

## Kleiner Netzwerkanalysator V3.0

Der KNWA entstand als kurzfristige Reaktion auf das zahlreiche Feedback zu meinem Beitrag "[SWR gut - alles gut?](#)" in der CQ-DL 4/19<sup>1</sup> und basiert auf einem abgerüsteten [HamVNAS](#) bei gleichzeitigem Einbau neuer Funktionen.

Aufbau und Bedienung sind weitgehend identisch geblieben, eine detaillierte Beschreibung der elektrischen Parameter der Bauelemente ist dem Handbuch von HamVNAS zu entnehmen.

Im Unterschied zu HamVNAS ermöglicht der KNWA keine Synthese von Antennenanpassungen, enthält dafür aber einige neue Bauelemente, eine detaillierte Verlustanalyse und direkte Spannungsmessungen.

Neben dem obligatorischen *Generatorwiderstand*  $R_G$  (Innenwiderstand der PA) und der *Lastimpedanz*  $Z_A$  (Eingangsimpedanz von Antenne bzw. Antennenzuleitung) sind folgende Bauelemente verfügbar und können frei platziert werden:

- *Ohm'scher Widerstand* (R)
- *Kapazität* (C)
- *Induktivität* (L)
- *einfach angezapfte Induktivität* (La1)
- *zweifach angezapfte Induktivität* (La2)
- *Zweiwicklungsübertrager* (U2)
- *Dreiwicklungsübertrager* (U3)
- *Koaxkabel* (CC)
- *Bandkabel* (RC)
- *Dipol* (DIP)
- *Groundplane* (GP)
- *Voltmeter* (VM)

Baluns können durch Koax- bzw. Bandkabelstücke modelliert werden.

Alternativ zur Lastimpedanz  $Z_A$  sind auch Antennen direkt als Bauelemente einsetzbar:

- *Dipol (symmetrisch oder unsymmetrisch)* (DIP)
- *Groundplane* (GP)

Das Programm wobbelt die Antennen-Fußpunktimpedanz auf Basis der geometrischen Abmessungen der Antenne und den daraus abgeleiteten Integralen der Antennentheorie. Damit ist die Analyse von Antennenanpassungen nicht mehr nur auf einen einzigen Frequenzpunkt beschränkt, sondern kann auf den gesamten KW-Bereich ausgedehnt werden.

Das in Version 2.6 noch verfügbare Bauelement "S11" wurde wieder abgeschafft, da ein VNA in der Regel auch die Werte in der kartesischen Form  $Z_e = R + jX_e$  liefert.

Statt "S11" gibt es ab der Version 3.0 ein neues Bauelement:

- *Messwert der Eingangsimpedanz* (VNA)

---

<sup>1</sup> Tnx an Hans, DJ7BA, der als glühender Anhänger des weltweit verbreiteten *SimSmith* mich zu dieser außerplanmäßigen Aktion angestachelt hat ;-)

Als Parameter verlangt "VNA" die vorher z.B. mit einem NanoVNA gemessenen (oder mit EZNEC o.ä. berechneten) Real- und Blindanteile der Eingangsimpedanz  $Z_{in} = R_e + jX_e$ .

Auf diese Weise ist z.B. über eine Messung am Eingang des Speisekabels, Baluns oder ATUs eine indirekte Bestimmung der Antennen-Eingangsimpedanz am Ende des Antennenkabels möglich (siehe *Beispiel 9 vna*).

Eine weitere bereits ab V2.6 eingeführte Neuerung kann insbesondere bei der Verlustanalyse von Antennenanpassungen sehr hilfreich sein<sup>2</sup>:

die Symbole für Koax- und für Bandkabel sind verkleinert, damit sie weniger Platz auf der Oberfläche des Designers einnehmen.

So ist es möglich, mehr Bauelemente in einem Segment unterzubringen.

Wer bereits mit älteren KNWA-Versionen gearbeitet hat, muss dann allerdings seine bereits erstellten Schaltungsdateien überarbeiten und im Designer die Bauelemente "KK" und "BK" durch die kleineren Symbole händisch ersetzen.

---

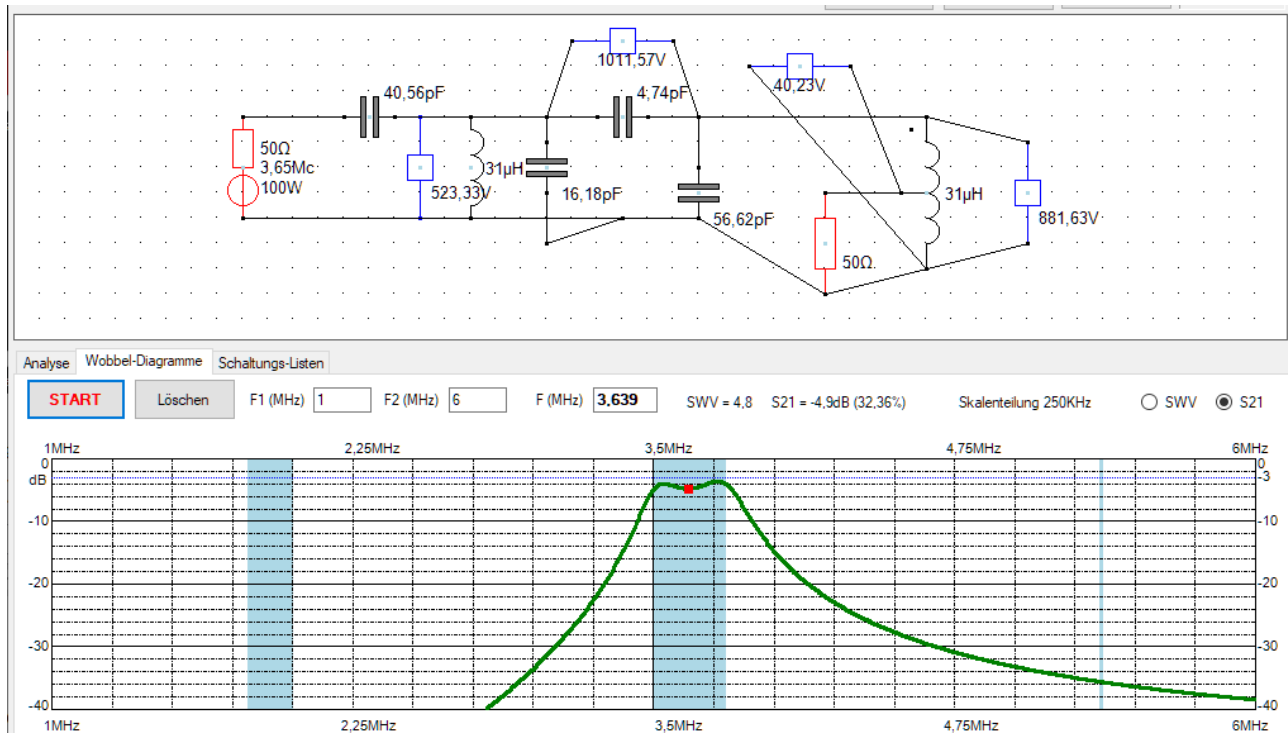
2 Tnx Urs, HB9MPN, für diese Anregung.

## Beispiel 1: Bandpass für das 80m-Band

Lade über **Datei/Öffnen** die Datei *Beispiel\_1.ama*. Das Schaltbild ist bewusst etwas "chaotisch" gezeichnet, um zu zeigen, dass die Bauelemente beliebig gedreht und frei platziert werden können und z.B. auch Leitungsüberkreuzungen möglich sind.

Wähle (unten links) den Reiter "Wobbel-Diagramme", klicke ganz rechts die Option "S21" und dann den **START**-Button.

Nun kannst Du das Frequenzlineal im Diagramm bewegen und Dir die aktuellen Werte für Durchgangsdämpfung und eingangsseitiges SWV anzeigen lassen.



Der Verlauf der Wobbelkurve entspricht dem einer 2-Port-Durchgangsmessung mit dem VNA.

