieder auf den Button [ANALYSE](#) .

- Mit Klick auf den Button **Paste** (28) fügen Sie die zwischengespeicherte Kurve hinzu.
- Zwecks Unterscheidung von der originalen Kurve (grün) ist die eingefügte Kurve blau.
- Der Vergleich beider Orts- und Wobbelkurven zeigt bei höherwertigen Spulen nur 1,89dB Durchgangsdämpfung (64,78% der maximal verfügbaren Generatorleistung werden in RL umgesetzt), während es sonst 3,61dB (43,52% ) sind. Der Einfluss der Spulengüte auf die Weitabselektion bleibt hingegen vernachlässigbar.



**HINWEIS:** **Paste** funktioniert nur **nach** dem Navigieren zu einer anderen Schaltung im Anschluss an **ANALYSE** !

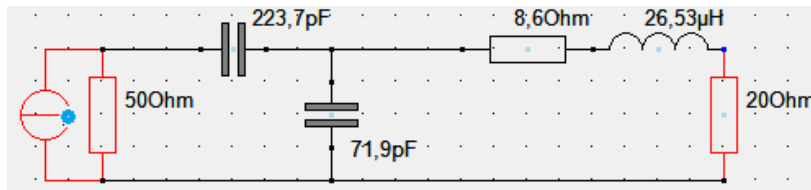
**HINWEIS:** Sie können durch Start mehrerer Instanzen von *HamVNAS* auch mehrere Programmfenster gleichzeitig öffnen und die Ergebnisse direkt vergleichen. Wenn alle Instanzen auf die gleiche Schaltungsbibliothek zugreifen, sind die in einer beliebigen Programminstanz vorgenommenen Änderungen nach Klick auf den Button **erneut von Datei laden** (2) auch in der anderen Programminstanz sichtbar.

## Übung 8: Spannungen anzeigen

Obwohl *HamVNAS* auf direktem Weg nur die Betriebsparameter berechnet, lassen sich indirekt auch Spannungen bestimmen. Ermöglicht wird dies dadurch, dass dem Generatorwiderstand  $R_G$  ein zweiter Parameter zugewiesen werden kann: die maximale mögliche Ausgangsleistung  $P_{max}$ .

In unserem Beispiel soll die Spannung am 20Ohm-Lastwiderstand bei 1,8MHz ermittelt werden:

- Navigieren Sie in der Datenbank *Übungen.dat* zur folgenden Schaltung:



- Klicken Sie auf den sensiblen Punkt des Generatorwiderstands  $R_G$ . Dieser Punkt (oben übertrieben hervorgehoben) befindet sich immer auf dem inneren Halbkreis des Stromquellensymbols!
- Im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) tragen Sie für  $P_{max}$  eine Leistung von 100 Watt ein und sichern diesen Parameter:

- Klicken Sie auf den Button **ANALYSE** (25) und im unteren Teil des Tablett "Betriebsparameter" (36) sehen Sie, dass an  $R_L$  eine Effektivspannung von 31,73V anliegt (weiterhin werden Ausgangsleistung und Leerlaufspannung des Generators (z.B. PA) angezeigt:

$P_{out} = 50,34\text{Watt}$   
 $U_o = 141,42\text{V}$   
 $U_{out} = 31,73\text{V}$

---

**HINWEIS:** Über einen kleinen Umweg lassen sich auch Spannungen zwischen beliebigen Punkten der Schaltung "messen". Dazu ersetzen Sie den Lastwiderstand  $R_L$  temporär durch einen gleichgroßen ohm'schen Widerstand  $R$  und platzieren ein neues und relativ hochohmiges  $R_L$  (das "Messinstrument" mit dem "Innenwiderstand  $R_L$ ") zwischen beiden gewünschten Messpunkten.

---

## Weitere Beispiele zur Schaltungsanalyse

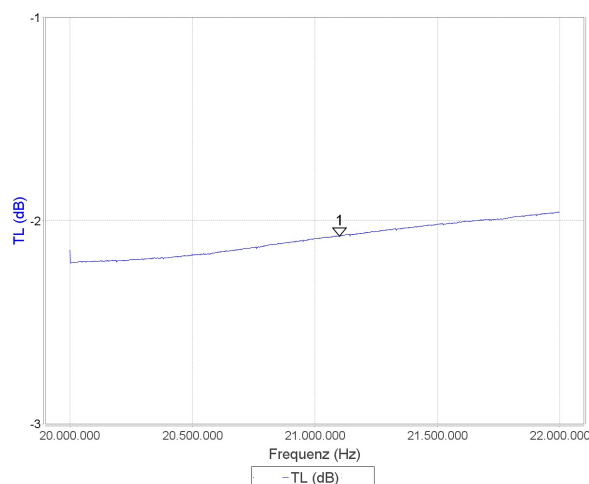
Im Folgenden möchte ich einige interessante Anwendungsfälle diskutieren, die von *HamVNAS*-Nutzern an mich herangetragen wurden.

### HamVNAS vs miniVNA

Ein OM wies mich darauf hin, dass die von mir in der Zeitschrift CQ DL 3/2017 mit *HamVNAS* ermittelte Dämpfung 13,5dB/100m bei 10MHz für Lautsprecherkabel FL 2x0,75 nicht korrekt sei, die Dämpfung sei in Wahrheit das drei- bis vierfache höher, das Kabel demnach für Kurzweile völlig unbrauchbar!

Der OM bezog sich auf Messungen der Transmission mit dem Netzwerkanalysator *miniVNA pro*<sup>4</sup>, Messobjekt war ein 3,3m langes Kabelstück.

Das vom OM beigefügte Protokoll belegte tatsächlich bei 21,1MHz eine Dämpfung von -2,08dB anstatt der für das kurze Stück zu erwartenden nur -0,62dB:



1,46dB schlechter als erwartet, wo liegt der Fehler?

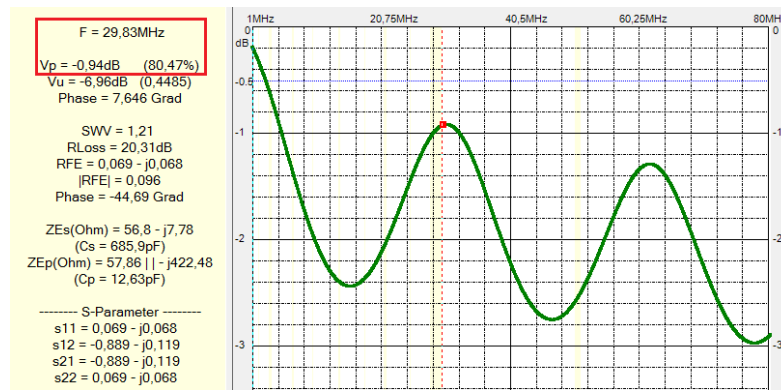
Ich habe die Messung mit einem *miniVNAPro* an einem Kabelstück gleicher Länge (3,3m) wiederholt.

Um die Grunddämpfung möglichst genau zu ermitteln, erfolgte aber die Messung nicht bei einer beliebigen Frequenz, sondern bei der ersten  $\lambda/2$ -Resonanz (29,44MHz), als Resultat erhielt ich die Transmission TL (dB) = 0,94.

Nun habe ich die Messanordnung mit *HamVNAS* simuliert und (ebenfalls auf der  $\lambda/2$ -Resonanz) den Parameter  $a(\text{dB})/100\text{m}$  schrittweise solange variiert, bis sich etwa die gleiche Transmission wie beim *miniVNA* ergab ( $v_p=0,94$ ).

Das Ergebnis  $a = 13\text{dB}/100\text{m}$  bei 10MHz bestätigte den von mir in CQ DL propagierten Wert.

<sup>4</sup> Das Gerät wird von der Firma WiMo angeboten.



Zur Umrechnung auf die Frequenz 21,1MHz und eine Länge von 3,3m kann ich den im Zubehör von *HamVNAS* enthaltenen Kabelrechner empfehlen:



### Fazit:

Es handelte sich weder um einen Mess- noch Rechenfehler, sondern um einen Denkfehler des OMs, denn alle Transmissionsmessungen mit dem *miniVNA* basieren auf dessen 50Ω-System und Messungen der Kabeldämpfung entsprechen deshalb nur für 50Ω-Kabel exakt der Grunddämpfung, wie sie z.B. für handelsübliche Kabel im Katalog ausgewiesen ist.

Das gemessene Lautsprecherkabel hat aber einen Wellenwiderstand von 102Ω, aufgrund dieser Fehlanpassung bilden sich stehende Wellen, die für die 1,46dB-Zusatzdämpfung verantwortlich sind.

Der *miniVNAS* ist deshalb für die direkte Ermittlung der Grunddämpfung von Bandkabeln völlig ungeeignet, da die SWV-bedingten Zusatzverluste das Resultat erheblich verfälschen.

Allerdings kann man das Ergebnis mit dem Programm *HamVNAS* iterativ korrigieren.

---

**HINWEIS:** Der *miniVNA* bietet auch die Möglichkeit, die Kabelverluste anstatt einer Transmissions- auf Basis einer Reflexionsmessung zu ermitteln, was aber ebenfalls nur für 50Ω-Kabel zu brauchbaren Ergebnissen führt.

---

## Transformator vs angezapfte Spule

Wie kann man den Resonanzwiderstand eines endgespeisten horizontalen Halbwellenstrahlers (ca. 2500Ω) auf 50Ω heruntertransformieren, sodass eine möglichst verlustarme Anpassung im Bereich von 3...30MHz gewährleistet ist?

Im Unterschied zum Leitungstransformator lassen sich mit einem normalen Trafo beliebige Übersetzungsverhältnisse realisieren.

Je tiefer die niedrigste Arbeitsfrequenz, desto höher muss die Primärinduktivität sein.

Wicklungskapazität und Streuinduktivitäten beeinflussen die obere Grenzfrequenz erheblich, sodass die Bandbreite gegenüber einem Leitungstransformator deutlich eingeschränkt ist.

Die erforderliche Streuarmut, wie sie das Trafomodell von *HamVNAS* mit dem Koppelfaktor  $k$  nachbildet, erreicht man in der Praxis durch den Einsatz eines Ringkerns.

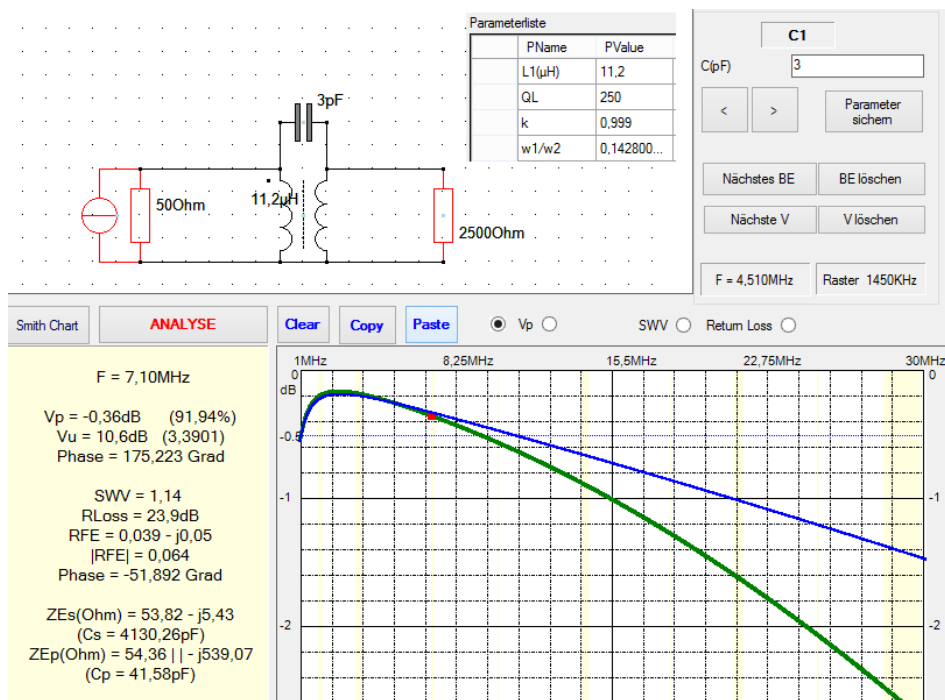
Das erforderliche Übersetzungsverhältnis:

$$w_1:w_2 = \sqrt{\frac{R_G}{R_A}} = \sqrt{\frac{50}{2500}} = 1:7 = 0,1428$$

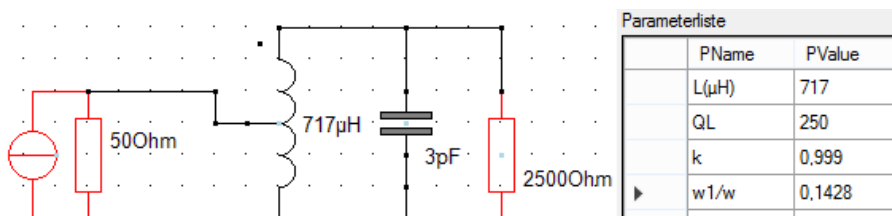
Nach /9/ gilt für die Mindestinduktivität der Primärwicklung für ein  $SWR < 1,1$  :

$$L1[\mu H] \geq 1,59 * R_G[\Omega] / f_{min}[MHz] = 1,59 * 50 / 7,1 = 11,2\mu H$$

Hier die Simulation mit  $QL=250$ ,  $k=0,999$  und einer angenommenen Wicklungskapazität  $C=3pF$  (die blaue Kurve aus der Zwischenablage gilt für  $C=1pF$ ):



Für eine alternative Realisierung mittels angezapfter Spule kann man das Hilfsprogramm „Trafo vs angezapfte Spule“ im [Service](#)-Bereich von *HamVNAS* verwenden:



Wie die Simulation bestätigt, ist das Übertragungsverhalten identisch zum normalen Trafo.

### Fazit:

Durch „Spielen“ mit den Parametern von Primärinduktivität, Güte des Kerns, Wicklungskapazität und Streuverlusten lässt sich die beste Kompromißlösung für den Anpassungstrafo finden. Grundsätzlich sollten Ringkerne hoher Güte eingesetzt werden und Anfang und Ende einer Wicklung so weit wie möglich voneinander entfernt liegen.



## Teil 2: Synthese und Verlustanalyse von Antennenanpassungen

Im Unterschied zur Schaltungs-Analyse, die mit beliebig angeordneten Schaltelementen funktioniert, beschränken sich Synthese und Verlustanalyse auf Schaltungen, deren Struktur gewissen zusätzlichen Regeln unterliegt (z.B. muss sie in das Synthesegitter passen, s.u.).

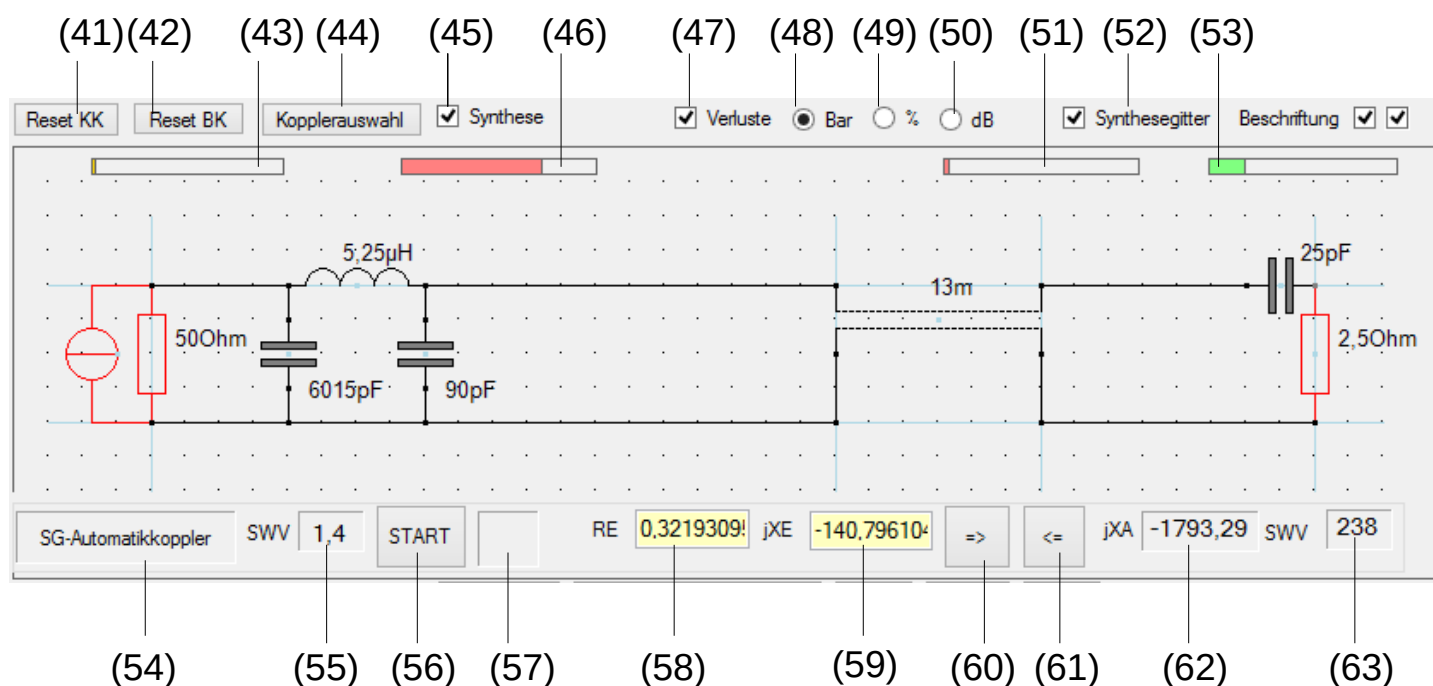
**HINWEIS:** Auch im Synthesemodus sind parallel alle Analysefunktionen verfügbar. Beginnen Sie mit der Schaltungs-Synthese und Verlustanalyse aber erst dann, wenn Sie alle Übungen in Teil 1 durchgeführt und verstanden haben!