Klickst Du auf den **Analyse**-Reiter und anschließend wieder auf **START** so siehst Du ganz unten im Ergebnistableau die wichtigsten Betriebsparameter der mit einem Generatorwiderstand  $R_G$  und einer Lastimpedanz  $Z_A$  abgeschlossenen Schaltung bezogen auf die im Fenster oben links eingetragene Hauptfrequenzmarke (3,65MHz):

	F(MHz)	Vp(dB)	Vu(dB)	RLoss(dB)	SWRe	Zein(Ohm)	SWRa	Zaus(Ohm)	S11	S21
▶	3.65	-4.9 (32.37%)	-10.92 (176.94°)	3.66	4.82	228.08 -j52.64 (Cs = 828.31pF)	4.69	10.66 +j0.81 (Ls = 0.04μH)	-3.66dB 174.25°	-4.9dB 176.94°

### Bedeutung der Betriebsparameter:

Vp(dB):	Betriebsleistungsverstärkung bzw. Transmissions (mit umgekehrtem VZ = Durchgangsdämpfung)
Vu(dB):	Spannungsverstärkung
RLoss(dB):	Rückflussdämpfung (entspricht dem Betrag von S11)
SWRe:	Eingangsseitiges Stehwellenverhältnis
Zein(Ohm):	Eingangsimpedanz (Messwert, Generator abgetrennt)
SWRa:	Ausgangsseitiges Stehwellenverhältnis
Zaus(Ohm):	Ausgangsimpedanz (Messwert, Antenne abgetrennt)
S11, S22:	S-Parameter (Ein- bzw. Ausgangsreflexion, z.B. mit NanoVNA messbar)

## Wichtig:

Im obigen Schaltbild ist die (rot gezeichnete) Lastimpedanz  $Z_A$  ein reeller 50Ohm-Abschlusswiderstand.

Handelt es sich aber z.B. um eine Antenne, so haben wir es mit einer komplexen Lastimpedanz  $Z_A = R_A + jX_A$  zu tun.

In diesem Fall muss sich das antennenseitige SWR auf  $R_A$  beziehen und  $jX_A$  wird zur Blindkomponente der Ausgangsimpedanz  $Z_{aus}$  hinzuaddiert (siehe **Beispiel 12 vna**).

$Z_{aus}$  ist die Impedanz, die man bei abgetrenntem  $Z_A$  (Antenne) von hinten in das Kabel hinein messen würde.

Alle anderen Definitionen des antennenseitigen SWR sind kontraproduktiv bzw. führen in die Irre (siehe am Ende Korrespondenz mit Hans, DJ7BA).

## Beispiel 1 vna: Verwendung des neuen "VNA"-Baelements

Wenn der Abschlusswiderstand  $R_A$  des Filters unbekannt ist, kann man diesen mit Hilfe des "VNA"-Baelements indirekt über eine Messung der Eingangsimpedanz  $Z_E$  ermitteln (**Beispiel 1 vna.ama**).

Ersetze im Designer "RG" durch das blaue "VNA"-Baelement. Dessen erster Parameter, der Systemwiderstand  $R_G = 50\text{Ohm}$ , ist bereits fest eingetragen.

Mit Deinem realen VNA musst Du nun die Eingangsimpedanz des Filters messen.

Wir nehmen mal an, dies wäre der Wert  $228,1 - j52,6 \text{ Ohm}$ .

Beide Werte trägst Du nun in die "VNA"-Parameterliste ein.

Da die Abschlussimpedanz  $Z_A$  als unbekannt angenommen wird, sind deren Parameter zunächst egal, sie werden nach Klick auf "START" durch das Programm korrigiert.

Parameter	Value
Re(Ohm)	228.1
jXe(Ohm)	-52.6

In unserem Fall wird für  $Z_A$  erwartungsgemäß der Wert 50Ohm berechnet und angezeigt. Auch im Ergebnisgitter (unterer Fensterrand) erscheint jetzt für  $Z_{ein}$  der gemessene Wert. die übrigen Anzeigen im Ergebnisgitter sind identisch.

Einzige Unterschiede in der Designer-Ansicht sind nur das blaue VNA-Baelement anstatt RG sowie die Nullwerte der Voltmeter.

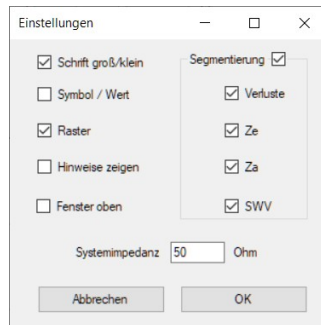
Dieses einfache Beispiel dient lediglich als "Beweis" für die Richtigkeit der Lösung des nicht ganz trivialen mathematischen Problems "Berechnung der Abschlussimpedanz einer Schaltung bei bekannter Eingangsimpedanz".

Eine praktisch sinnvollere Anwendung des "VNA"-Baelements findest Du im **Beispiel 9 vna**.

## Beispiel 2: Verlustanalyse des 80m-Bandpasses

Um die Schaltung des obigen 80m-Bandpasses einer detaillierten Verlustanalyse zu unterziehen, müssen die Bauelemente in eine bestimmte Ordnung umgruppiert werden.

Öffne das Menü **Einstellungen** und aktiviere die **Segmentierung** und weitere Optionen:



Im Designer ist jetzt ein blaues Gitter eingeblendet. Durch Verschieben der Bauelemente und Verbindungen muss nun ein regelkonformes Schaltbild entstehen ohne dabei natürlich das elektrische Verhalten des Netzwerks zu verändern.

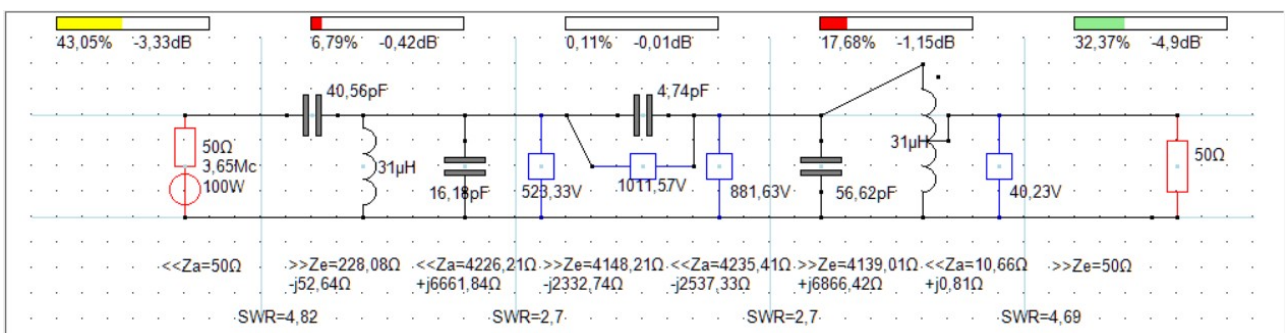
Folgende Regeln sind einzuhalten damit die Verlustbalken die richtigen Werte anzeigen:

- Der Generatorwiderstand (**RG** bzw. **VNA**) muss immer ganz links (im ersten Segment), die Lastimpedanz **ZA** ganz rechts (im fünften Segment) platziert werden.
- Zwischen benachbarten Segmenten sind nur **zwei** Verbindungen (Drähte) erlaubt. Diese müssen exakt auf der Höhe der beiden waagrechten Linien des blauen Gitters liegen.
- Das Platzieren von Bauelementeanschlüssen direkt auf den Kreuzungspunkten des Gitters ist zu vermeiden.
- Die Anschlüsse eines Bauelements dürfen **nicht** in verschiedenen Segmenten liegen.

Um Bauelemente oder Verbindungen zu verschieben ziehe um sie herum, bei gedrückt gehaltener **rechter** Maustaste, einen Rahmen, klicke dann mit der **linken** in diesen hinein und verschiebe ihn bei gedrückt gehaltener linker Maustaste an die neue Position.

Wenn das Umgruppieren zu umständlich ist, der sollte besser völlig neu beginnen (siehe **Beispiel 3**).

Um die Verlustanalyse für das folgende regelkonforme Schaltbild des 80m-Filters durchzuführen aktiviere den **Analyse**-Reiter und klicke die Schaltfläche **START**:



Unterhalb der Segmente siehst Du die Ein- und Ausgangsimpedanzen ( $Z_e$  bzw.  $Z_a$ ) und das SWR.

## Was bedeuten die Balken über den fünf Segmenten?

Der gelbe Balken (ganz links, 43,05%), zeigt die Verluste durch Fehlanpassung der PA. Gelb ist der Balken deshalb, weil dies ja keine Wärmeverluste sind.

Der 50Ohm-Innenwiderstand der Quelle "sieht" die komplexe Last  $Z_L(\text{Ohm}) = 228 - j52,6$  das entspricht einem  $\text{SWR} = 4,82$  bzw. Einbußen von 43%, es handelt sich also hier um eine deutliche Fehlanpassung.

Die drei mittleren Segmente sind auf unterschiedliche Weise beteiligt, zusammen mit dem ersten Segment ergeben sich Gesamtverluste von 67,63%.

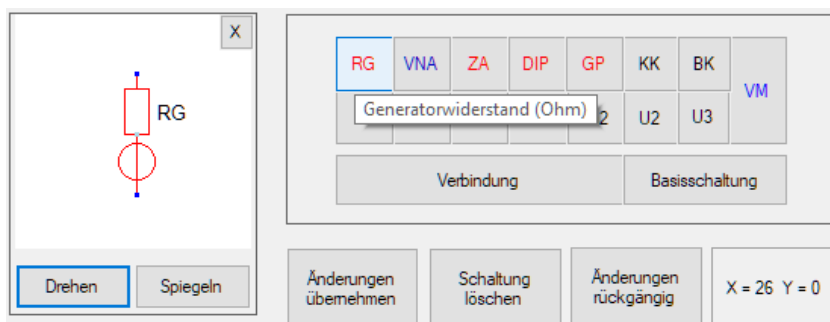
Der verbliebene Rest (32,37%) wird durch den grünen Balken über dem letzten Segment angezeigt, es ist die **Vorwärtstransmission S<sub>21</sub>** der Schaltung (-4,9dB) bzw. Durchgangsdämpfung (4,9dB), d.h., bei einer PA-Leistung von 100W werden im Lastwiderstand 32,37W umgesetzt.

## Beispiel 3: Entwurf einer Schaltung (80m-Bandpass)

Die Bedienung des Designers ist nicht schwer und wird schnell zur Routine.

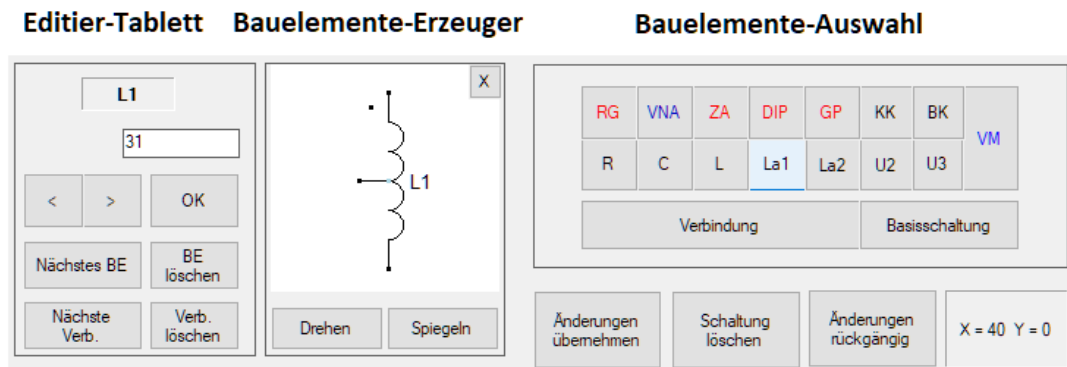
Hier soll Schritt für Schritt gezeigt werden, wie Du eine für die Verlustanalyse regelkonforme Schaltung von Grund auf selbst erzeugst.

- Öffne mit **Datei/Neu** eine neue leere Schaltungsdatei.
- Öffne das Menü **Einstellungen**, aktiviere die Segmentierung und setze darunter die erforderlichen Häkchen für die Anzeigeoptionen unterhalb der Schnittstellen der einzelnen Segmente (Verluste, Ze, Za, SWV).
- Nachdem Du den Dialog mit **OK** geschlossen hast, klickst Du in der **Bauelemente-Auswahl** (oben rechts) auf den Button **RG**. Das Symbol für den Innenwiderstand der PA erscheint im **Bauelemente-Erzeuger** (das Fensterchen links daneben) und muss dort so gedreht (**Drehen**) und gespiegelt (**Spiegeln**) werden wie es später an seiner endgültigen Position erscheinen soll.



- Klicke mit der linken Maustaste in das **erste** Segment des Designers (links neben der ersten blauen Linie) und verschiebe (bei gedrückt gehaltener Maustaste) das Bauelement an seine endgültige Position und lasse erst dort die Maustaste wieder los. Ein Drehen oder Spiegeln des Bauelements ist hier nicht mehr möglich.
- Klicke in der **Bauelemente-Auswahl** auf den Button **C**, drehe das C-Symbol im **Bauelemente-Erzeuger** in die gewünschte Lage und platziere es im zweiten Segment.

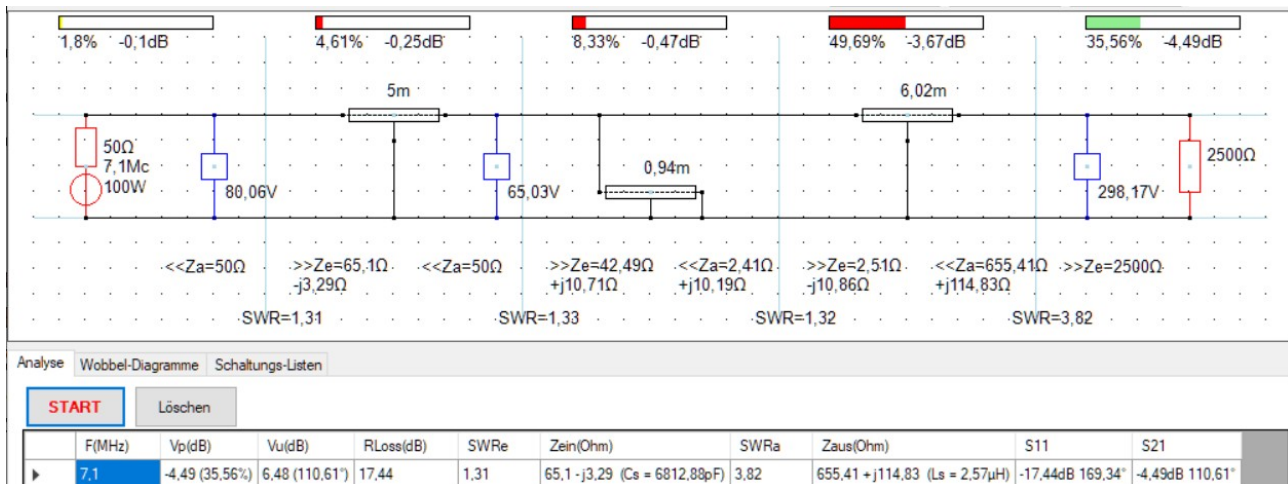
- Auf analoge Weise verfähre mit den anderen Bauelementen der drei mittleren Segmente.