**HINWEIS:** Da das Breitbandverhalten wegen des festen Antennen-Ersatzschaltbilds nur ungenau simuliert werden kann, sollte insbesondere bei schmalbandigen Antennen der Wobbelbereich mit F1 und F2 entsprechend eingengt werden.

**HINWEIS:** Um eigene Antennenanpassungen zu berechnen und in der Praxis zu überprüfen sollten Sie über einen Antennenanalysator (VNA) verfügen, der nicht nur das SWV anzeigt, sondern der neben dem Realteil der Impedanz auch noch den Blindanteil vorzeichenrichtig(!) messen kann (zum Beispiel AA-54 von *Rig Expert* oder *miniVNApro* von *mini RADIO SOLUTIONS*).

### Bedienoberfläche

Die Abbildung zeigt alle für den Synthese und Verlustanalyse relevanten Bedienelemente, wie sie oberhalb des Designers sichtbar sind bzw. in der Syntheseleiste (am unteren Rand) bedarfsweise eingeblendet werden können:



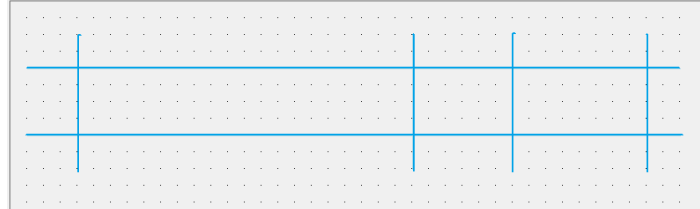
## Erläuterung der Bedienelemente

Nr	Bedienelement	Bedeutung
41	Button "Reset KK"	... löscht den Designer und erzeugt eine Grundschialtung zur Antennenanpassung unter Verwendung von Koaxkabel. Die Daten des Koaxkabels müssen Sie vorher im Formular "Spezifikation für Koppler-Schaltung" (44) einstellen.
42	Button "Reset BK"	... löscht den Designer und erzeugt eine Grundschialtung zur Antennenanpassung unter Verwendung von Bandkabel. Die Daten des Bandkabels müssen Sie vorher im Formular "Spezifikation für Koppler-Schaltung" (44) einstellen.
43	Balkendiagramm "Anpassungsverluste"	... der orangene Balken zeigt die Verluste, wie sie durch Fehlanpassung des Generators (der PA) an die Eingangsimpedanz des Kopplers entstehen.
44	Button "Kopplerauswahl"	... öffnet das Formular "Spezifikation für Koppler-Schaltung", in welchem Sie den Typ der Anpassung und das zu verwendende Kabel festlegen.
45	Kontrollbox "Synthese"	... blendet die Syntheseleiste am unteren Rand des Designers ein und ermöglicht damit das vollautomatische Erzeugen des Antennen-Ersatzschaltbilds und der Anpass-Schaltung.
46	Balkendiagramm "Verluste im Koppler"	... der rote Balken zeigt die Verluste, wie sie in der Anpass-Schaltung (der Bereich zwischen Generatorausgang und Eingang des Speisekabels) auftreten.
47	Kontrollbox "Verluste"	... berechnet die einzelnen Verlustanteile sowie die am Lastwiderstand umgesetzte Leistung (Transmission) und zeigt diese als Balkendiagramm, in Prozenten oder in dB an (alles bezogen auf die maximal verfügbare Generator- bzw. PA-Leistung).
48	Optionsknopf "Bar"	... aktiviert die Verlustanzeige als Balkendiagramme.
49	Optionsknopf "%"	... aktiviert die Verlustanzeige in Prozenten.
50	Optionsknopf "dB"	... aktiviert die Verlustanzeige in Dezibel(dB).
51	Balkendiagramm "Verluste im Kabel"	.... der rote Balken zeigt die Verluste, wie sie zwischen Eingang des Speisekabels und Antenne auftreten.
52	Kontrollbox "Synthesegitter"	... blendet das Synthesegitter ein oder aus. Dieses Gitter dient der Orientierung über die exakte Platzierung von RG, RL und Speisekabel im Synthesemodus.
53	Balkendiagramm "Abgegebene Nutzleistung"	... der grüne Balken zeigt das Verhältnis von in RL abgegebener zu maximal verfügbarer Generator- bzw. PA-Leistung (Transmission).
54	Anzeigefeld "Aktuelle Kopplerschaltung"	... zeigt den im Formular "Spezifikation für Koppler-Schaltung" festgelegten Typ der Anpass-Schaltung.
55	Anzeigefeld "SWV"	... zeigt nach Klick auf "ANALYSE"-Button (25) das Stehwellenverhältnis zwischen RG und Koppler an.
56	Button "START"	... startet das automatische Erzeugen der Anpass-Schaltung (bei mehreren Varianten muss mehrmals hintereinander geklickt werden).
57	Anzeigefeld "Variante"	... zeigt die Nummer der Variante, wenn Anpass-Schaltungen mehrere Varianten ermöglichen.
58	Editierfeld "RE"	... für Eingabe / Anzeige des Realteils der Eingangsimpedanz des Speisekabels (Ohm).
59	Editierfeld "jXE"	... für Eingabe / Anzeige des Blindanteils der Eingangsimpedanz des Speisekabels (Ohm).
60	Button "Vorwärts"	... startet Berechnung und Neuzeichnen des Antennen-Ersatzschaltbildes auf Basis von RE und XE sowie der Kabelparameter.
61	Button "Rückwärts"	... startet Berechnung von RE und XE auf Basis des Antennen-Ersatzschaltbilds sowie der Kabelparameter.
62	Anzeigefeld "jXA"	... zeigt den Blindanteil der Antennen-Fußpunktimpedanz (Ohm).
63	Anzeigefeld "SWV"	... zeigt das Stehwellenverhältnis zwischen Speisekabel und Antenne.

## Synthesegitter

Im Unterschied zur normalen Schaltungsanalyse bzw. -simulation mit *HamVNAS* müssen für Synthese und Verlustanalyse die Schaltelemente im Designer in einem vorgegebenem „Synthesegitter“ positioniert werden, anderenfalls erscheint eine Fehlermeldung.

Die dünnen blauen Linien (in folgender Abbildung übertrieben hervorgehoben) markieren die Lage von Generator- und Lastwiderstand sowie Speisekabel:



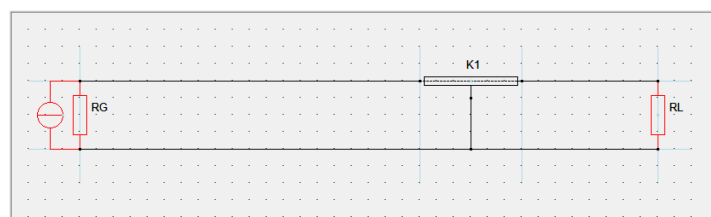
**HINWEIS:** Das Synthesegitter können Sie mit ☒ Synthesegitter (52) ein- und ausblenden.

Mit **Kopplerauswahl** (44) öffnen Sie das Formular "Spezifikation für Koppler-Schaltung", in welchem Sie zunächst den von Ihnen favorisierten Typ für Koax- und Bandkabel markieren:

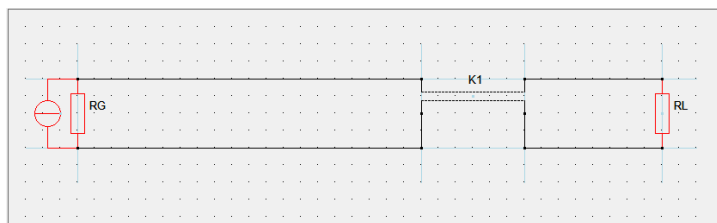
**HINWEIS:** Bei allen Kabeltypen bezieht sich der Parameter **a(dB/100m)** auf die Grunddämpfung bei der Frequenz **10MHz!**

(1) Koaxkabel					
	Typ	Zw	VF	dB	Comment
	RG 58	50	0,66	5	
▶	RG 213	50	0,66	2,2	
	Aircom Plus	50	0,85	1,9	
	Aircom 10	50	0,87	1,2	
	Aircell 5	50	0,82	2,95	Abmessungen wie RG58
	RG-316U	50	0,7	8,5	AD = 2,5mm!, zur Bewicklung von Ringkernen für Strombalk
* < >					
(2) Bandkabel					
	Typ	Zw	VF	dB	Comment
	Ltspr.-Kabel einfach	102	0,68	13	FL 2 x 0,75, gemessen nach Methode von DL1JWD
	Ltspr.-Kabel doppelt	58	0,67	17,5	2xFL 2 x 0,75, gemessen nach Methode von DL1JWD
	Bogner-Kabel	290	0,8	1,08	gemessen nach Methode von DL4AAE
	Wireman CQ552 flex	285	0,813	1,09	gemessen nach Methode von DL4AAE
▶	Wireman CQ553 flex	392	0,891	0,74	gemessen nach Methode von DL4AAE
	Hühnerleiter	600	0,95	0,01	nach DG0SA
* < >					

Mit Klick auf den Button **Reset KK** (41) können Sie sich nun eine in das Synthesegitter passende Basisschaltung unter Verwendung von Koaxkabel automatisch erzeugen lassen:



Wollen Sie eine symmetrische Leitung verwenden, so erzeugen Sie die entsprechende Basisschaltung mit dem Button **Reset BK** (42):



## Spezifikation und Auswahl der Anpass-Schaltung

Nach **Kopplerauswahl** (44) öffnet sich das Formular „Einstellungen zur Antennenanpassung“. Im Datengitter „Schaltungstyp“ legen Sie das konkrete Anpassungs-Netzwerk fest:

Spezifikation für Koppler-Schaltung

Schaltungstyp	Nr	Name	Comment
	0	Kein Koppler	ohne Anpassung
	1	LC-Halbglied verlustfrei	max. vier mögliche Varianten
	2	Collinsfilter verlustfrei	Peuker Formeln, ohne QL
	3	Handabgestimmter T-Koppler	mit QL, Auswahl in Liste 3 (rechts)
	4	Pi-Automatikkoppler	mit QL, Auswahl in Liste 4 (rechts)
	5	L-Automatikkoppler + LC-Halbglied	mit QL, Auswahl in Liste 5 (rechts)
	6	Symmetrischer FA-Koppler	mit QL, Auswahl in Liste 6 (rechts)
	7	Transf.- u. Stichtg. m. Koaxkabel	Auswahl in Liste 1 (unten)
	8	Transf.- u. Stichtg. m. Bandkabel	Auswahl in Liste 2 (unten)

(3) Handabgestimmte T-Koppler

Typ	QL	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
MFJ-941E	100	32	20	15,65	12,27	9,14	6,44	4,1	3,1	2,15	1
MFJ-971	100	0,7	0,8	1	1,5	2	2,5	4	5,5	7,5	9

(4) Pi-Automatikkoppler

Typ	QL	C1min	dC1	C1max	dL	Lmax	C2min	d
SG-230	250	15	100	6320	0,25	64	15	25

Alle verfügbaren Schaltungstypen haben das Ziel, unterschiedlichste Eingangsimpedanzen des Antennen-Speisekabels an den Arbeitswiderstand der PA (in der Regel  $R_G = 50\Omega$ ) anzupassen.

Folgende Grundtypen sind in der momentanen Ausbaustufe von *HamVNAS* verfügbar:

- LC-Halbglied (Berechnung mit **verlustfreien** Bauelementen)
- Collinsfilter (Berechnung mit **verlustfreien** Bauelementen)
- Handabgestimmter T-Koppler (MFJ-941E, MFJ-971)
- Automatikkoppler mit Pi-Glied (z.B. SG-230)
- Automatikkoppler mit L-Glied (z.B. LDG11MP + normales L-Glied zum Vergleich)
- Symmetrischer FA-Koppler (BX-1200)
- Transformations- und Stichleitung mit Koaxkabel
- Transformations- und Stichleitung mit Bandkabel

**HINWEIS:** Außer den ersten beiden Schaltungstypen (LC-Halbglied, Collinsfilter), deren Berechnung auf idealisierten, verlustfreien Bauelementen beruht, werden bei allen anderen die Verluste in den Induktivitäten (QL) berücksichtigt! Zu allen industriellen Koppler-Modellen können Sie eigene Untertypen mit anderen L- und C-Abstufungen, sowie Anfangs- und Endkapazitäten und Spulengüten hinzufügen.

## Übungsbeispiele

Jede Schaltungs-Synthese oder Verlustanalyse läuft nach dem gleichen Muster ab. Die folgenden Übungsbeispiele stehen deshalb exemplarisch für alle weiteren Referenzbeispiele, die in den mitgelieferten Schaltungsbibliotheken (z.B. in *GrundlagenSynthese.dat*) zu finden sind.


### Übung 9: Durchführung einer Schaltungssynthese

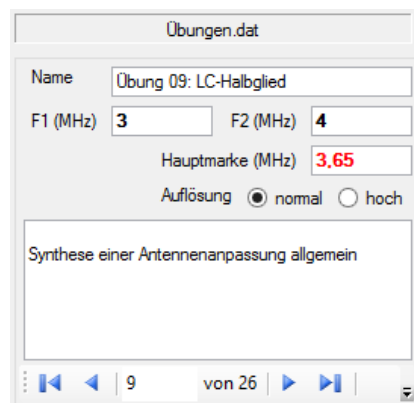
In unserem einführenden Beispiel spielt die konkrete Antenne keine Rolle. Alles was wir wissen müssen ist die Impedanz am Eingang des Speisekabels, die wir vorher mit einem vektoriellen Antennenanalysator bei **3,65MHz** zu  $ZE(\Omega) = 1,35 + j12,6$  gemessen haben.

Länge und Typ des Speisekabels brauchen wir für die Synthese der Anpass-Schaltung zwar nicht zu kennen, es vereinfacht aber die spätere Verlustanalyse (Übung 10) etwas, wenn wir uns schon jetzt auf den Typ **RG-213** festlegen.

Für die Anpassung zwischen PA-Ausgang und Eingang des Speisekabels stehen uns alle acht Schaltungstypen zur Verfügung, wie sie im Formular „Spezifikation für Koppler-Schaltung“ aufgelistet sind. Wir entscheiden uns für den Typ **LC-Halbglied verlustfrei**, d.h., die Anpassung wird nicht 100%-ig exakt sein, da der Einfluss der Spulenleerlaufgüte QL vernachlässigt wird.

### Synthese vorbereiten

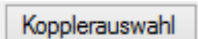
- Öffnen Sie im Designer mit Klick auf  (10) eine neue leere Seite oder navigieren Sie zu einer leeren Seite.
- Nehmen Sie im Tablett "Allgemeine Eingaben" (3) die erforderlichen Einträge vor:




---

**HINWEIS:** Im Synthesemodus ist allein die Angabe der Hauptmarke (hier 3,65MHz) wichtig, da sich auf diese Frequenz alle Berechnungen beziehen!