- Klicke in der **Bauelemente-Auswahl** auf den Button **ZA** (Abschlussimpedanz) und platziere dieses Bauelement im fünften Segment (ganz rechts).
- Stelle nun die Verbindung zwischen den Bauelementen her, indem Du zunächst auf die **Verbindung**-Schaltfläche klickst. Dann klickst Du auf einen Anschluss und ziehst (bei gedrückt gehaltener Maustaste) die Verbindungslinie bis zum anderen Anschluss. Erst dort lässt Du die Maustaste wieder los.
- Stelle die restlichen Verbindungen her. Dazu brauchst Du die **Verbindung**-Schaltfläche nicht erneut zu klicken, sondern Du fährst einfach fort, indem Du auf den Startpunkt der nächsten Verbindung klickst, die Verbindung ziehst, die Maus loslässt usw.
- Setze Bauelemente vom Typ **VM** (Voltmeter) an die Stellen, wo Du die Spannungen messen möchtest.
- Einzelne Bauelemente kannst Du wieder entfernen, indem Du sie zunächst aktivierst (in die Nähe des blauen Punkts in der Mitte klicken). Das Bauelement erscheint jetzt rot umrandet und wird gelöscht, wenn Du auf **BE löschen** klickst (oder **Entf**-Taste der Rechnertastatur). Alternativ zum Anklicken kannst Du, bei gedrückt gehaltener rechter Maustaste, auch einen Rahmen um den zu löschenden Schaltungsausschnitt aufziehen.
- Spätestens jetzt solltest Du mit **Datei/Speichern als ...** die Schaltung unter einem aussagekräftigen Namen sichern.
- Das Zuweisen der elektrischen Parameter geschieht durch Anklicken des Bauelements (es erscheint rot umrandet) und Zuweisen der Werte im **Editier-Tablett**. Dessen **OK**-Schaltfläche brauchst Du erst dann zu klicken, nachdem alle Parameter des Bauelements eingegeben sind.

## Beispiel 4: Endgespeiste $\lambda/2$ -Koaxantenne (J-Antenne)

Dieses Beispiel bezieht sich auf meinen Beitrag "SWR gut - alles gut?" in CQDL 4/2019 (Aufmacherbild S.28). Lade über Datei/Öffnen die Datei **Beispiel 4.ama**, wähle (unten links) den



**Analyse-Reiter** und klicke daneben auf **START**.

Die auf dem Weg zur Antenne verlorengegangenen 64,44W setzen sich also wie folgt zusammen:

- 1,8W Verluste durch Fehlanpassung
- 4,61W Wärmeverluste im 5m langen RG58-Speisekabel
- 8,33W Wärmeverluste in der 0,94m langen RG58-Stichleitung
- 49,69W Wärmeverluste in der 6,02m langen RG58-Transformationsleitung

Die geringfügig abweichenden Ergebnisse gegenüber dem CQDL-Beitrag lassen sich auf eine Verbesserung des Kabelmodells zurückführen:

**Die Bezugshfrequenz  $f_b$  der Kabeldämpfung ist im KNWA nicht mehr wie bei den Vorgängern starr auf 10MHz festgelegt.**

**Entsprechend den zur Verfügung stehenden Katalogdaten bzw. Messwerten kann man  $f_b$  jetzt möglichst nahe der Arbeitsfrequenz wählen.**

Die Interpolation der Kabeldämpfung  $a$ (dB) für die Arbeitsfrequenz  $f$  erfolgt wie üblich nach der bekannten Wurzelmethode:

$$a(\text{dB})_f = a(\text{dB})_{f_b} \sqrt{\frac{f}{f_b}}$$

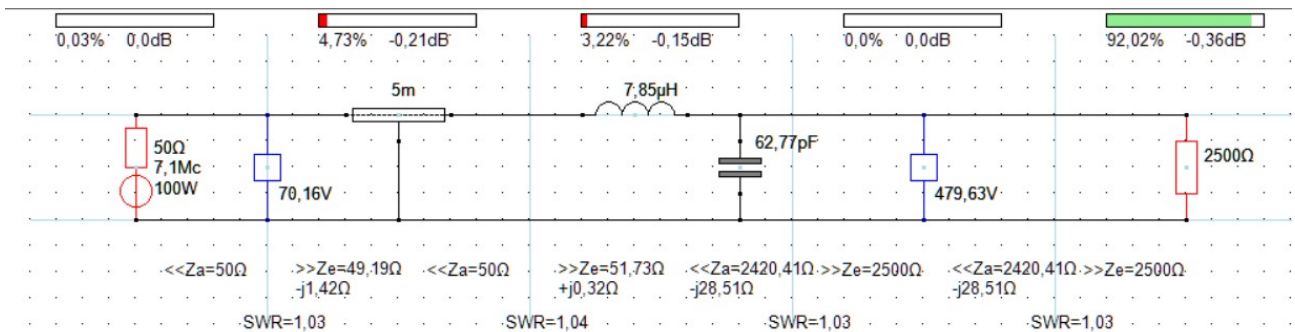
Um die Kabelparameter zu editieren, klicke in die Mitte des Kabels (es erscheint dann rot umrandet). Nun kannst Du im **Editier-Tablett** (oben links) mit den Pfeiltasten zwischen den Parametern navigieren und erkennst, dass die Kabeldämpfung des RG58 mit 4dB bei 7MHz eingetragen ist. Entsprechend der Wurzel-Approximation sind das bei 7,1MHz ca. 4,03dB.

Änderst Du die **Hauptfrequenzmarke** (Eingabefeld oben links) und klickst auf **START**, so wird die Ergebnisliste am unteren Rand des Hauptfensters um eine weitere Zeile ergänzt (ähnlich wie im bekannten Antennen-Simulationsprogramm MMANA-GAL).

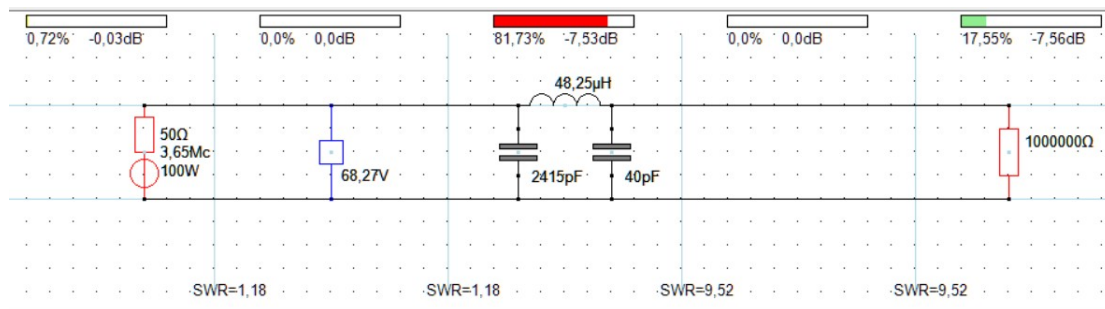


## Beispiel 5: $\lambda/2$ -Antenne mit LC-Anpassglied

Die Datei **Beispiel 5.ama** enthält die deutlich verlustärmere Alternative zur obigen, immer noch sehr beliebten, Koaxantenne (siehe Bild 2 in CQDL 4/19, S.29).



## Beispiel 6: Kamikaze eines Automatikkopplers

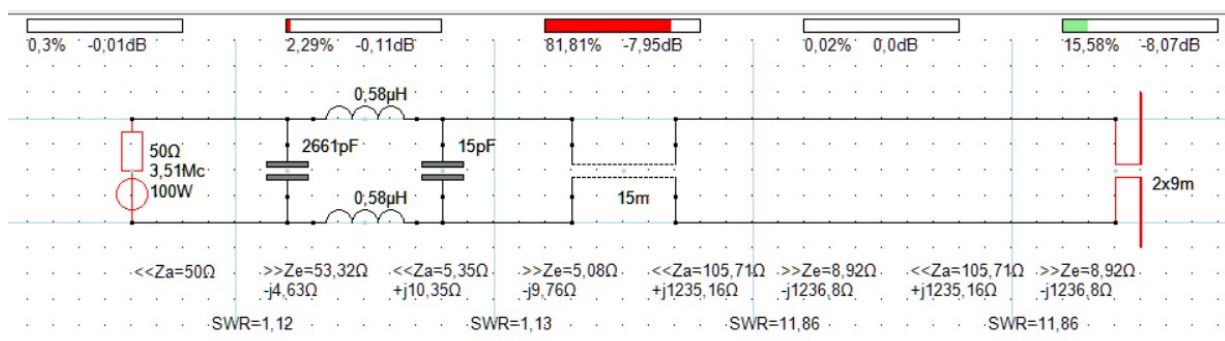


Die Schaltung in **Beispiel 6.ama** demonstriert die Selbstzerstörung eines SG-230 aufgrund des nicht angeschlossenen Antennenkabels (siehe Bild 3 in CQDL, S.29):

Das "vergessene" Antennenkabel ist hier durch einen sehr hochohmigen Lastwiderstand (1MΩ) nachgebildet.