---

- Sie klicken nun auf  (44) um das Formular „Spezifikation für Koppler-Schaltung“ zu öffnen und markieren in der linken oberen Liste das **LC-Halbglied verlustfrei** (um zu markieren klicken Sie auf die linke Spalte):

Schaltungstyp			
	Nr	Name	Comment
	0	Kein Koppler	ohne Anpassung
▶	1	LC-Halbglied verlustfrei	max. vier mögliche Varianten
	2	Collinsfilter verlustfrei	Peucker Formeln, ohne QL

- Markieren Sie in der Tabelle "Koaxkabel" den Typ **RG-213**:

(1) Koaxkabel					
	Typ	Zw	VF	dB	Comment
	RG 58	50	0,66	5	gilt für alle Kabel: db = Dämpfung pro 100m bei 10MHz!
▶	RG 213	50	0,66	2,2	
	Aircom Plus	50	0,85	1,9	

- Die Einstellungen werden beim Schließen des Formulars gespeichert:

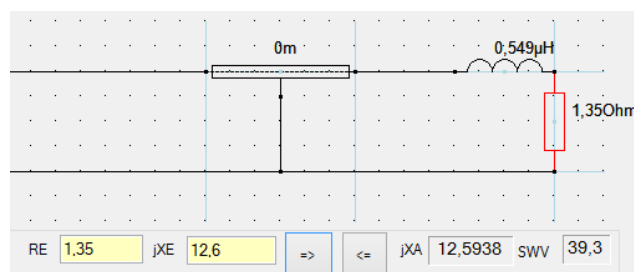
Speichern und schließen

## Anpass-Glied einfügen

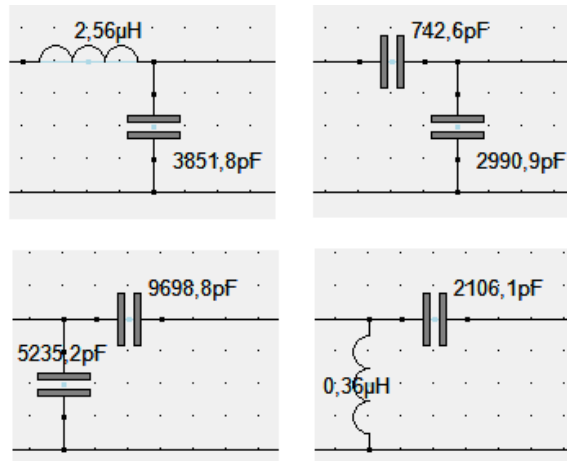
- Um eine in das Synthesegitter passende Basisschaltung automatisch erzeugen zu lassen, klicken Sie auf **Reset KK** (41). In der Basisschaltung hat das Speisekabel die Länge 0m, entspricht also einer durchgehenden Verbindung (das Kabel ist quasi überbrückt bzw. nicht vorhanden).
- Setzen Sie das Häkchen ☒ **Synthese** (45), damit am unteren Rand des Designers die Syntheseleiste (die Leiste für die Bedienelemente des Synthese-Modus) erscheint.
- Tragen Sie in die Felder (58) und (59) der Syntheseleiste die mit dem Antennenanalysator gemessene Eingangsimpedanz ZE(Ohm) des Speisekabels ein:

RE  jXE

- Klicken Sie auf den Button **=>** (60), so erscheint rechts das Ersatzschaltbild für RE+jXE:



- Wenn Sie nun in der Syntheseleiste wiederholt den Button **START** (56) klicken, so sehen Sie nacheinander alle vier mögliche Varianten von LC-Halbgliedern, mit denen eine Anpassung prinzipiell möglich ist:

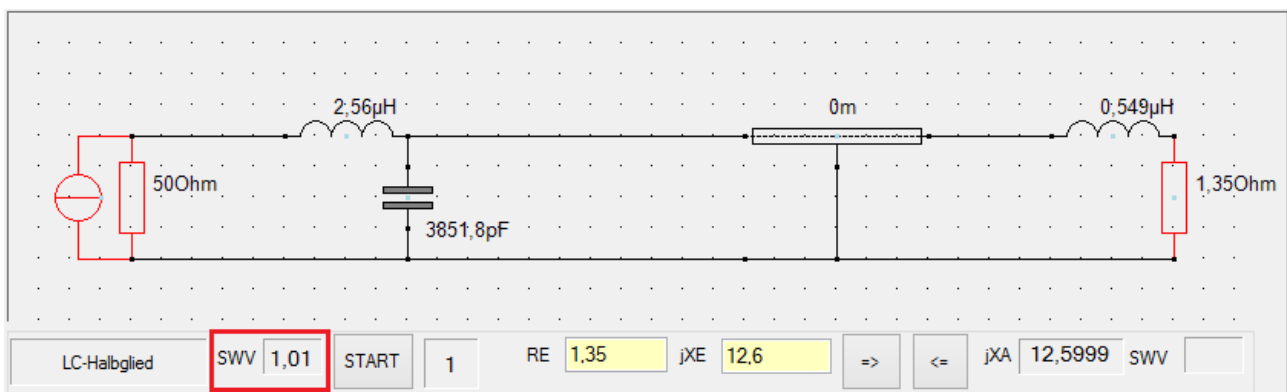


- Obwohl, wie sich durch eine spätere Analyse leicht feststellen lässt, alle Varianten nahezu gleichwertig sind, entscheiden wir uns für die Variante 1 (oben links), da es sich um die für viele Antennenkoppler typische Grundschaltung handelt.

**HINWEIS:** Nicht für alle Anpass-Situationen mit LC-Halbgliedern gibt es, wie in diesem Beispiel, vier Lösungen, oftmals sind es nur zwei. Bei extremen Transformationsverhältnissen gibt es mitunter überhaupt keine Lösung.

## Anpassung analysieren

- Klicken Sie auf die Induktivität des LC-Halbglieds und weisen Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) der Spulengüte QL den realistischen Wert 100 zu, danach den Klick auf Parameter sichern nicht vergessen!
- Nach Klick auf ANALYSE (25) kann links in der Syntheseleiste SWV = 1,01 abgelesen werden.



## Fazit:

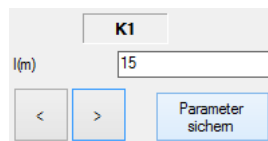
Das erzielte SWV = 1,01 ist noch lange kein Grund um sich zufrieden zurückzulehnen, denn die Anpassung erfolgte an das „Gesamtpaket“ aus Speisekabel und Antenne. Wieviel Sendeenergie letztendlich in der Antenne ankommt und wieviel unterwegs im Speisekabel verlorengeht ist noch unklar.



## Übung 10: Durchführung einer Verlustanalyse

Den Typ des Speisekabels (RG-213) hatten wir in der Vorgängerübung bereits zugewiesen, damit sind auch die elektrischen Parameter (Wellenwiderstand, Verkürzungsfaktor, Dämpfung) bekannt. Nun müssen wir möglichst genau die Länge messen. Dies sind in unserem Beispiel **15m**.

### Antennen-Ersatzschaltbild generieren

- Klicken Sie im Designer (6) auf das Kabelsymbol , tragen Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) die Länge 15m ein und sichern Sie diesen Parameter:

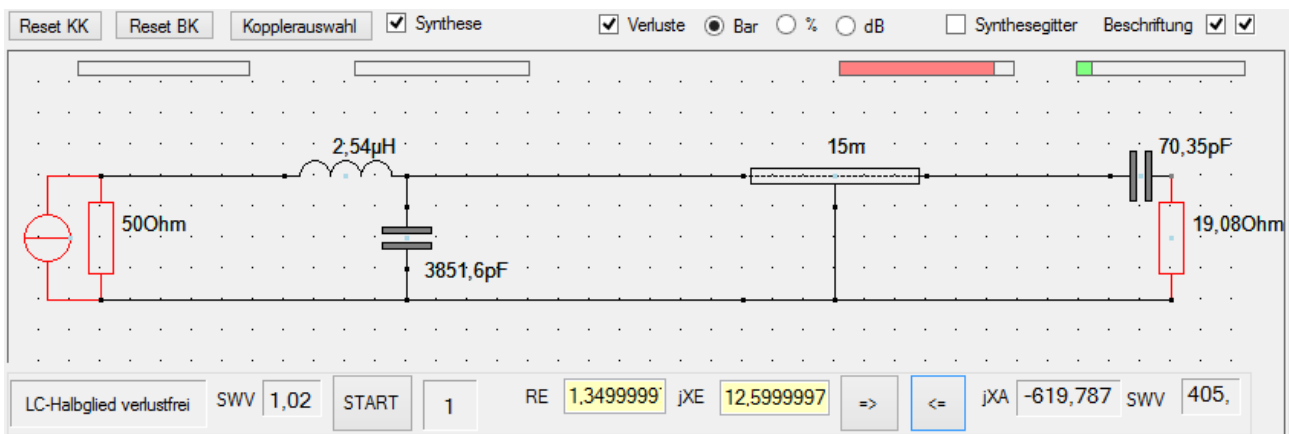


- Klicken Sie den Button  (60) um das Antennenersatzschaltbild zu generieren.
- Klicken Sie den Button  (61) um das Antennenersatzschaltbild wieder zurück in die Eingangsimpedanz Z<sub>E</sub> zu transformieren.
- Zur Kontrolle klicken Sie mehrfach hintereinander die Buttons (61) und (62), die in den Feldern (58) und (59) angezeigte Eingangsimpedanz wird sich geringfügig ändern, was an den Rundungsfehlern liegt, die trotz doppeltgenauer Gleitkomma-Arithmetik nicht zu vermeiden sind.







### Verlustanalyse auswerten

- Starten Sie mit Klick auf  (47) die Verlustanalyse.





- Die ersten drei kleinen Balkendiagramme ((43), (46), (51)) am oberen Rand des Designers zeigen von links nach rechts
  - die Verluste durch Fehlanpassung (entstehen durch  $SWV > 1$ ),
  - die Verluste in der Anpass-Schaltung (entstehen durch die endliche Spulengüte),
  - die Verluste im Speisekabel (entstehen durch die Grunddämpfung und durch die SWV-bedingte Zusatzdämpfung).
- Der grüne Balken (53) ganz rechts zeigt die im Strahlungswiderstand der Antenne umgesetzte Leistung (Transmission bzw. Wirkungsgrad).
- Mit den Schaltknöpfen (48), (49) und (50) können Sie zwischen der Darstellung als Balkendiagramm, der Angabe in Prozent und in dB wechseln.

SWR-bedingte Verluste durch Fehlanpassung	Verluste zwischen PA-Ausgang und Eingang des Speisekabels	Verluste im Speisekabel bis zum Antenneneingang	In der Antenne umgesetzte Leistung
			
0%	0.2%	90.1%	9.7%
0dB	0.01dB	10.13dB	10.14dB

**Fazit:**

Auch relativ hochwertiges Kabel bewahrt nicht vor hohen Verlusten, trotz des sehr guten SWV kommen nur 9,7% der maximal verfügbaren PA-Leistung hinten an. Satt 89,2% (10,12dB) gehen in nur 15m langen RG-213 verloren, obwohl dessen Grunddämpfung bei 3,65MHz lediglich ca. 0,2dB beträgt.


Schuld an der Misere ist das extreme antennenseitige  $SWV = 405$  und die dadurch bedingte enorme Zusatzdämpfung von ca. 10dB!

**Übung 11: Verlustanalyse bei Anpassung eines verkürzten Vertikalstrahlers**

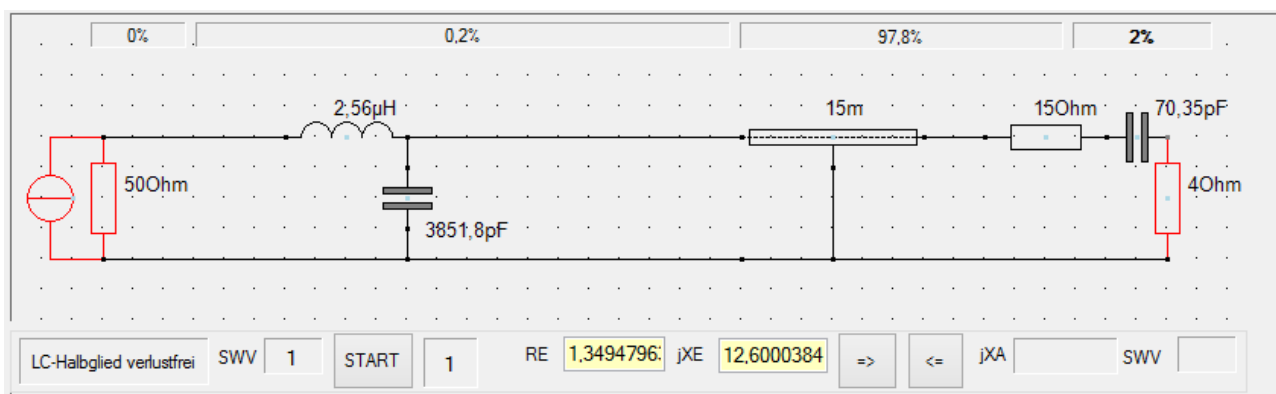
Bei unserer Antenne handelt es um einen 8m hohen Vertikalstrahler, der auf das 80m-Band angepasst wurde. Weil sich aber hier der Lastwiderstand  $RL=19\Omega$  aus der Summe von Erdverlustwiderstand  $R_v$  und Strahlungswiderstand  $R_s$  zusammensetzt, wird der bislang ermittelte sehr schlechte Wirkungsgrad von nur 9,7% noch schlechter werden.

In der vorhergehenden Übung hatten wir ermittelt, dass der Ausgang des Speisekabels eine Impedanz  $ZA(\Omega) \sim 19 - j620$  „sieht“.

Gehen wir von  $R_s = 4\Omega$  aus, so gilt  $R_v = 15\Omega$  (kann je nach Anzahl der Radials auch abweichen).

- Klicken Sie auf  $RL$  und korrigieren Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) Parameter  $R$  auf den Wert  $4\Omega$ . Sichern Sie den Parameter.
- Klicken Sie auf die Verbindung zwischen Ende des Speisekabels und Antennenkapazität und löschen Sie diese Verbindung.
- Klicken Sie den Button  (17) und fügen Sie einen ohm'schen Widerstand  $R$  ein, dem Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) den Wert  $15\Omega$  zuweisen.

- Klicken Sie den Button **Verbindung** (15) und verbinden Sie den Widerstand R1 mit dem Ausgang des Speisekabels.
- Klicken Sie **... in Datei abspeichern** (1) um die Schaltung dauerhaft zu sichern.
- Klicken Sie **ANALYSE** (25) und anschließend ☒ % (49) um Verluste und Transmission in Prozenten anzuzeigen:



Der Wert 97,8% bezieht sich jetzt auf die Summe der Verluste im Speisekabel **und** im 15 Ohm-Erdwiderstand.

**HINWEIS:** Vermeiden Sie es in diesem Fall auf den Button **=>** (60) zu klicken, da dann wieder das vereinfachte Antennen-Ersatzschaltbild mit  $RL = 19\Omega$  erzeugt wird!

### Fazit:

Trotz des idealen  $SWV = 1,0$  ist diese Antennenanlage unbrauchbar, denn nur 2% der maximal verfügbaren PA-Leistung (das sind fast 3 S-Stufen Einbuße gegenüber 100%) gelangen zur Abstrahlung, der Rest geht im Kabel (90,2%) und im Erdwiderstand (7,6%) verloren. Hingegen sind die Verluste in der Anpass-Schaltung vernachlässigbar (0,2%).

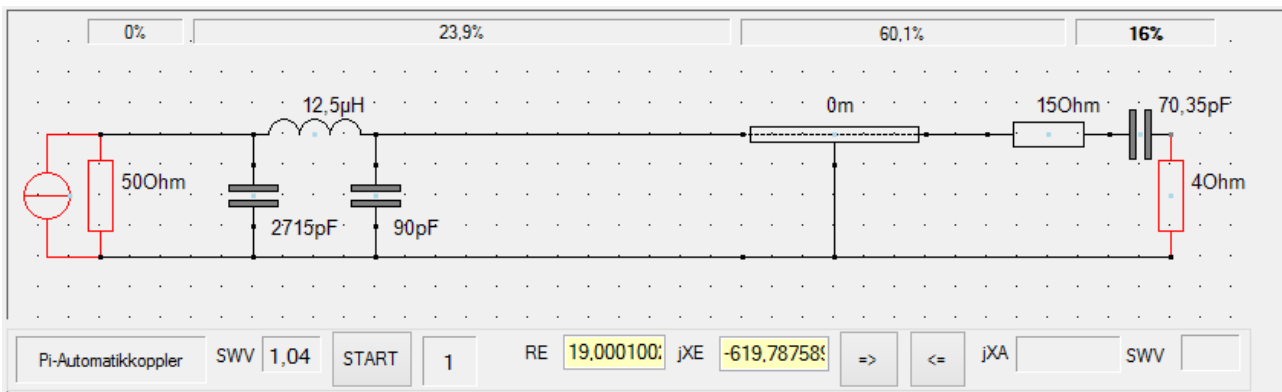
## Übung 12: Automatik-Koppler direkt am Fußpunkt der Antenne

Ein erfahrener OM weiß, dass man einen Vertikalstrahler besser nicht am Eingang des Speisekabels, sondern direkt am Antennenfußpunkt anpassen sollte.