## Beispiel 7: Kurze Doppelzepp 2x9m

Die Datei **Beispiel 7.ama** entspricht dem dritten Antennensystem meines CQDL-Beitrags (CQDL 4/19, Bild 4, S.29). Dass die Werte geringfügig abweichen liegt an den jetzt genaueren Kabeldaten des CQ553:  $Z_w = 392\Omega$ ,  $VF = 0,89$ ,  $a = 0,63\text{dB}/100\text{m}$  bei 3,5 MHz sowie dem hier verwendeten symmetrischen Antennenkoppler BX-1200.

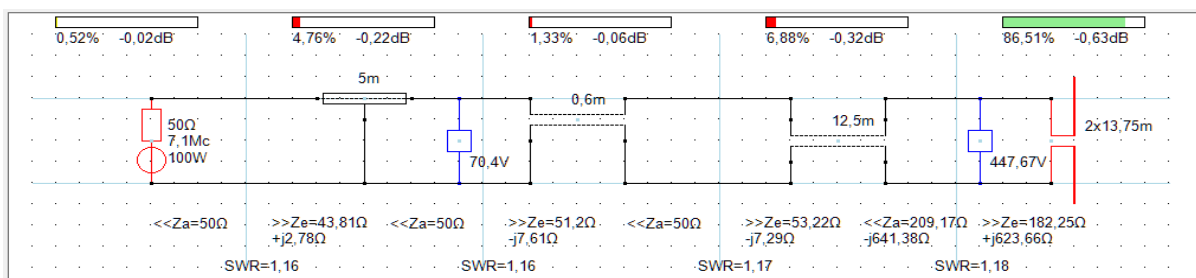


Wie man sieht, hat diese Doppelzepp auf dem 80m-Band trotz gutem SWR nur einen sehr geringen Wirkungsgrad (15,6%), da fast die gesamte Leistung im 15m langen Feeder verloren geht. Die zur Abstimmung erforderlichen LC-Werte des ATU lassen sich vorab mit dem [Doppelzepp-Rechner](#) ermitteln:



## Beispiel 8: ZS6BKW-"Wunderantenne"

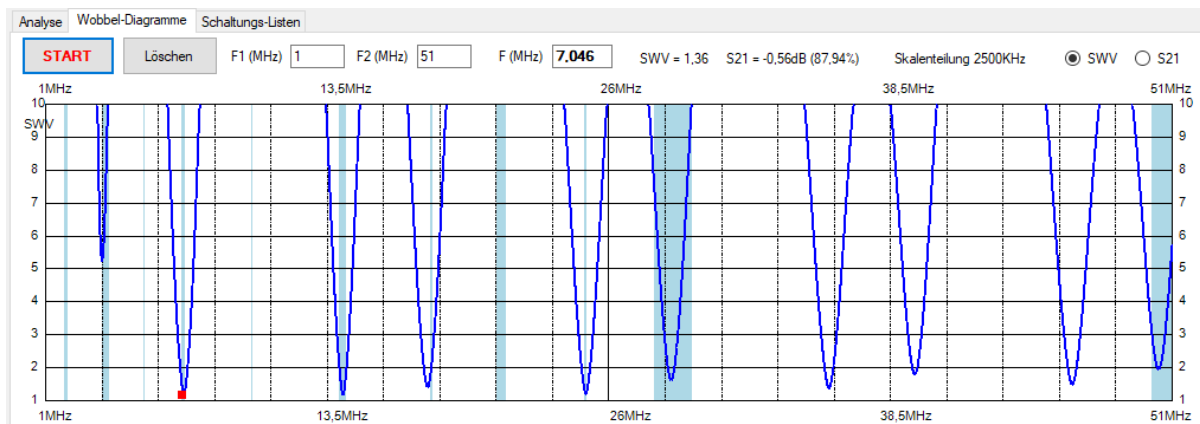
- Öffne die Datei **Beispiel 8.ama** um diese berühmte und u.a. [hier](#) ausführlich beschriebene Antenne zu laden.  
Der "Balun für undefinierte Impedanzen" besteht aus 1m Zweidrahtleitung ( $Z_w=102\Omega$ ) und der Feeder aus 12,5m Wireman-Bandkabel CQ553 (richtig eingesetzt ist dieses Kabel weitaus besser als sein Ruf!).
- Klicke im Schaltbild rechts auf das rote Symbol des Dipols. Wie auch bei allen anderen Bauelementen kannst Du im **Editier-Tablett** mit den Pfeiltasten zwischen den Dipol-Parametern navigieren (Länge = 27,5m; OCF-Anzapfung = 50%, d.h. symmetrische Speisung; Drahtstärke  $d = 2\text{mm}$ ) und sie evtl. ändern.
- Im Menü **Einstellungen** setzt Du die Häkchen für die Verlustanalyse.
- Klicke **START** für eine Verlustanalyse (ohne Antennentuner!) z.B. für 7,1MHz:



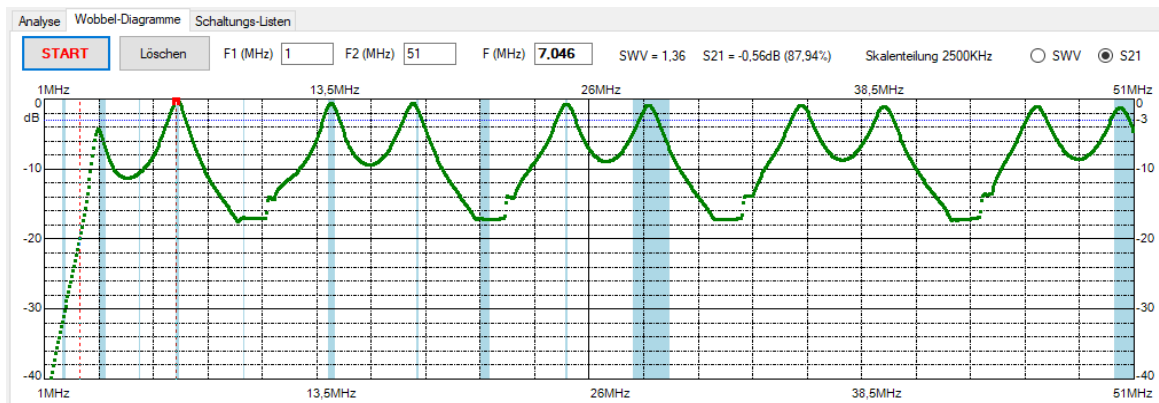
- Wähle den Reiter **Wobbel-Diagramme**, trage Anfangs- und Endfrequenz des zu

durchlaufenden Bereichs ein (1...51MHz) und klicke **START**.

- Der SWV-Verlauf bestätigt die 5 Resonanzen, d.h., das SWV auf den Bändern 40m, 20m, 12m, 10m und 6m ist kleiner als 2 (die Afu-Bänder sind durch hellblaue Balken markiert):



- Auch den Verlauf der Vorwärtstransmission (S21) kannst Du Dir anzeigen lassen:



- Mit der Maus verschiebst Du ein senkrechtes rotes Frequenzlineal über dem Diagramm, um dabei **SWV** und **Vorwärtstransmission** abzulesen. Du kannst auch die Frequenz direkt eintragen und mit ENTER abschließen.

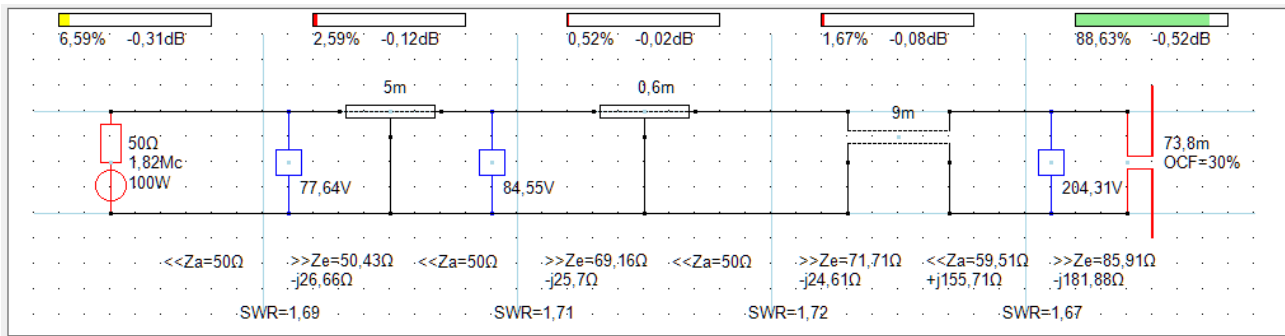
**Hinweis:** Nach Wechsel vom "Analyse"-Modus in den "Wobbel"-Modus (und umgekehrt) ist stets erneut auf **START** zu klicken!