*HamVNAS* verlangt aber, dass sich im Synthesemodus die Anpass-Schaltung immer **vor** dem Speisekabel befinden muss – es ist deshalb in unserem Fall eine etwas umständlichere Herangehensweise erforderlich, die schon etwas mehr Erfahrung in der Bedienung von *HamVNAS* abverlangt:

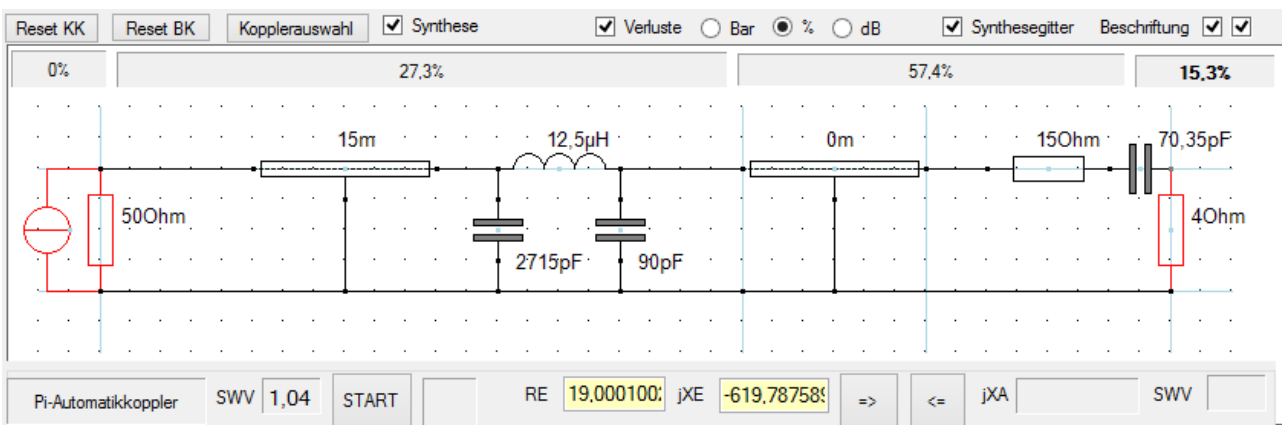
- Klicken Sie auf das Speisekabel und ändern Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) den Wert für die Kabellänge auf **0m** (damit ist das Kabel quasi überbrückt und der Koppler liegt direkt am Antennenfußpunkt an).
- Klicken Sie den Button **<=** (61), um die neuen Werte für RE und XE ( $19\Omega - j620\Omega$ ) automatisch in die Eingabefelder (58) und (59) zu übernehmen.
- Öffnen Sie das Formular "Spezifikation für Koppler-Schaltung" (44) um als Schaltungstyp den "Pi-Automatikkoppler" zuzuweisen.

- Klicken Sie  (56) um die Einstellung mit dem niedrigsten SWV zu erzeugen:



Nun muss noch die Speiseleitung eingefügt werden:

- Umrahmen Sie die Koppler-Schaltung bei gedrückt gehaltener rechter Maustaste. Klicken Sie dann mit der linken Maustaste in den Rahmen und verschieben Sie diesen nach rechts, sodass links genügend Platz für das Einfügen des Speisekabels entsteht.
- Löschen Sie die Verbindung zwischen RG und Koppler, klicken Sie auf den Button  (21) und fügen Sie ein „Koaxkabel“ als Speiseleitung ein, der Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) die Länge 15m und alle für RG-213 erforderlichen Parameter zuweisen. Stellen Sie per Hand die noch fehlenden drei Verbindungen des Koaxkabels zu RG (PA), zum Pi-Automatikkoppler und zur Masseleitung her.
- Starten Sie mit Klick auf ☒ Verluste (47) die Verlustanalyse:



- Der Wirkungsgrad (Transmission) ist nur um 0,7% abgesunken, da die Speiseleitung jetzt stehwellenfrei ist und nur noch die Grunddämpfung des RG-213 zum Tragen kommt.


### Fazit:

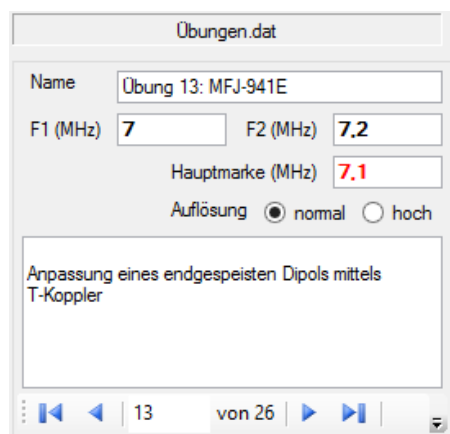
Der Automatik-Koppler direkt am Antennenfußpunkt bringt zwar eine stehwellenfreie Speiseleitung und einen deutlich besseren Wirkungsgrad, der aber mit ca. 15% immer noch weit unter den Erwartungen bleibt. Leider merkt der OM davon meist nichts, da senderseitig ein perfektes SWV vorliegt und man auch mit nur 17Watt auf 80m gute S9- Rapporte erhalten kann.

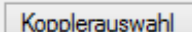
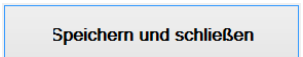
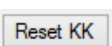




## Übung 13: Anpassung eines endgespeisten Dipols mittels T-Koppler

In diesem Beispiel begleiten Sie mich bei der Anpassung meines eigenen endgespeisten Halbwellenstrahlers (3-Band-HyEndFed) an das 40m-Band. Die Resonanz der Antenne ist hier so schmal, dass mein Antennenkoppler MFJ-941E zum Einsatz kommen muss.

Am Eingang des nur **3,5m** langen **RG-58**-Speisekabels messe ich mit meinem Antennenanalysator AA-54 bei **F = 7,1MHz** die Eingangsimpedanz **ZE(Ohm) = 39,8 – j4,8**, die es an 50Ω anzupassen gilt.

- Ich öffne im Designer mit Klick auf  (10) eine leere Seite oder navigiere zu einer leeren Seite.
- Zunächst nehmen ich im Tablett "Allgemeine Eingaben" (3) die erforderlichen Einträge vor:



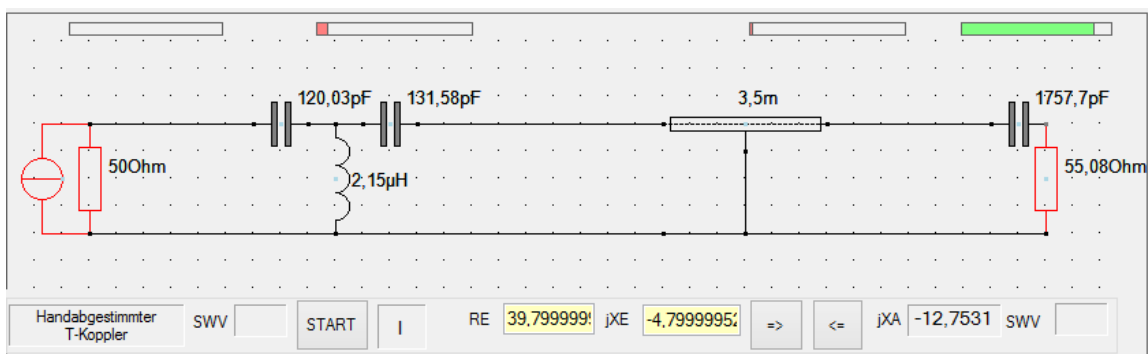
- Ich klicke auf  (44), um das Formular „Einstellungen zur Antennenanpassung“ zu öffnen und wähle in der Liste links oben den Schaltungstyp "Handabgestimmte T-Koppler" und darunter den Kabeltyp „RG-58“.
- Ich markiere rechts in der Spezifikation den Typ "MFJ-941E". Im Datengitter sind bereits die Werte der 12 schaltbaren Induktivitäten eingetragen.
- Ich klicke .
- Nun lasse ich mir mit  (42) eine synthesesegerechte Basiskonfiguration erzeugen ...
- ... klicke auf das Kabel und weise ihm im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) die Länge 1,5m zu.
- Ich setze das Häkchen  **Synthese** (45) und trage in die Felder (58) und (59) der Syntheseleiste die Eingangsimpedanz  $ZE(\text{Ohm}) = 39,8 - j4,8$  des Speisekabels ein.
- Per Klick auf  (60) lasse ich das Antennen-Ersatzschaltbild generieren und kontrolliere anschließend mit  (61) die Rücktransformation .
- Wenn ich jetzt wiederholt  (56) klicke, erscheinen nacheinander alle möglichen Einstellungen des MFJ-941E, mit denen sich ein SWV von 1,0 erzielen lässt.

- Da beide Drehkos nur den Bereich von etwa 12pF bis 208pF überstreichen, muss ich alle außerhalb dieses Bereichs angebotenen Varianten ignorieren und entscheide mich aus gutem Grund für die Variante mit der kleinsten Induktivität (Schalterstellung I).

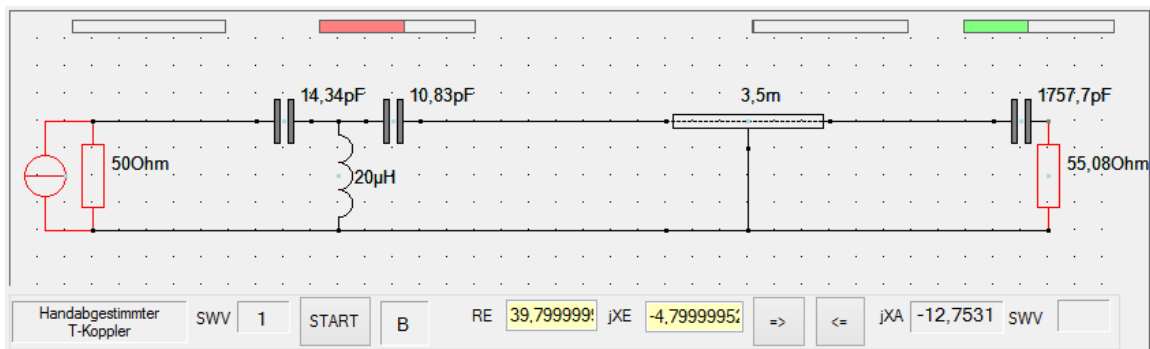
**HINWEIS:** Das Programm berechnet für jeden Anpassung die exakten Werte der Schaltelemente unter Einbeziehung der Spulenleerlaufgüte QL!

- Nun analysieren ich die verschiedenen Varianten ( **ANALYSE** ) und führe dazu eine Verlustanalyse ( ☒ Verluste ) durch.
- Wie man auf den ersten Blick sieht, sind die Unterschiede erheblich:

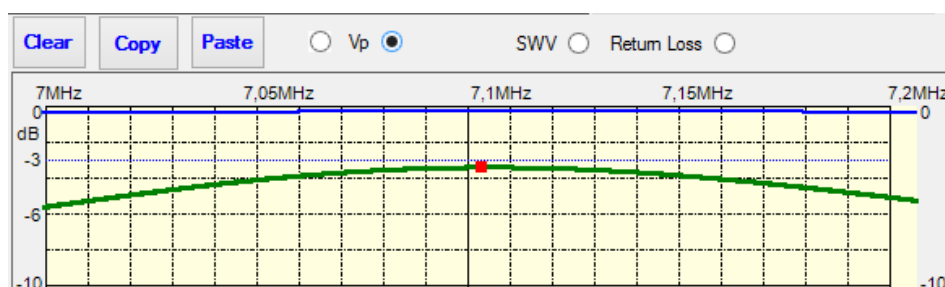
Die Schalterstellung "I" ( $2,15\mu\text{H}$ ):



Die Schalterstellung "B" ( $20\mu\text{H}$ ), der hier viel längere rote Balken verheißt nichts Gutes:



- Ich wobbel auch noch die Transmission (Vp) und vergleiche mittels "Copy" und "Paste" beide Varianten (in der Abbildung blau:  $L=2,15\mu\text{H}$  und grün:  $L=20\mu\text{H}$ ):



**Fazit:**

Zwar liefert auch die Variante mit dem größtmöglichem L ( $20\mu\text{H}$  = Schalterstellung B) eine nahezu perfekte Anpassung, hat aber deutlich höhere Übertragungsverluste und ist viel schmalbandiger (das erschwert die Einstellung!). Außerdem besteht die Gefahr, dass der Antennenkoppler durch den so genannten „Kamikaze“-Effekt zerstört wird (bei einer 150W-PA würden in unserem Beispiel ca. 82W in der Spule in Wärme umgesetzt!).

**Übung 14: Kamikaze eines Automatikkopplers**

Aufgrund seiner Pi-Struktur und den damit verbundenen über 500000 verschiedenen Einstellmöglichkeiten genießt der bekannte Automatikkoppler SG-230 den Ruf, so gut wie "alles" anpassen zu können (vom Maschendrahtzaun bis zum ...).

Diese beeindruckenden Fähigkeiten werden aber mit einem hohen Risiko erkaufte, wie folgendes Beispiel aus der Praxis beweist: der OM hatte schlicht vergessen das Antennenkabel anzuschließen, sodass dem Koppler nichts anderes übrigblieb als sich an "sich selbst" anzupassen, was auf tragische Weise als sogenanntes "Kamikaze" ("Selbstmord" auf japanisch) endete. Der OM hatte zunächst nichts davon gemerkt, es wurde ja ein perfektes SWV vorgegaukelt. Als die Rauchzeichen aus dem Koppler quollen war es schon zu spät.

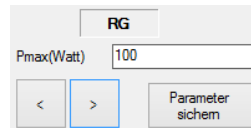
- Nach **Kopplerauswahl** (44) öffnet sich das Formular „Einstellungen zur Antennenanpassung“. Wählen Sie den Schaltungstyp "Pi-Automatikkoppler". Der Kabeltyp ist in unserem konkreten Fall egal, da die Länge des Kabels null ist.
- Im Datengitter sind die Werte für den SG-230 bereits eingetragen (in pF bzw.  $\mu\text{H}$ ):

(4) Pi-Automatikkoppler											
	Typ	QL	C1min	dC1	C1max	dL	Lmax	C2min	dC2	C2max	Comment
▶	SG-230	250	15	100	6320	0,25	64	15	25	775	
*											

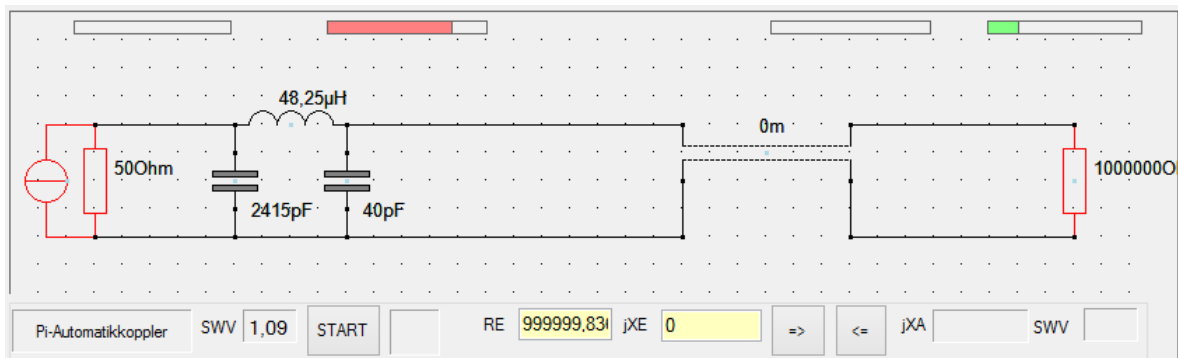
QL	mittlere Leerlaufgüte der L-Dekade
C1min	minimale senderseitige Schaltungskapazität
dC1	kleinste Abstufung der senderseitigen C-Dekade
C1max	größter Wert der senderseitigen C-Dekade (Summe aller 6 schaltbaren C's, ohne C1min!)
dL	kleinste Abstufung der L-Dekade
Lmax	größter Wert der L-Dekade (Summe aller 8 schaltbaren L's)
C2min	minimale antennenseitige Schaltungskapazität
dC2	kleinste Abstufung der antennenseitigen C-Dekade
C2max	größter Wert der antennenseitigen C-Dekade (Summe aller 5 schaltbaren C's, ohne C2min!)

Sie können diese Werte editieren oder auch neue Pi-Kopplertypen hinzufügen.

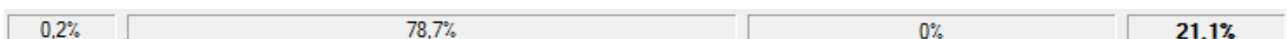
- Auf einer leeren Seite erzeugen Sie mit **Reset BK** (42) die Grundstruktur einer synthesesfähigen Anpass-Schaltung unter Verwendung von Bandkabel.
- Weisen Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) dem Parameter  $P_{\text{max}}$  von RG den Wert **100W** zu (PA-Ausgangsleistung):



- Das nicht angeschlossene Antennenkabel lässt sich durch einen sehr hochohmigen Lastwiderstand RL simulieren. Klicken Sie auf RL und weisen Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) den Wert **1000000** ( $1\text{M}\Omega$ ) zu.
- Klicken Sie (61) um die Antennenimpedanz  $RE+jXE$  automatisch in die entsprechenden Felder (58, 59) zu übertragen (das Auftreten von kleineren Rundungsfehlern bei diesen extremen Transformationen ist trotz doppelt genauer Zahlenarithmetik normal).
- Klicken Sie (56) um den SG-230 mit den Werten für niedrigstes SWV einzufügen.
- Nach (25) erkennen Sie ein SWV von 1,09. Die Überraschung folgt erst, wenn Sie das Häkchen Verluste (47) setzen:



- Die Prozentanzeige verdeutlicht, dass von 100W PA-Leistung völlig inakzeptable **78,7 Watt** in der Spule des Kopplers in Wärme umgesetzt werden:



- Eine noch schlimmere Sache, die den Koppler sofort außer Gefecht setzen kann, entdecken Sie im unteren Teil des Parameter-Tabletts (36):  
Über dem antennenseitigen C2 liegt eine Spannung von ca. **4,6kV** an!

```

-----
Pout = 21,12Watt
Uo = 141,42V
Uout = 4596,17V
-----
S-Parameter
s11 = -0,762 - j0,647
s12 = -0,029 - j0,011
s21 = -0,029 - j0,011
s22 = 0,999 - j0
  
```

- Wiederholen Sie die Anpassung mit L-Automatikkoppler oder dem symmetrischen FA-Koppler so werden Sie feststellen, dass hier keinerlei Kamikaze-Gefahr besteht, denn es kommt überhaupt erst keine brauchbare Abstimmung zustande (SWV >> 1)!

**Fazit:**

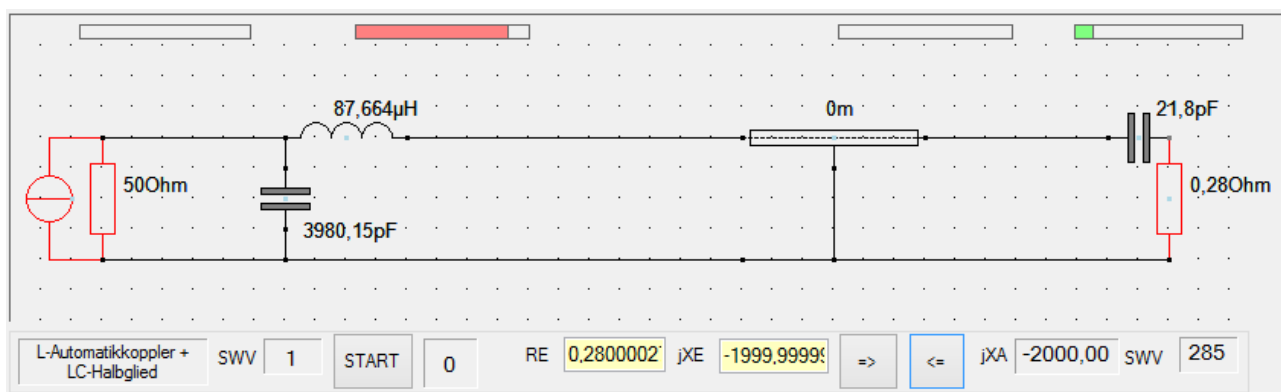
Beim Einsatz von echten Pi-Automatikkopplern mit sehr hochohmiger Last besteht die Gefahr der Selbstzerstörung des Kopplers (entweder durch Überhitzung der Spulen oder durch Überspannung an den Kondensatoren)!

**Übung 15 Anpassung einer Mobilfunkantenne an das 80m-Band**

In /6/ wird von einer nur 2,20m langen Mobilantenne für das 80m Band berichtet, die mit einer 100Watt-PA deutschlandweit hervorragende Ergebnisse erzielte. Wir wollen untersuchen, wieviel von den 100W bei einer solch extrem kurzen Antenne tatsächlich abgestrahlt werden können.

Eine Antenne bezeichnet man als kurz, wenn ihre Länge kleiner als ein Zehntel der Betriebswellenlänge ist, in diesem Fall ist der Strahler nur  $0,027\lambda$  lang. Nach /8/ kann man dazu den Strahlungswiderstand  $R_s = 0,28\Omega$  ermitteln.

- Zur Berechnung von  $R_s$  eignet sich der *HamVNAS* beigefügte Formel-Rechner (siehe Anhang).
- Für die Anpassung kommt der Schaltungstyp „L-Automatikkoppler + LC-Halbglied“ infrage, welcher neben den optimalen Einstellungen des Kopplers als zweite Variante die exakte Lösung unter Verwendung eines verlustbehafteten L-Glieds zu Vergleichszwecken anbietet.
- Im Synthesemodus von *HamVNAS* erfolgt die Berechnung der Anpassung mittels L-Glied für die Spulengüten  $QL = 250$  und  $QL = 1000$ .

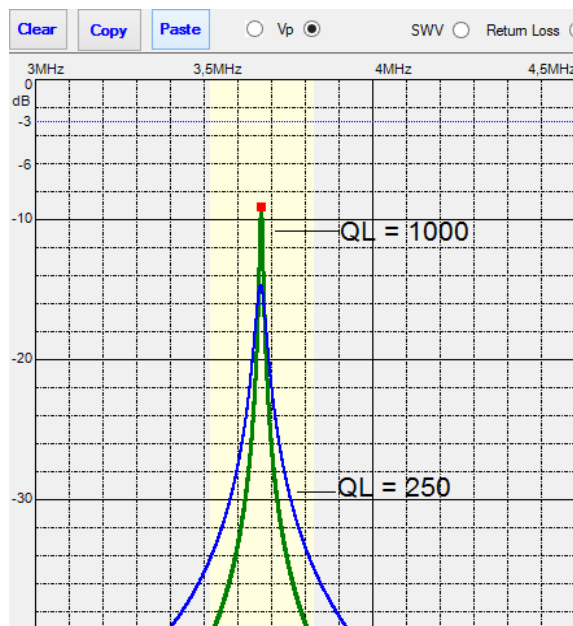


- Der Vergleich zeigt, dass der Wirkungsgrad trotz aufwändiger Verlängerungsspule max. nur ca. 12% erreichen kann:

	SWV	L	C	Verlustleistung in L	Abgestrahlte Leistung
QL = 250	1,0	68μH	1947pF	96,6W	3,4W
QL = 1000	1,0	87,66μH	3980pF	87,8W	12,2W

- Wie auch ein Vergleich beider Wobbelkurven der Leistungsübertragung zumindest tendenziell belegt, werden mit größerem QL auch L und C größer, die Bandbreite verkleinert sich und die Abstimmung verlangt mehr Fingerspitzengefühl:



**Fazit:**

Von stark verkürzten Antennen sind keine Wunder zu erwarten. Bestenfalls hatte der OM mit dieser Mobilantenne 12Watt abgestrahlt, die hochwertige Spule wurde mit ca. 88Watt „beheizt“.

## Übung 16: Anpassung einer Doppelzepp mit symmetrischem Antennenkoppler

Der gut durchdachte und leistungsfähige symmetrische 200Watt-Koppler BX-1200 ist in /6/ ausführlich beschrieben und als Komplettbausatz vom FA-Leserservice erhältlich. Obwohl es sich vom Schaltungsprinzip her um ein LC-Halbglied (L-Glied) mit einer abstimmbaren Kapazität quer und einer abstimmbaren Induktivität längs zum Signalweg handelt, kann man auch von einem „unechten“ Pi-Glied sprechen, weil zum Eingang feste Querkapazitäten hinzugeschaltet werden können.

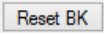
Für einen über 9,5m Hühnerleiter gespeisten 2x14m Drahtdipol wollen wir in dieser Übung mehrere Einsatzszenarien simulieren.

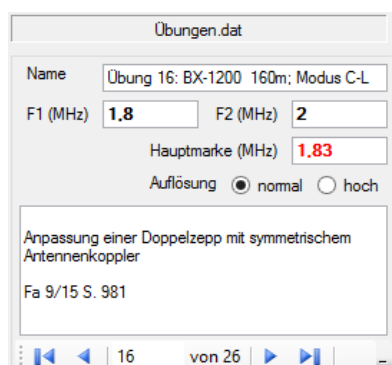
- Klicken Sie **Kopplerauswahl** (44) und markieren Sie den Schaltungstyp „Symmetrischer FA-Koppler“ und den Kabeltyp „Hühnerleiter“.
- Im Gitter „(6) Symmetrische FA-Koppler“ sind die aus /6/ entnommenen Werte für den BX-1200 eingetragen, Sie können Änderungen vornehmen oder neue Typen hinzufügen:

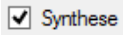



	Parameter	Beschreibung
dL	0,02μH	Kleinster schaltbarer Wert jeder der beiden L-Dekaden
Lmax	34,25μH	Größter Wert jeder der beiden L-Dekaden (alle Relaiskontakte offen)
QL	250	Mittlere Güte aller Induktivitäten
dC	1,5pF	Kleinster schaltbarer Wert der C-Dekade
Cmax	4335,5pF	Größter Wert der C-Dekade (alle Relaiskontakte geschlossen)
La	0,2μH	Restinduktivität jeder der beiden L-Dekaden
Lz	0,1μH	Zusatzinduktivität an jedem der beiden symm. Ausgänge des Kopplers
C10	137pF	Eingangsquerkapazität im C-L-Modus

C11	105pF	Eingangsquerkapazität im C1-L-C-Modus
C12	205pF	Eingangsquerkapazität im C2-L-C-Modus
C20	19pF	Ausgangsquerkapazität im C-L-Modus
C21	51pF	Ausgangsquerkapazität im C1-L-C- und im C2-L-C-Modus
mitBalun	<input checked="" type="checkbox"/>	Man kann zu Vergleichszwecken die Synthese auch ohne Strombalun durchführen.
Zb	50	Wellenwiderstand ( $\Omega$ ) des Kabels für den Strombalun (2x20Wdg. RG-316U auf FT140-43)
lb	0,95	Länge des RG-316U (m)
VFd	0,7	Verkürzungsfaktor des RG-316U
dbb	8,5	Dämpfung(dB/100m) bei der Frequenz 10MHz für RG-316U

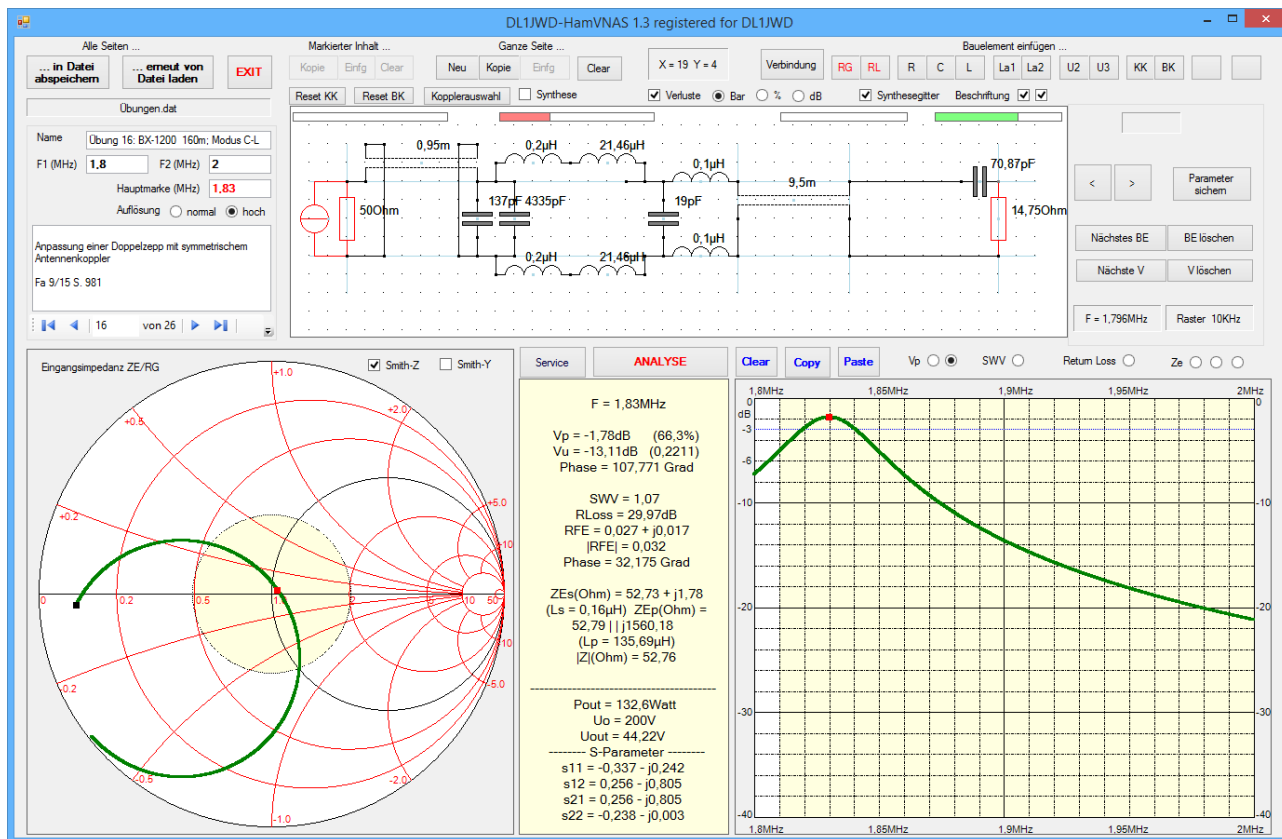
**HINWEIS:** Wie Sie der Tabelle entnehmen, wird der Strombalun allein durch ein 95cm langes Stück RG-316U (nur 2,5mm Außendurchmesser) als „Bandkabel“ (d.h. 4 Anschlüsse) modelliert.  
Da der Energietransport durch die Leitung keinen merklicher magnetischer Fluß im Ferritkern erzeugt und lediglich die Gleichtaktströme (Mantelwellen) eine Spannung über der Kernwicklung aufbauen können, ist die Modellierung von Induktivität (360 $\mu$ H) und Güte (ca. 250) hier ohne Bedeutung für das Übertragungsverhalten.

- Erzeugen Sie auf einer neuen leeren Seite die Basiskonfiguration mit  (42) und weisen Sie die erforderlichen Rahmendaten zu:



- Klicken Sie auf den sensiblen Punkt des PA-Symbols RG und weisen Sie im Tablett (22) dem Parameter **P<sub>max</sub>(Watt)** den Wert **200** zu.
- Klicken Sie auf das Bandkabelsymbol und weisen Sie dem Parameter **l(m)** den Wert **9,5** zu.
- Setzen Sie das Häkchen  und tragen Sie in die Felder RE und XE die für das 160m-Band gemessene Eingangsimpedanz der Hühnerleiter **ZE( $\Omega$ ) = 5,2 – j540** ein.
- Klicken Sie mehrmals hintereinander  und , um das Ersatzschaltbild für den Einspeisepunkt des Dipols zu erzeugen und es zu Kontrollzwecken wieder zurückzutransformieren (kleinere Rundungsfehler sind normal).
- Mit  setzen Sie jetzt den iterativen Syntheseprozess in Gang, der kann (je nach Geschwindigkeit Ihres PC) 5 bis 10sek dauern!