## Beispiel 9: JWD-Allband-Doppelzepp

Im FA 7/20 und in der CQDL 12/20 habe ich diese mit dem [MultiResonanzFinder \(MRF\)](#) aufgespürte Antenne vorgestellt.

Im Vergleich zur ZS6BKW ist sie auf allen(!) 11 Afu-Bändern (inkl. 160m) einsetzbar, erreicht dafür aber mit 73,8m beachtliche Abmessungen.

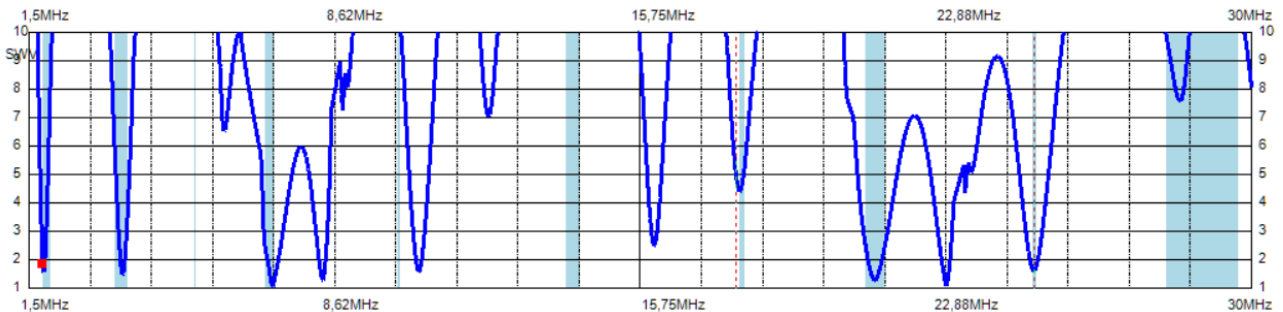
Hier die Verlustanalyse für das 160m-Band (**Beispiel 9.ama**):



Die PA ist über 5m RG58 mit einem 1:1 Balun aus 0,6m RG316U (auf FT140-43 Ringkern) verbunden.

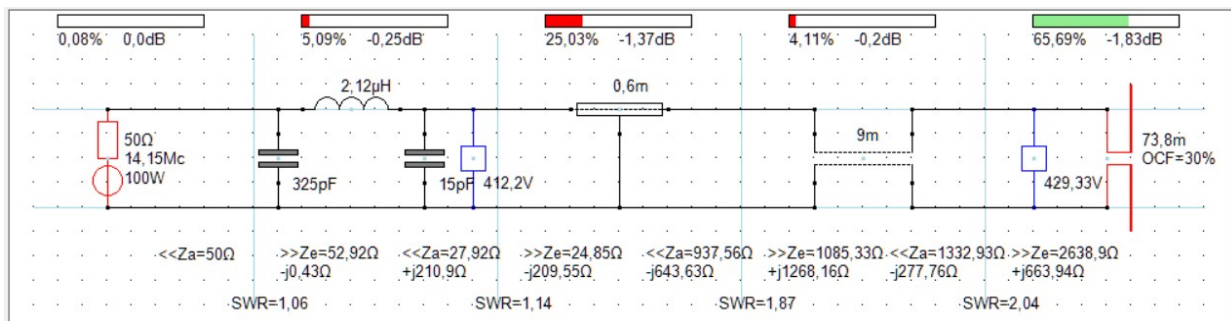
Es folgt ein 9m Feeder aus CQ553-Bandleitung, der zu einem 73,8m langen, bei 30% eingespeisten, OCF-Dipol führt.

Das SWR-Diagramm zeigt Resonanzen auf 6 Bändern (160m, 80m, 40m, 15m, 12m und 6m):



Wie der [Doppelzepprechner](#) bestätigt, lassen sich auch alle anderen Bänder mit einem Antennentuner zum Leben erwecken (SWR < 2).

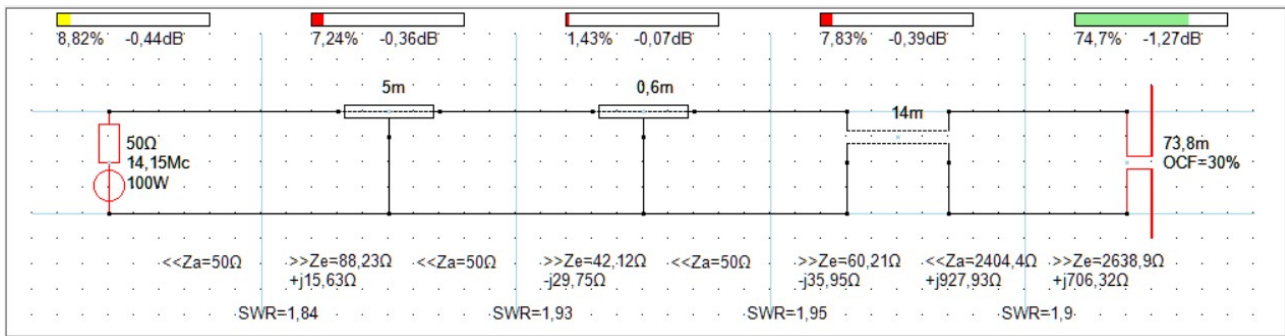
Hier aber kann es bei längerem Sendebetrieb zu einer Überhitzung des Baluns kommen, z.B. auf dem 20m-Band:



Das Beispiel verdeutlicht, dass bei 14,15MHz und 100Watt Output der Balun mit knapp 25Watt "geheizt" wird (*Beispiel 9\_14Mc.ama*).

Allerdings kann mit einer Verlängerung des Feeders um ca. 5m die *JWD-Allband-DZ* auch auf dem 20m-Band ohne Tuner betrieben werden<sup>3</sup>:

3 Tnx Mark (2E0VSS), der das herausgefunden hat.

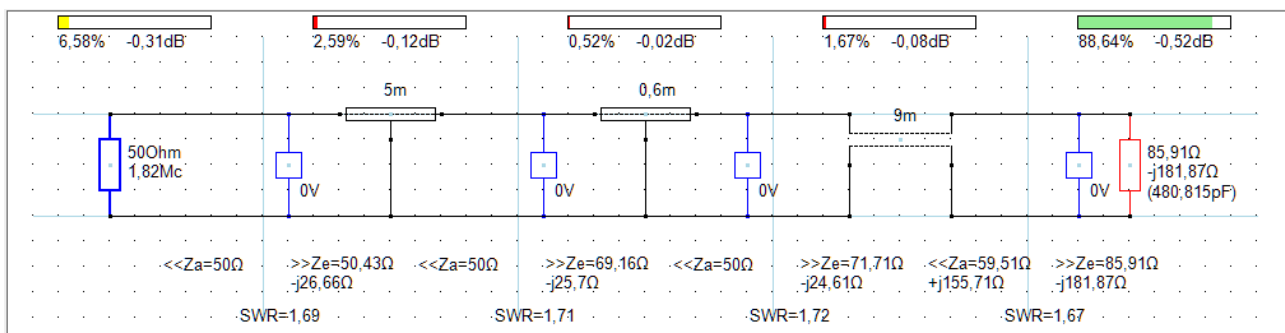


**Achtung:** Durch die Feederverlängerung werden teilweise andere Resonanzen zerstört, wovon man sich nach Umschalten in den Wobbelmodus überzeugen kann.