- Nach Klick auf **ANALYSE** sehen Sie, dass das mit dem BX-1200 erzielbare beste SWV bei guten 1,12 und der Wirkungsgrad der Antenne bei vertretbaren 66% liegt.
- Anschließend setzen Sie das Häkchen bei ☒ **Verluste** um die Verlustanalyse zu starten:



- Wiederholen Sie alle Schritte auch für die übrigen Bänder, für die Sie die Eingangsimpedanz des Speisekabels gemessen haben. Die folgende Tabelle liefert eine Zusammenfassung und einen Vergleich des BX-1200 (fettgedruckt) mit dem unsymmetrischen Automatikkoppler SG-230 (in allen Fällen QL=250):

Frequenz	RE	jXE	SWV	Wirkungs-grad	Pout	Verluste im Koppler	Verlustleistung im Koppler
1,83MHz	5,2Ω	-540Ω	<b>1,07</b>	<b>66,3%</b>	<b>133W</b>	<b>32,9%</b>	<b>66W</b>
			1,03	59,2%	118W	40,2%	80W
3,65MHz	18,3Ω	77Ω	<b>1,01</b>	<b>97,5%</b>	<b>195W</b>	<b>2,3%</b>	<b>4,6W</b>
			1,4	96,4%	193W	0,8%	1,6W
7,1MHz	114Ω	-255Ω	<b>1,01</b>	<b>96,5%</b>	<b>193W</b>	<b>3,3%</b>	<b>6,6W</b>
			1,03	97,44%	195W	2,3%	4,6W
21,1MHz	100Ω	-400Ω	<b>1,08</b>	<b>93,5%</b>	<b>187W</b>	<b>6%</b>	<b>12W</b>
			1,3	85,9%	172W	12%	24W
29MHz	45,5Ω	170Ω	<b>1,04</b>	<b>91,6%</b>	<b>183W</b>	<b>7,6%</b>	<b>15W</b>
			1,62	91,6%	183W	2%	4W

**HINWEIS:** Die rote Hauptfrequenzmarke im Smith-Diagramm steht nur bei einem SWV=1,0 exakt im Zentrum. Aufgrund ihrer diskreten Abstufungen (abhängig vom kleinsten schaltbaren L und C) ergeben sich aber bei Automatikkoppler meist mehr oder weniger große Abweichungen.

In der Praxis ist aber ein SWV<2 durchaus noch vertretbar, d.h., die Hauptfrequenzmarke befindet sich irgendwo innerhalb des gelben SWV-Kreises, der das Zentrum umschließt. Ein SWV = 2 dürfte jede moderne PA verkraften ohne herunterzuregeln (der Wirkungsgrad sinkt von 100% auf immerhin noch 88%, also nur ca. = 0,5dB weniger Transmission).

### Fazit:

Abgesehen von den allseits bekannten Vorteilen eines symmetrischen gegenüber einem unsymmetrischen Koppler, ermöglicht der BX-1200 aufgrund seiner ca. 25Mio möglichen Einstellungen eine feinere und verlustärmere Abstimmung mit geringerem SWV als zum Beispiel der SG-230 (ca. 0,5Mio ) oder LDG11MP (ca. 65000).

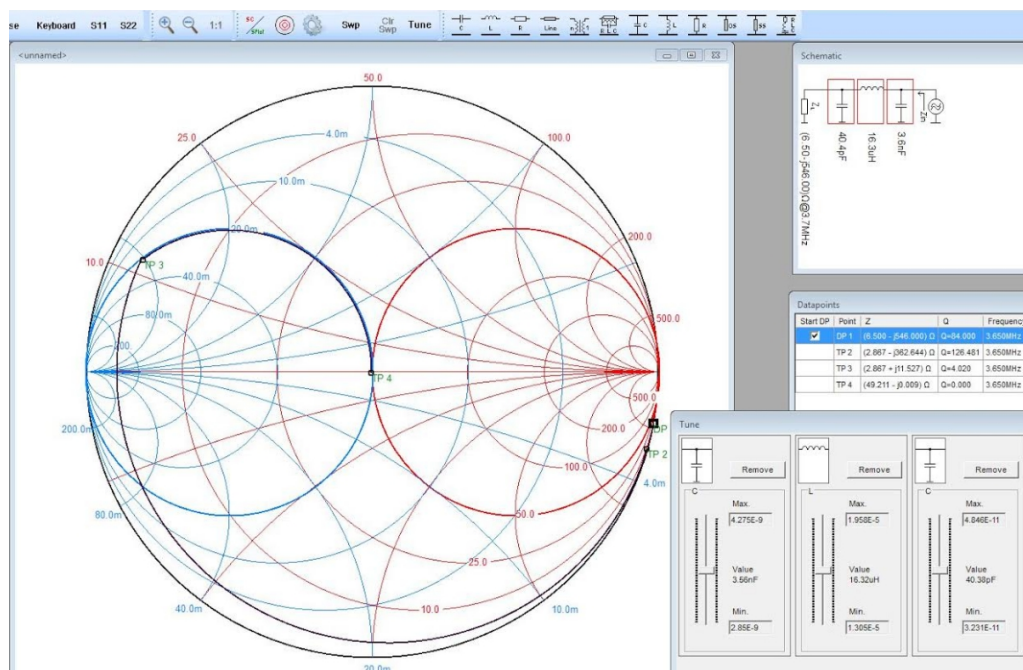
## Weitere Beispiele zu Schaltungssynthese und Verlustanalyse

Hier möchte ich noch einige interessante Anwendungen zur Synthese und Verlustanalyse vorstellen, ohne dabei auf Details der Bedienung von *HamVNAS* einzugehen.

### HamVNAS vs Smith-Diagramm

Ein OM, der mit dem bekannten *Smith-Diagramm* von OM Dellsperger arbeitet, teilte mir mit, dass er damit häufig zu völlig anderen Ergebnissen als mit *HamVNAS* kommt.

Als Beispiel schickte er mir folgenden *Smith-Diagramm*-Screenshot vom Entwurf eines Pi-Glieds (Collinsfilter), mit dem bei **3,65MHz** der PA-Ausgang an die Impedanz  $Z_e(\Omega) = 6,5 - j546$  angepasst werden soll.

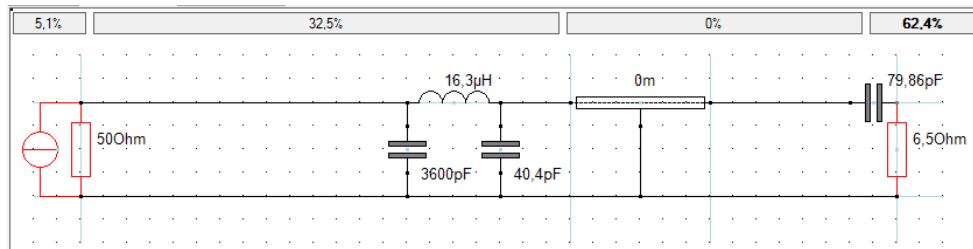


Wie die Abbildung zeigt, liefert *Smith-Diagramm* folgende Lösung:

C1=3600pF, L=16,3μH und C2=40,4pF

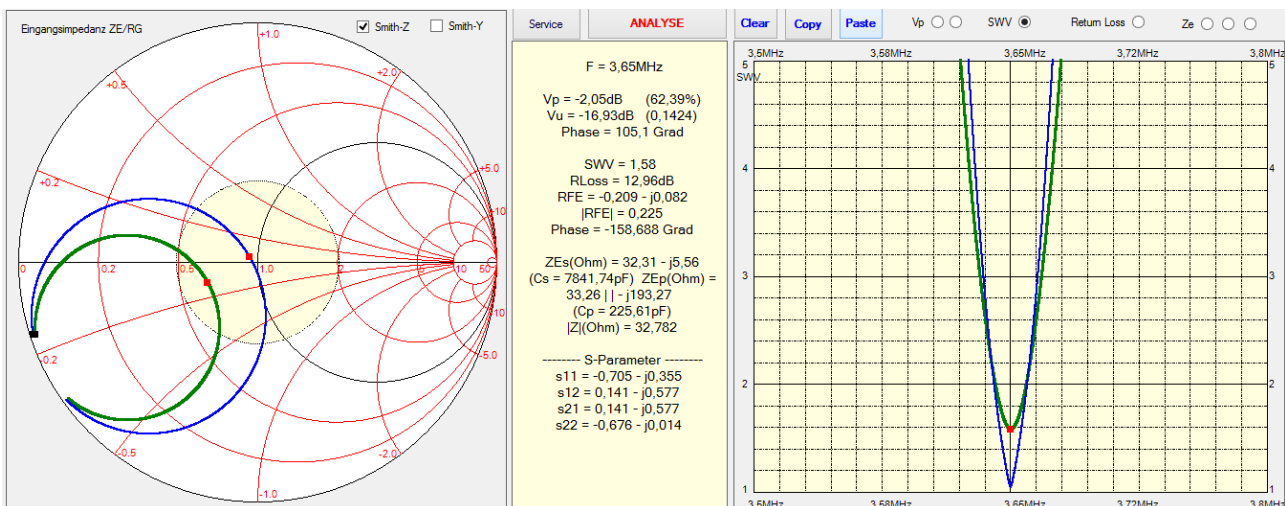
Die per Schieberegler exakt ins Zentrum verschobene Frequenzmarke täuscht dabei ein ideales SWV von 1,0 vor.

Die Analyse dieser Konfiguration mit *HamVNAS*:



**HINWEIS:** Eine Verlustanalyse mit *HamVNAS* erfordert das Vorhandensein eines Kabels an der dafür vorgesehenen Position im Synthesegitter, das Kabel hat aber hier die Länge 0m und ist de facto ohne Einfluss.

Es zeigt sich, dass in der Praxis höchstens ein  $SWV=1,6$  erreichbar ist, dafür müsste die Spule eine Güte von mindestens  $QL=250$  haben. Erst wenn die Induktivität als völlig verlustfrei angenommen wird (unendlich große Spulengüte = blaue Kurven in der Abbildung), führt die mit *Smith-Diagramm* ermittelte Dimensionierung zu einem  $SWV=1,0$ !



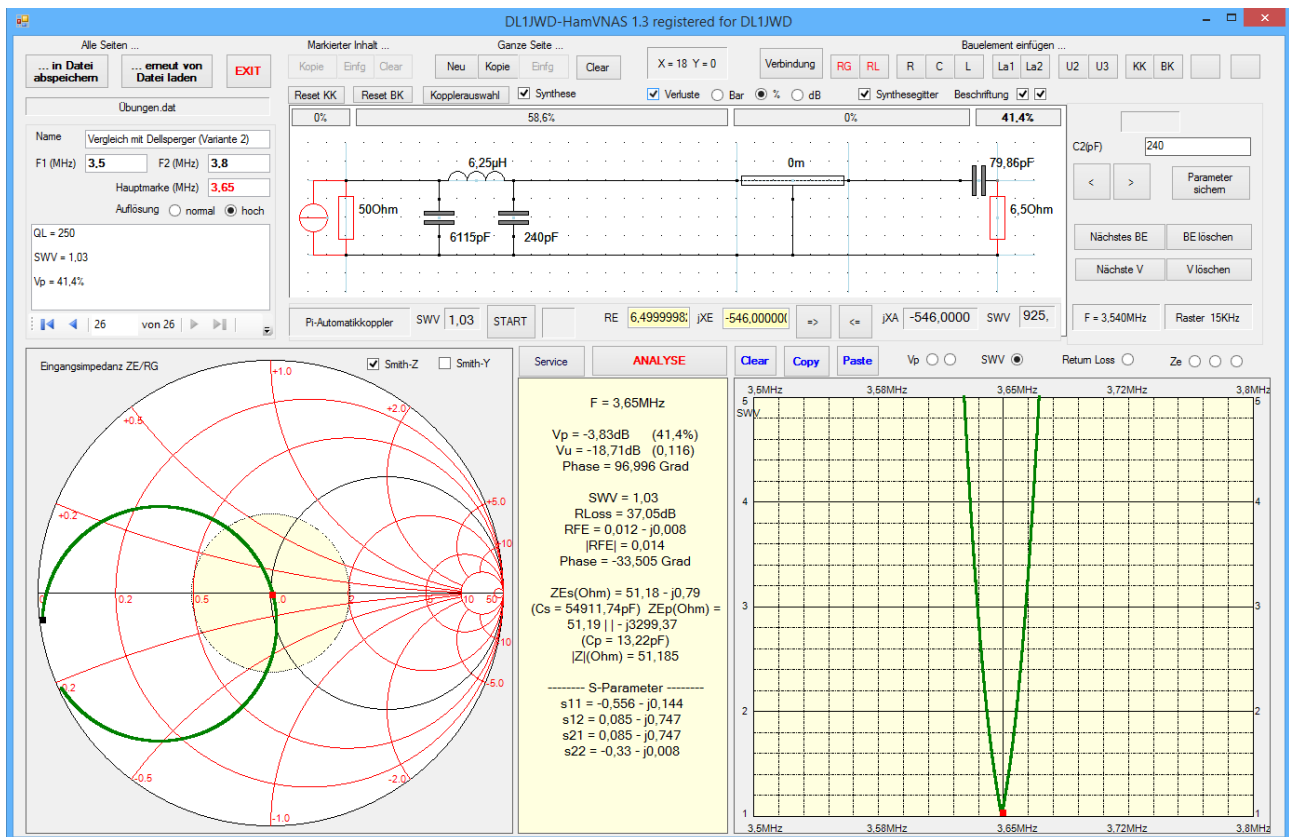
### Fazit:

Eine Synthese mit idealisierten Induktivitäten führt in der Praxis häufig zu größeren Abweichungen, d.h., das angestrebte  $SWV = 1$  wird deutlich verfehlt.

### Der SWV-Mythos

Jeder OM hofft, dass bei  $SWV=1$  immer die meiste Leistung abgestrahlt wird. Leider ist diese Hoffnung mitunter trügerisch, wie ich es anhand des Vorgängerbeispiels beweisen will. Die dort von OM Dellsperger verwendete Synthesemethode ging von einer verlustfreien Induktivität aus, im Ergebnis wurde die PA mehr schlecht als recht an die Impedanz  $Z_e(\Omega) = 6,5 - j546$  bei  $3,65\text{MHz}$  angepasst. Wegen dieses Fehlers konnte nur ein  $SWV = 1,58$  erreicht werden.

Ich wollte es besser machen und ahnte nicht, dass ich dabei vom „Regen in die Traufe“ komme. Nachdem ich die Synthese mit dem in *HamVNAS* integrierten Schaltungstyp „Pi-Automatik-koppler“ wiederholt habe, freute ich mich zunächst über das dank Berücksichtigung der Spulen-leerlaufgüte  $QL$  erreichte ideale  $SWR$  nahe 1,0:



Für einen Schock sorgte das Ergebnis der Verlustanalyse: trotz des idealen SWV ist die Transmission um satte **25%** schlechter als beim Vorgängerbeispiel!

Der Vergleich:

	C1(pF)	C2(pF)	L(μH)	QL	SWV	Verluste durch Fehlanpassung (%)	Verluste im Collinsfilter (%)	Transmission (%)	Bemerkung
Variante 1	3600	40,4	16,3	250	1,58	5,1%	32,5%	62,4%	Synthese mit <i>Smith-Diagramm</i>
Variante 2	611	240	6,25	250	1,03	0%	58,6%	41,4%	Synthese mit <i>HamVNAS</i>

In beiden Fällen vernichtet die Spule erhebliche Teile der Sendeenergie, in Variante 2 sogar mehr als die Hälfte, was die praktische Verwendbarkeit dieser Anpassung generell in Frage stellt.

### Fazit:

Ideales Stehwellenverhältnis bedeutet nicht immer beste Leistungsabstrahlung! Da sich aber in der Praxis der Stehwellenmesser in der Regel zwischen PA und Kopplernetzwerk befindet und man dort (egal ob per Hand oder automatisch) immer auf minimales SWV abstimmt, werden ohne zusätzliche Hilfsmittel (Messung des Antennenstroms, Feldstärkemesser) die Einstellungen für die beste Leistungsabstrahlung oft deutlich verfehlt.