## Beispiel 9 vna: Indirekte Messung der Antennenimpedanz mittels "VNA"

Unter Verwendung des neuen "VNA"-Baelements kann man sich die Antennenimpedanz auch bequem über eine Impedanzmessung am Eingang des Antennen-Speisekabels berechnen lassen. Voraussetzung ist allerdings, dass alle Kabeldaten und alle übrigen Baelemente der Anpassschaltung bekannt sind (**Beispiel 9vna.ama**).

Hier die Berechnung der Antennenimpedanz für die JWD-Allband-Doppelzepp:



In das erste Segment wird anstatt des Baelements "RG" der "VNA" platziert. Diesem weist man als Parameter die praktisch gemessene Eingangsimpedanz zu:  $R_e = 50,4\Omega$  und  $X_e = -26,7\Omega$ .

Im letzten Segment hat die unbekannte Strahlerimpedanz "ZA" den Platz des "DIP"-Baelements eingenommen. Die Parameter von ZA sind zunächst egal, sie werden vom Programm nach START mit ihren exakten Werten überschrieben.

Wie man sieht wird in unserem Fall bei 1,82Mc als Ergebnis die Antennenimpedanz  $Z_A = 85,9 - j181,9$  ermittelt, was die Werte aus **Beispiel 9** bestätigt.

### Wichtig:

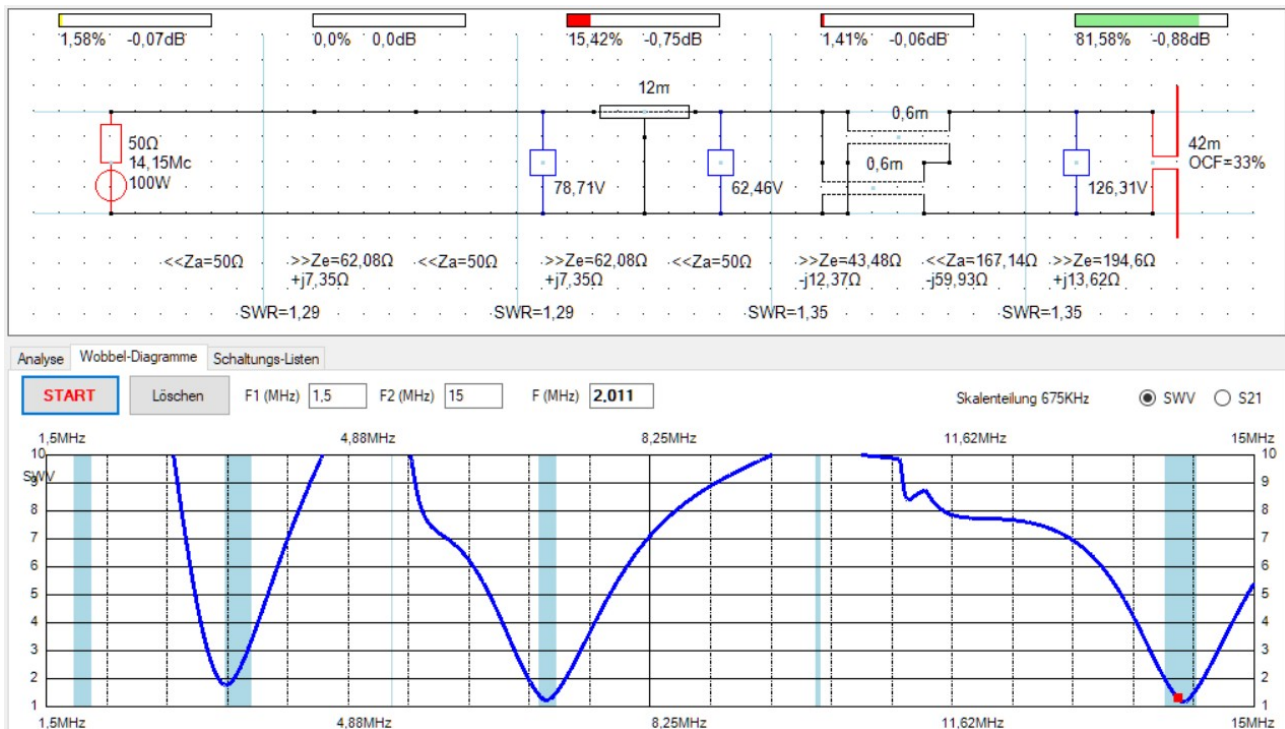
- Da die berechnete Antennenimpedanz  $Z_A$  nur für eine einzige Frequenz gilt, würde hier die Aufnahme eines breitbandigen *Wobbel-Diagramms* zu falschen Ergebnissen führen!
- Da die Spannungen bei einer VNA-Messung sehr klein sind, zeigen alle Voltmeter den Wert null. Wer an Spannungswerten interessiert ist, muss anschließend das "VNA"-Baelement durch "RG" ersetzen und diesem die PA-Leistung als Parameter zuweisen.

- VNA-Messungen direkt am Eingang einer symmetrischen Zweidrahtleitung führen i.d.R. zu falschen Ergebnissen sodass die Zwischenschaltung eines 1:1 Balun zwingend erforderlich ist (hier 0,6m RG316U).

## Beispiel 10: Windom-Antenne

Ab Version 4.0 des [Doppelzepprechners](#) lassen sich auch Antennen optimieren, bei denen der Balun direkt im Speisepunkt des Dipols sitzt.

Die damit gefundene und über 12m RG58 und einen 4:1 Balun gespeiste 42m-Windom kommt auf den Bändern 80/40 und 20m ohne ATU aus (**Beispiel 10.ama**):



## Beispiel 11: Zusätzliches Band mit Parallel-C im Feeder

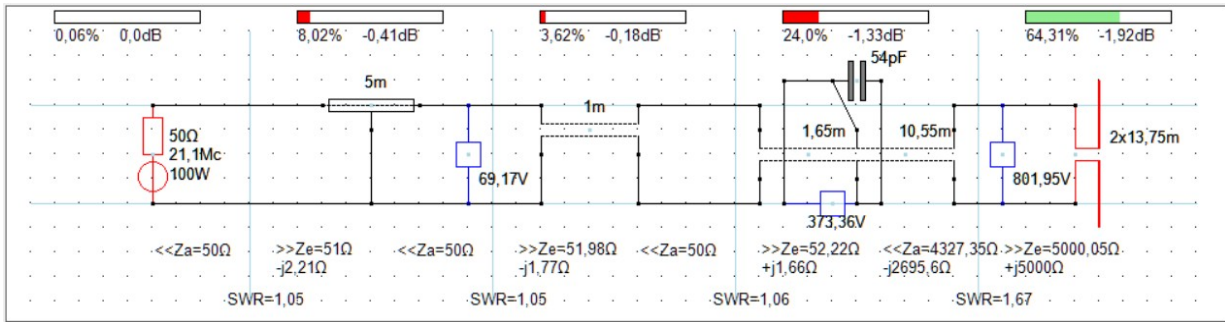
Wenn man an einer bestimmten Stelle den Feeder eines Dipols mit einer zuschaltbaren Kapazität überbrückt kann eine zusätzliche Resonanz erzeugt werden<sup>4</sup>.

Mit dem [CFinder](#) lässt sich berechnen, ob und an welcher Position ein bestimmtes C angeschlossen werden muss um zum gewünschten Ergebnis zu gelangen.

In **Beispiel 11.ama** wird die ZS6BKW an das 15m-Band angepasst, indem im Abstand von 1,65m vom Balunausgang der Feeder mit 54pF überbrückt wird. Am Kondensator liegen ca. 373Veff an, er sollte also mit ca. 1kV belastbar sein.

Inwieweit durch diesen Eingriff die anderen Resonanzen der ZS6BKW in Mitleidenschaft gezogen werden, lässt sich im Wobbelmodus des KNWA ermitteln.

<sup>4</sup> Tnx Peter, HB9PMG, und Urs, HB9MPN, für entsprechende Anregungen.