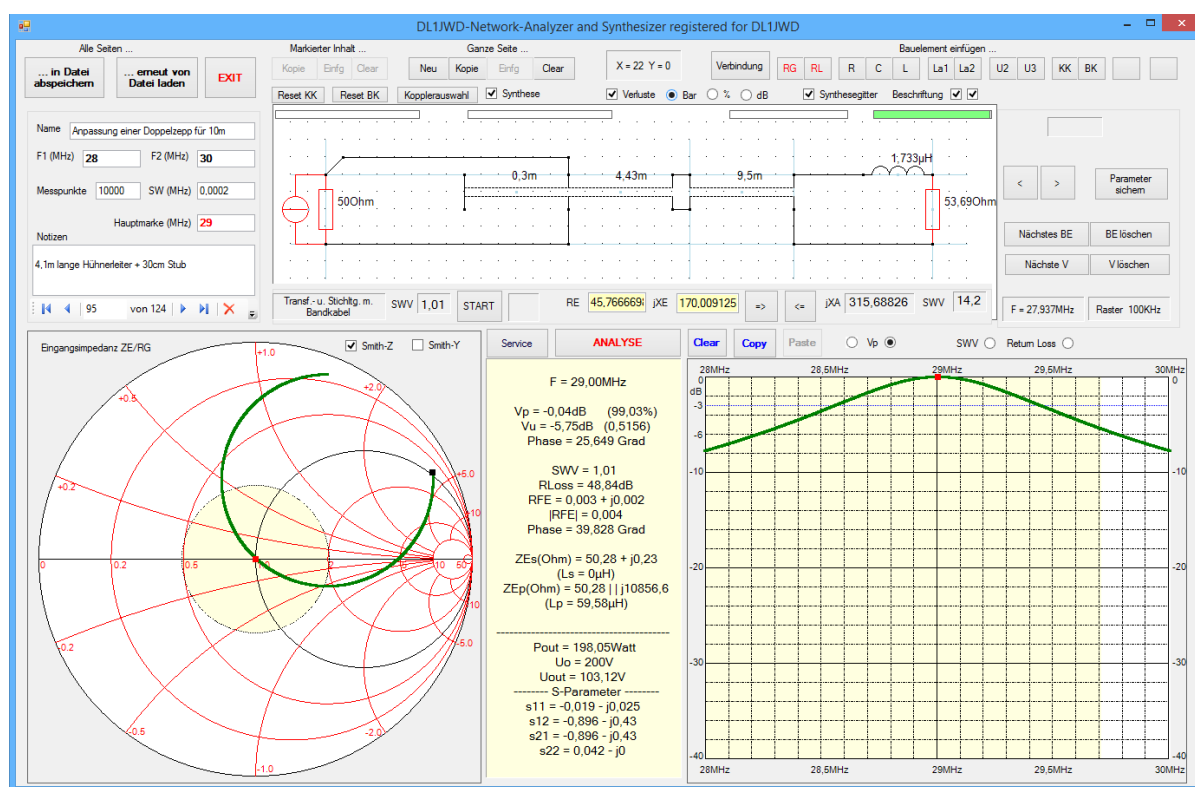
## Länge des Feeders optimieren

In diesem Beispiel hat der Feeder einer über 9,5m Hühnerleiter gespeisten 2x14m Doppelzepp bei 29MHz eine Eingangsimpedanz  $Z_E(\Omega) = 45,5 + j170$ .

Wählt man als Typ der Anpass-Schaltung eine „Transformations- und Stichleitung mit Bandkabel“, so kann man für den Betrieb auf 10m auf einen Antennenkoppler verzichten.

Die Hühnerleiter müsste nur um 4,43m verlängert und mit einem 30cm langen und am Ende kurzgeschlossenen Stub abgeschlossen werden, um einen reellen 50Ω-Eingangswiderstand zu bieten.

**HINWEIS:** Natürlich sollte am Eingang noch ein ausreichend dimensionierter Strombalun zwecks Symmetrierung und Mantelwellenunterdrückung vorhanden sein.



### Fazit:

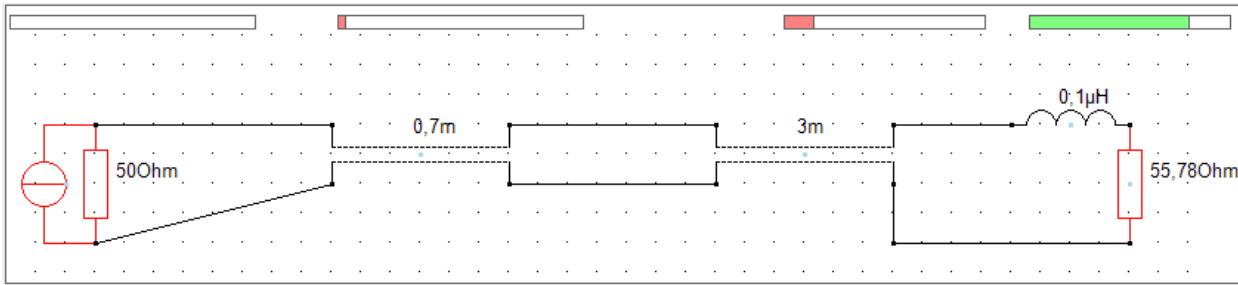
Für Einband-Betrieb kann eine Anpassung mittels Transformations- und Stichleitung durchaus zu einer eleganten und verlustarmen Lösung führen.

## Experimente mit Lautsprecherkabel-Dipol

In der CQ DL 3/2017 habe ich die Dimensionierung eines Unterdach-Dipols für das 15m-Band beschrieben, der komplett aus Lautsprecherkabel FL 2x0,75 gefertigt ist. Speiseleitung (3m) und Luftbalun (0,7m) werden aus zwei parallel geschalteten Kabeln hergestellt.

Die gemessenen Daten sind im Formular „Spezifikation für Koppler-Schaltung“ enthalten, welches Sie über den Button [Kopplerauswahl](#) erreichen.

Die Transmission (Wirkungsgrad) erreicht vertretbare 80%:

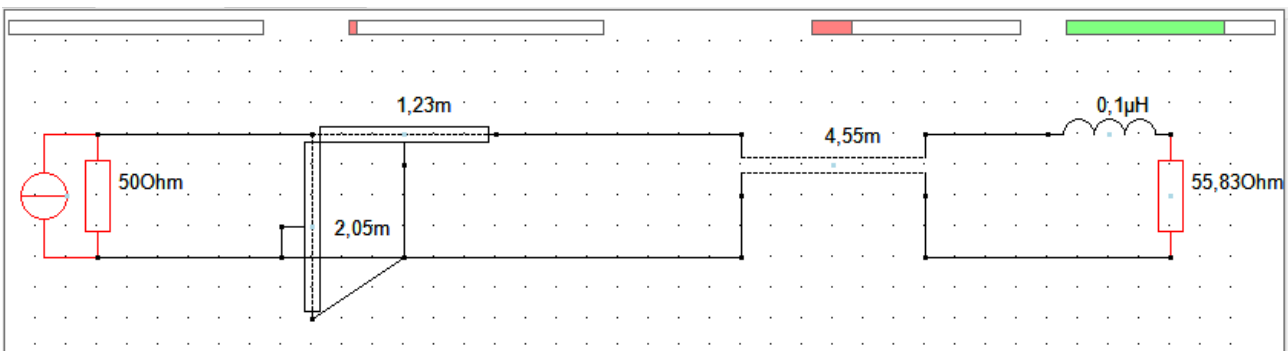


Da aus der Parallelschaltung ein Wellenwiderstand von  $Z_w = 58\Omega$  resultiert, bleibt die (unabgestimmte) Speiseleitung nahezu stehwellenfrei ( $SWR = 1,05$ ).

Verzichtet man auf die Parallelschaltung und nimmt als Feeder nur ein einfaches  $4,55\text{m}$  ( $\lambda/2$ ) langes Lautsprecherkabel ( $Z_w = 102\Omega$ ), so erreicht man trotz eines  $SWR = 1,23$  immerhin noch eine Transmission die kaum schlechter ist (79%), allerdings ist jetzt die genaue Länge der Speiseleitung sehr kritisch.

Es liegt nahe, zur Anpassung eine ebenfalls aus Lautsprecherkabel gefertigte „Transformations- und Stichleitung mit Bandkabel“ zu verwenden, wie Sie sie über  als Schaltungstyp auswählen können.

Sie werden aber feststellen, dass dafür im Synthesemodus keine Lösung gefunden wird, wohl aber z.B. mit RG-58 Koaxkabel:



Wir haben jetzt ein ideales  $SWR = 1,02$ , aber die Transmission (76,5%) hat sich geringfügig verschlechtert, was allerdings in der Praxis völlig unbedeutend ist.

### Fazit:

Soweit das möglich ist, sollte man eine unabgestimmte (stehwellenfreie) Speiseleitung bevorzugen, andererseits kann auch eine abgestimmte Speiseleitung zu guten Ergebnissen führen.



## Teil 3: Technische Grundlagen

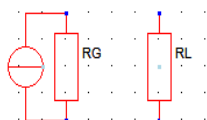
Im Folgenden finden Sie eine knappe Erklärung der in *HamVNAS* verwendeten Bauelemente-modelle und die Herleitung der Betriebsparameter.

### Modellbibliothek

Meine Bauelemente-Ersatzschaltbilder wurden 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




---

**HINWEIS:** Jede Schaltung muss genau einen Generatorwiderstand  $R_G$  und genau einen Lastwiderstand  $R_L$  haben!

---

Beispiel:

Bei der Anpassung einer Sendeantenne ist  $R_G$  in der Regel identisch mit dem Innenwiderstand der PA (50 Ohm) und  $R_L$  mit der reellen Komponente der Eingangsimpedanz der Antennenzuleitung (die genauen Werte lassen sich mit einem Antennenanalysator ermitteln).

---

**HINWEIS:** Sie können  $R_G$  und  $R_L$  an jede beliebige Stelle der Schaltung setzen, es wird immer das Übertragungsverhalten zwischen dem dadurch definierten Input- und Output-Tor ermittelt.

---

Das in *HamVNAS* aus Platzgründen verwendete Generatorersatzschaltbild (Stromquelle mit parallel geschaltetem  $R_G$ ) ist austauschbar mit einer Spannungsquelle und  $R_G$  in Reihe:

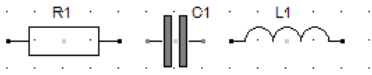



---

**HINWEIS:** Falls nur die Eingangsimpedanz  $Z_e$  einer Schaltung ermittelt werden soll, ist die Größe von  $R_G$  bedeutungslos ( $R_G$  muss aber vorhanden sein, sonst erfolgt Fehlermeldung!).

---

## 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  $\mu\text{H}$ ) zusätzlich die Spulenleerlaufgüte QL als dimensionslose Zahl einzugeben.

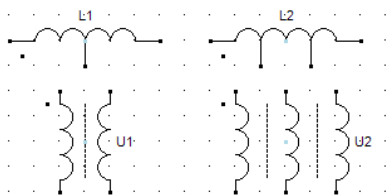
QL ist das Verhältnis des induktiven Blindwiderstandes XL zum Reihenverlustwiderstand RL der Spule:

$$QL = XL / RL$$

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( $\mu\text{H}$ )**: 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.

**HINWEIS:** Der Anfang der Sekundärwicklung hat keine Markierung, ob sie gleich- oder gegensinnig gewickelt ist, erkennt man am **Vorzeichen** von  $w_1/w_2$ !

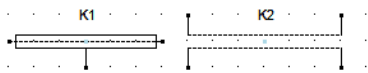
Die elektrischen Parameter für angezapfte Induktivitäten:

- **L( $\mu$ H), QL:** wie bei normaler Induktivität
- **k:** Koppelfaktor ( $\leq 1$ , wie bei Übertrager)
- **$w_1 / w$ :** Windungszahl  $w_1$  vom „kalten“ Ende der Spule (das ist das ohne schwarzen Punkt) bis zur ersten Anzapfung im Verhältnis zur Gesamtwindungszahl  $w$
- **$w_2 / w$ :** Windungszahl  $w_2$  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:  $w > w_2 > w_1$ .

## Koaxkabel, Bandkabel

Koaxialkabel und Bandkabel haben identische elektrische Modelle und unterscheiden sich nur



dadurch, dass es sich einmal um einen Dreipol (unechter Vierpol), ein anderes mal um einen echten Vierpol handelt:

- **$Z_w(\text{Ohm})$ :** Wellenwiderstand
- **$l(\text{m})$ :** Länge
- **$v$ :** Verkürzungsfaktor (kleiner oder idealerweise gleich Eins)
- **$a(\text{dB}/100\text{m})$ :** Kabeldämpfung pro 100m 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 des Frequenzverhältnisses interpoliert wird:

$$a[\text{dB}] \approx a[\text{dB}]_{10\text{ MHz}} \sqrt{\frac{f[\text{MHz}]}{10}}$$

## Basialgorithmen

Jede Schaltungsanalyse, auch die mit Papier und Bleistift, geschieht in zwei Etappen:

1. Aufstellen der Netzwerkgleichungen
2. Lösen der Netzwerkgleichungen

## Aufstellen der Netzwerkgleichungen

Am Anfang steht die Analyse der Schaltungstopologie. Da die klassische Vierpoltheorie in eine Sackgasse führt, hatte ich vor vielen Jahren in /3/ die "Methode der Unbestimmten Knotenleitwertmatrizen" entwickelt.

Dabei werden die Anschlüsse (Knoten) aller Bauelemente zunächst fortlaufend durchnummeriert, sind Anschlüsse miteinander verbunden, so werden sie zu einem gemeinsamen Knoten zusammengefasst.

**HINWEIS:** Das Ergebnis einer Topologieanalyse können Sie sehen, wenn Sie im [Service](#)-Bereich den Button klicken.

[Knoten anzeigen](#)

## Lösen der Netzwerkgleichungen

Rechenzeitintensiver Kern der Schaltungsanalyse mit *HamVNAS* ist die Ermittlung der zwischen Ein- und Ausgangstor liegenden komplexen **Y**-Vierpolmatrix, was durch schrittweise Elimination der inneren Schaltungsknoten mittels eines modifizierten vektoriellen Gauss-Algorithmus realisiert wird. Ergebnis sind die Real- und Imaginärteile der vier Elemente der Y-Vierpolmatrix, die bei Bedarf auch im unteren Teil des Tablett "Betriebsparameter" (36) aufgelistet werden können:

$$\begin{aligned} Y_{11} &= g_{11} + j b_{11} & Y_{12} &= g_{12} + j b_{12} \\ Y_{21} &= g_{21} + j b_{21} & Y_{22} &= g_{22} + j b_{22} \end{aligned}$$

Zusätzlich ist aber auch eine Ausgabe der S-Parameter möglich.

## Betriebsparameter

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



**HINWEIS:** Beachten Sie folgenden „feinen Unterschied“ zu anderen vergleichbaren Programmen:  
Die Matrix **Y** ist in *HamVNAS* ein so genannter „echter“ Vierpol, eine durchgehende Masseverbindung zwischen RG und RL ist also nicht zwingend erforderlich! Das erweitert erheblich den Einsatzbereich.

## Spannungsverstärkung Vu

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

$$V_u = U_2 / U_0 = - Y_{21} * G_G / ((Y_{11} + G_G) * (Y_{22} + G_L) - Y_{12} * Y_{21})$$

oder

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

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

## Leistungsübertragung Vp

Dieser wichtige, manchmal auch als Leistungsverstärkung oder Transmission bezeichnete Parameter steht für das Verhältnis der am Lastwiderstand RL umgesetzten Leistung zur maximal verfügbaren Generator- bzw. PA-Leistung (Wirkungsgrad). Im Unterschied zur Spannungsverstärkung Vu handelt es sich um eine reelle (also keine vektorielle) Größe.

Der Frequenzgang von Vp entspricht der experimentellen Situation bei der Aufnahme von Wobbelkurven:

$$V_p = |V_u|^2 * 4 * R_G / R_L$$

und in Dezibel:

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

---

**HINWEIS:** Die so genannte Übertragungsdämpfung (a[dB]) – gewissermaßen die negative Leistungsverstärkung – unterscheidet sich von  $V_p$  nur durch das Vorzeichen.

---

### Eingangsimpedanz $Z_E$

Der vektorielle Eingangswiderstand ist der Kehrwert des vektoriellen Eingangsleitwerts:

$$Z_E = 1 / Y_E$$

$$\text{mit } Y_E = Y_{11} - Y_{12} * Y_{21} / (Y_{22} + 1 / R_L)$$

$Z_E$  wird sowohl als Serienschaltung

$$Z_{Es} = R_s + jX_s$$

als auch als Parallelschaltung angegeben:

$$Z_{Ep} = R_p \parallel jX_p$$

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*):

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

bzw.

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

### Eingangsreflexionsfaktor $RF_E$

$RF_E$  leitet sich aus dem Eingangsleitwert  $Y_E$  und dem Generatorwiderstand  $R_G$  her:

$$RF_E = (Y_E - 1 / R_G) / (Y_E + 1 / R_G)$$

### Stehwellenverhältnis SWR

VSWR errechnet sich aus dem Betrag von  $RF_E$ :

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


### Rückflussdämpfung $R_{Loss}$

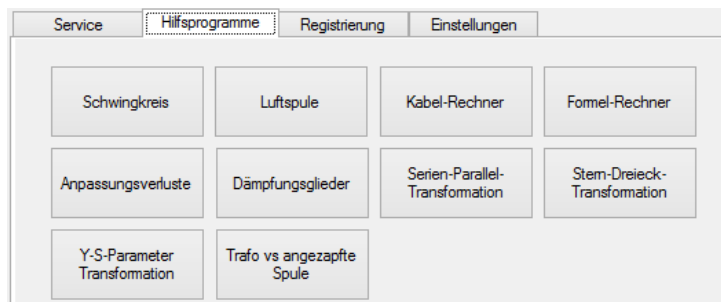
$R_{Loss}$  ist das logarithmische Maß des Reflexionsfaktors  $RF$ :

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

# Anhang

## Hilfsprogramme

Diese über den Button  (24) erreichbaren Helferlein sind als „Zugabe“ zu *HamVNAS* zu verstehen, sie enthalten einige wichtige Umrechnungen aus der Alltagspraxis des Funkamateurs.



### Schwingkreis

... kann man immer gebrauchen, auch wenn es "nur" um die Umrechnung von L oder C in Blindwiderstände geht.

### Luftspule

... die bekannten Formeln für einlagige Zylinderspulen.

### Kabel-Rechner

Dieses Tool berechnet die Eingangsimpedanz verlustbehafteter Leitungen und auch umgekehrt die Impedanz am fernen Kabelende. Das zugrundegelegte mathematische Modell entspricht dem von *HamVNAS*.

---

**HINWEIS:** Die oben unter "Kabelparameter" einzutragenden Werte beziehen sich auf die Katalogangaben, d.h., auf die frequenz- und längenabhängige Grunddämpfung einer wellenwiderstandsmäßig richtig abgeschlossenen Leitung. Die durch Stehwellen verursachte Zusatzdämpfung hat hier nichts zu suchen!

---

Das folgende Beispiel bestätigt die in Übung 10 ("Durchführung einer Verlustanalyse") berechneten Transformationen (15m RG-213).

**Kabelparameter**

F(MHz)  Länge(m)  Zw(Ohm)  vk  a(dB/100m)  10MHz  
a(dB)  1.33 3.65MHz

**Impedanzmessung am Anfang des Speisekabels**

Re(Ohm)  jXe(Ohm)

**Fußpunkt-Impedanz der Antenne**

Ra(Ohm)  jXa(Ohm)

**Mit verlustfreiem Koppler ...**

	PA: 50 Ohm	Ohne Tuner	... am Eingang des Speisekabels	... am Antennenfußpunkt
SWV am Eingang des Speisekabels:		39.39	1.00	1.00
Verluste durch Fehlanpassung:		90.34% 10.15dB	0% 0dB	0% 0dB
Verluste im Speisekabel:		8.72% 10.13dB	90.3% 10.13dB	4.48% 0.2dB
Transmission		0.94% -20.28dB	9.7% -10.13dB	95.52% -0.2dB
SWV an der Antenne:		405.74	405.74	1.00

Im unteren Teil des Fensters werden links die Verhältnisse dargestellt, wenn man auf eine Anpassung verzichten würde und den Eingang des Speisekabels direkt mit dem PA-Ausgang verbindet.

Rechts sieht man die Verhältnisse bei Verwendung eines idealen verlustfreien Kopplers (dazu müssten die Spulen eine unendlich hohe Güte haben). Die (nur theoretisch erreichbare) maximale Transmission wird für zwei Fälle angezeigt:

- Koppler zwischen PA-Ausgang und Eingang des Speisekabels
- Koppler zwischen Endes des Speisekabels und Antennenfußpunkt.

Natürlich könnte man diese Berechnungen auch direkt in *HamVNAS* vornehmen und würde zu den gleichen Ergebnissen kommen, mit diesem Tool kann man sich aber sehr schnell einen Überblick verschaffen.

---

**HINWEIS:** Mit diesem Tool lässt sich auch sehr bequem die Kabeldämpfung aus den Katalogangaben auf andere Kabellängen oder Frequenzen umrechnen (und umgekehrt), Sie brauchen im oberen Bereich nur den Eintrag in einem Feld zu ändern, die anderen Feldinhalte passen sich automatisch an!

---

## RF, SWV, RLoss

... ermöglicht die Umrechnung zwischen Reflexionsfaktor, Stehwellenverhältnis und Rückflußdämpfung.

## Dämpfungsglieder

... dimensioniert Dämpfungsglieder in Pi- und T-Schaltung.

## Serien-Parallel-Transformation

... rechnet die Reihenschaltung eines komplexen Widerstandes in die äquivalente Parallelschaltung für eine bestimmten Frequenz um (und umgekehrt).

## Stern-Dreieck-Transformation

... rechnet die T-Schaltung von drei komplexen Widerständen in die äquivalente Pi-Schaltung für eine bestimmten Frequenz um (und umgekehrt).

## Y-S-Parameter-Transformation

... rechnet Y- in S-Parameter um (und umgekehrt).

## Trafo vs angezapfte Spule

... rechnet einen Trafo in eine angezapfte Induktivität um (und umgekehrt).

## Formelrechner

Mit diesem für mich unverzichtbaren "Wissenschaftlichen Taschenrechner" lassen sich mathematische Ausdrücke bequem darstellen und auflösen.

Die Syntax entspricht der von Visual Basic, dürfte aber sofort für jedermann verständlich sein.

---

**HINWEIS:** Groß- oder Kleinschreibung oder eingefügte Leerzeichen sind bedeutungslos, ebenso können Sie hier (im Unterschied zu *HamVNAS*) Komma **oder** Punkt als Dezimaltrenner verwenden.

---

Die folgenden Beispiele erläutern die Bedienung:

### Beispiel 1: Thomson'sche Schwingungsformel

Die zugeschnittene Größengleichung für die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises:

$$f [MHz] = \frac{1000}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L [\mu H] \cdot C [pF]}}$$

The screenshot shows a software window titled "Formel-Rechner (DL1JWD)". It has a "Formel" input field containing the formula "1000 / (2 \* pi \* sqrt(L \* C))". Below it is an "Ergebnis" (Result) field showing the calculated value "15.9154943091895". To the right of the formula field are two input fields for parameters: "L" and "C", both set to "10". There are buttons for "=" and "CLEAR". At the bottom, there is a list of mathematical functions categorized in two columns. A "Beenden" (End) button is at the bottom right.

Parameter		Wert
L		10
C		10

Ergebnis	
15.9154943091895	

abs	Absolutwert	log	Natürlicher Logarithmus	sinh	Hyperbelsinus
acos	ArcCosinus	log10	Dekadischer Logarithmus	sqrt	Quadratwurzel
asin	ArcSinus	pow	Potenzfunktion ( ^ )	tan	Tangens
atan	ArcTangens	pi	Pi	tanh	Hyperbeltangens
cos	Cosinus	round	Rundungsfunktion	truncate	ganzzahliger Teil
cosh	Hyperbelcosinus	sign	Vorzeichenfunktion		
exp	Exponentialfunktion	sin	Sinus		

Beenden

Mit  $L=10\mu H$  und  $C = 10pF$  ergibt sich die Resonanzfrequenz zu 15,915... MHz.



**Beispiel 2: Wellenwiderstand symmetrischer Zweidrahtleitungen**

Für symmetrische Zweidrahtleitungen gilt nach /4/ unter der Bedingung  $a/d > 3,6$  die Beziehung:

$$Z_L = VF * 120\Omega * \ln(2a / d)$$

VF = Verkürzungsfaktor; a = Abstand zwischen beiden Leitungen; d = Drahtdurchmesser;

$Z_L$  = Wellenwiderstand( $\Omega$ )

Das folgende aus /3/ entnommene Beispiel bezieht sich auf eine von DX-Wire vertriebene 300- $\Omega$ -Bandleitung:

Formel	Parameter	Wert
VF * 120 * log(2 * a / d)	VF	0,792
= CLEAR	a	8,5
	d	0,81
Ergebnis		
289.295523035342		

Der Wellenwiderstand ergibt sich zu  $Z_L = 289,3\Omega$ .

**Beispiel 3: Strahlungswiderstand elektrisch kurzer Antennen**

Es wird die aus /8/ entnommene Formel zur Berechnung des Strahlungswiderstands einer 2,2m langen Vertikalantenne für das 80m-Band ( $\lambda = 82,2\text{m}$ ) verwendet:

Formel	Parameter	Wert
$40 * (1 - 1,32 * l_a / l_{bd}^2) * \tan(\pi * l_a / l_{bd})^2$	$l_a$	2,2
= CLEAR	$l_{bd}$	82,2
Ergebnis		
0.284004383017348		

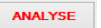

$l_a$  = Länge des Strahlers;  $l_{bd}$  = Wellenlänge;


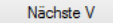




Der Realteil des Strahlungswiderstands beträgt  $R_s = 0,284\Omega$ .

## Problemlösungen

Die in *HamVNAS* eingesetzten Algorithmen für Aufstellen und Lösen der Netzwerkgleichungen und die implementierten mathematischen Modelle der verwendeten Bauelemente haben sich bereits seit vielen Jahren in anderen von mir entwickelten Programmen in Lehre, Forschung und Industrie bewährt. Meist sind falsch gezeichnete Schaltungen, falsch zugewiesene Parameter und Bedienfehler die Fehlerursache.

*HamVNAS* wurde von mir und einem guten Dutzend anderer OMs, bei denen ich mich hier nochmals herzlich bedanke, ausgiebig getestet. Dabei traten folgende Probleme auf:

Problem	Lösung
Beim Klick auf  kommt eine Fehlermeldung "Der Zugriff auf den Pfad "C:\Program\Files\...\CircuitsDB.dat wurde verweigert".	Beenden Sie das Programm und klicken Sie mit der <b>rechten</b> Maustaste auf <i>HamVNAS.exe</i> und wählen Sie im Popup-Menü " <i>Als Administrator ausführen</i> ". Empfohlen wird aber, dass Sie den Ordner <i>\HamVNAS</i> nicht im <i>\Programme</i> -Verzeichnis des PC, sondern im <i>\Benutzer</i> - Verzeichnis anlegen.
Mein PC hat zwar eine Grafikauflösung von größer als 1400x900, das Hauptfenster passt trotzdem 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>100% (Standard)</i> o.ä. vorzunehmen.
Mein Laptop hat zwar eine Grafikauflösung von 1600x900, der untere Rand des Hauptfensters wird aber durch die Taskleiste verdeckt.	Verkleinern Sie durch Ziehen am oberen oder unteren Rand die Höhe des Hauptfensters etwas und benutzen Sie dann die vertikalen Bildlaufleisten. Optional können Sie auch die Taskleiste vorübergehend ausblenden.
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.
Obwohl in den Beispielen die Hauptmarke ein Komma statt eines Punktes enthält, kommt bei der Analyse die Meldung "Hauptmarke muss innerhalb F1 und F2 liegen"	Rechtsklick auf den Windows-Start-Button: <i>Systemsteuerung / Region / Weitere Einstellungen / Zahlen / Dezimaltrennzeichen</i> => muss Komma sein, nicht Punkt!
Ich emuliere Windows unter LINUX und erhalte Fehlermeldungen.	Es fehlen die Bibliotheken des .NET-Frameworks (ab 4.5), wie sie unter Windows Vista, 7, 8, 10 standardmäßig vorhanden sind.
Sofort nach Programmstart erscheint eine Fehlermeldung.	Möglicherweise ist die Standard-Datenbankdatei ( <i>CircuitsDB.dat</i> ) beschädigt, ersetzen Sie diese durch eine vorher angefertigte Kopie.
Ich kann den Registrierschlüssel nicht speichern.	Sie müssen den Schreibschutz aufheben!
Nach Klick auf  erscheint eine Fehlermeldung oder es passiert überhaupt nichts.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überprüfen Sie, ob <u>allen</u> Bauelementen (auch RG und RL) <u>alle</u> elektrischen Parameter richtig (Maßeinheit!) zugewiesen wurden.</li> <li>- 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).</li> <li>- Klicken Sie im <i>Service</i>-Bereich auf  um auszuschließen, dass Bauelemente falsch verbunden oder außerhalb des Designers „fallengelassen“ wurden.</li> <li>- Hat die Schaltung <u>einen</u> Generator- <u>und</u> <u>einen</u> Lastwiderstand? <b>Wurde RG richtig an seinen beiden Pins angeschlossen?</b> Überprüfen Sie die elektrischen Parameter, vermeiden Sie Nullwerte bei R und L und nehmen Sie stattdessen sehr kleine Werte.</li> </ul>

Nach Änderung der Schaltungsstruktur (Hinzufügen oder Entfernen von Bauelementen oder Verbindungen) verweist eine Meldung auf Fehler im Datengitter.	Klicken Sie nach jeder Änderung der Schaltungsstruktur auf  , damit die Knotennummern neu zugewiesen werden (nicht zugewiesene Knotennummern haben die Nummer 0).
Eine Verbindung oder ein Bauelement lässt sich nicht markieren, ziehen oder löschen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 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>.</li> <li>- Klicken Sie im Tablett "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) mehrfach . Die Markierung durchwandert <u>alle</u> Verbindungen.</li> <li>- Eine <u>schräge Verbindung</u> kann nur dann markiert werden, wenn man in die unmittelbare Nähe ihres Anfangs- oder Endpunktes klickt.</li> <li>- Ursache kann auch eine <u>prellende Maus</u> sein, testen Sie versuchsweise eine andere Maus!</li> </ul>
Im Parameter-Tablett (36) werden keine Betriebsparameter angezeigt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klicken Sie den Button .</li> <li>- Zeigen Sie mit der Maus auf die Ortskurve im Smith-Diagramm (34) oder bewegen Sie die Maus im Wobbel-Diagramm (37).</li> </ul>
Die elektrischen Parameter des Bauelements werden nicht angezeigt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Klicken Sie im Designer auf das Bauelement (blauer Punkt).</li> <li>- Im Eingabefeld des Tablets "Elektrische Parameter und Verbindungen" (22) können Sie den Wert ablesen und editieren, z.B.   </li> <li>- Alternativ könnten Sie den -Bereich (24) öffnen und dort die Bauelementeliste editieren.</li> </ul>
Der blaue (sensitive) Punkt eines Bauelements ist nicht sichtbar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erhöhen Sie die Helligkeit des Bildschirms oder setzen Sie im <i>Service</i>-Bereich das Häkchen bei "mehr Kontrast" (anschließend  und  und Neustart des Programms.</li> </ul>
Das Antennen-Ersatzschaltbild wird fehlerhaft generiert.	In das Feld  (59) darf das "j" <b>nicht</b> mit eingetragen werden!
Ich möchte eine weitere Datenbank erstellen.	<p>Kopieren Sie eine beliebige <i>.dat</i>-Datei in ein anderes Verzeichnis und benennen Sie die Datei um (z.B. in <i>NeueSchaltungen.dat</i>), bevor Sie sie wieder zurück kopieren.</p> <p>Löschen Sie die alten Seiten bzw. Seiteninhalte der Datei.</p>

## Literatur

- /1/ Doberenz, W., DL1JWD: Schaltungen zur Antennenanpassung rechnergestützt entwerfen. FUNKAMATEUR 65 (2016) H2, S.127-129; H3, S.228-231
- /2/ Doberenz, W., DL1JWD: Netzwerkanalyse für Funkamateure. CQ DL 2-2016, S.17-19
- /3/ Doberenz, W.: Algorithmen der Netzwerkanalyse elektronischer Schaltungen unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Personalcomputern. Habilitationsschrift Ingenieurhochschule Mittweida 1987
- /4/ Neibig, U., DL4AAE: Dämpfung und Verkürzungsfaktor von Zweidrahtleitungen. FUNKAMATEUR 65 (2016) H.11, S. 1034-1039
- /5/ Wippermann, W., DG0SA: Hühnerleiter an Antennentuner. [www.dg0sa.de/balunatuhl.pdf](http://www.dg0sa.de/balunatuhl.pdf)
- /6/ Graubner, N., DL1SNG: Ferngesteuerter symmetrischer Antennenkoppler für 200 W  
FUNKAMATEUR 64 (2015) H.7,8,9
- /7/ Graubner, N., DL1SNG: Messung von Antennenimpedanzen und deren Anpassung an 50  $\Omega$ , Vortrag zur HamRadio Friedrichshafen 2012
- /8/ Janzen, G. DF6SJ „Kurze Antennen“, DARC-Verlag, 1989
- /9/ Borucky, L., DL8EAW: Leistungsanpassung in der Funktechnik, Verlag für Technik und Handwerk Baden-Baden 2005
- /10/ Rügger, M., HB9ACC: Praxisbuch Antennenbau. Box 73 Amateurfunkservice GmbH Berlin 2014