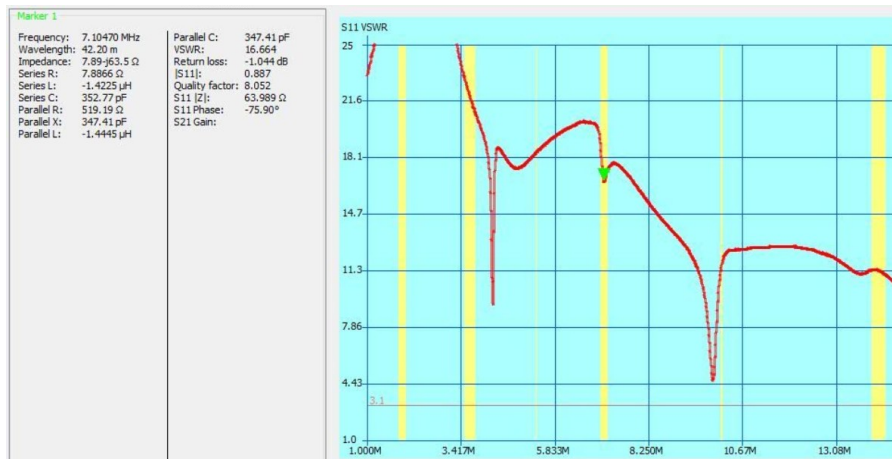


## Beispiel 12 vna: Feedback zum "VNA"-Baelement (Urs, HB9MPN)

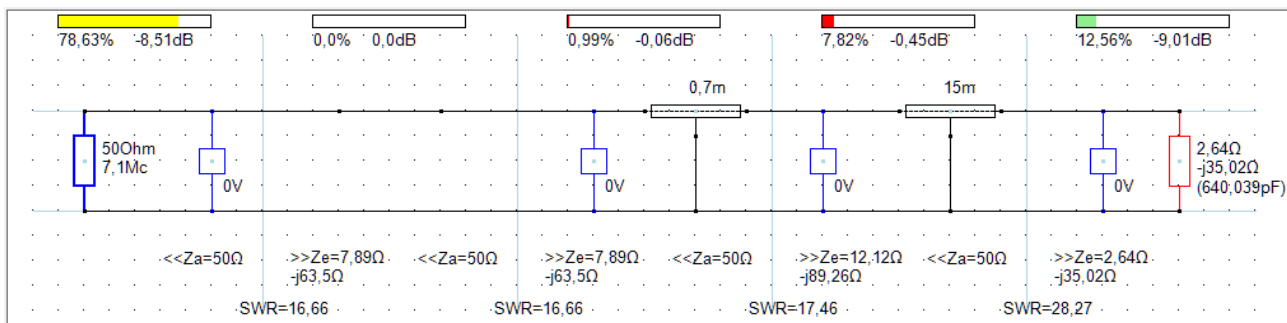
... diese Ergänzung ist genau, das was ich mir gewünscht habe. Habe alle meine alten CP-6 Messungen nachgerechnet, die ich schrittweise mit Deinem Kabelrechner machte. Alle Ergebnisse stimmten überein.

Das bewältigte ich jetzt in ca 10 Min. So kann ich die Daten der VNA-Messung bei der Quelle eingeben.

Hier als Beispiel meine (nicht abgestimmte!) CP-6 Antenne, die ich im Shack mit meinem NanoVNA bei 7MHz gemessen habe:



VNA – BNC-Kabel RG58CU 0,7 m – AirCell 7 Länge 15 m - CP-6.



Allen OMs sollte klar sein, dass mit dem NanoVNA, der ja unsymmetrisch ist, keine symmetrischen Kabel gemessen werden können. Da muss immer einen Balun mit undefinierter Impedanz vorgeschaltet werden. Ich verwende den mit 0,5 m Lautsprecherkabel und einem Ferritring FT-140-43.

Nicht jedem OM dürfte aber sofort klar sein, wieso es einen Unterschied zwischen dem oben im Designer angezeigten  $Z_a=50\text{Ohm}$  und dem unten im Datengitter angezeigten  $Z_{aus}=50-j35,02\text{Ohm}$  gibt:

F(MHz)	Vp(dB)	Vu(dB)	RLoss(dB)	SWRe	Zein(Ohm)	SWRa	Zaus(Ohm)	S11	S21
7.1	-9.01 (12.39%)	-27.81 (50.63°)	1.04	16.66	7.89 -j63.5 (Cs = 35.01pF)	28.28	50 -j35.02 (Cs = 640.04pF)	-1.04dB 104.1°	-9.01dB 50.63°

Meine Antwort:

... Du hast recht, hier muss noch besser erklärt werden.

Ausgangsimpedanz Zaus und Lastimpedanz ZA sind zwei verschiedene Paar Schuhe!

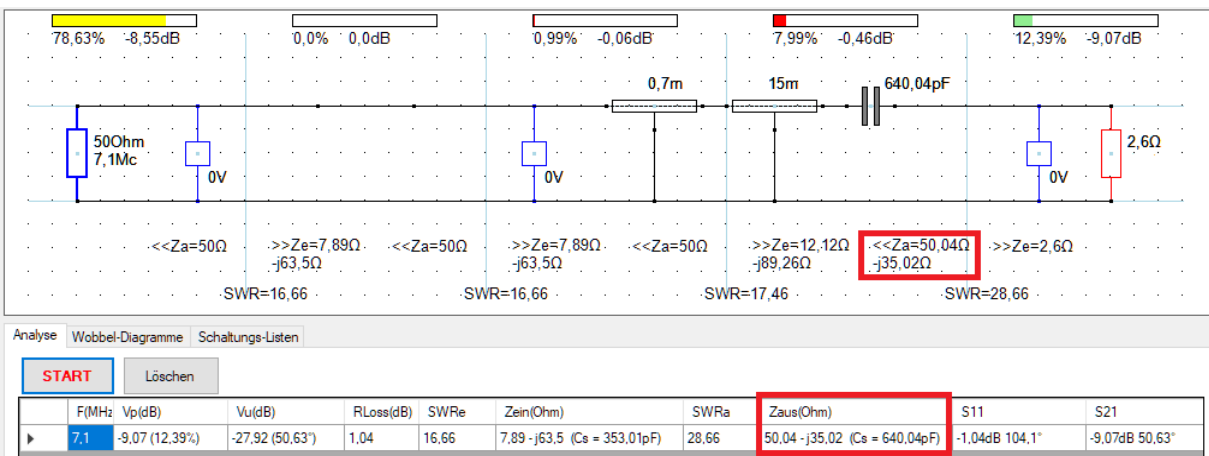
In Deiner Schaltung ist Zaus reell und hat den Wert 50Ohm, da Du (bei abgetrennter Antenne!) diesen Wert messen würdest (zwei hintereinander geschaltete 50Ohm-Koaxkabel die vorn mit 50Ohm abgeschlossen sind).

Die Lastimpedanz ZA (Fußpunktwiderstand der Antenne) hingegen ist komplex, hat also auch eine Blindkomponente jXA.

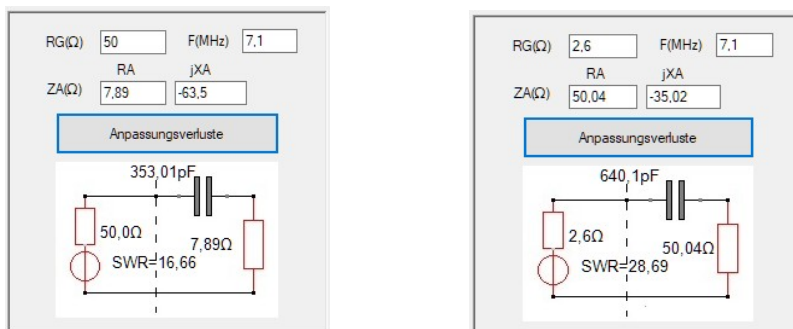
Ein praktisch sinnvolles antennenseitiges SWR lässt sich aber nur gegen die reelle Lastimpedanz RA ermitteln. Dazu muss man die Schaltung so umordnen, dass ZA nur noch die reelle Komponente RA hat und dass XA nach links "verschoben" wird, also nun als Kapazität in Reihe zum Antennenkabel liegt.

Wie die Simulation zeigt, hat sich das elektrische Verhalten des Antennensystems dadurch nicht verändert! Der Strahlungswiderstand RA der Antenne "sieht" den angezeigten Wert 50 – j35Ohm.

Nur so ergibt sich das richtige antennenseitige SWR = 28,66 (die geringen Abweichungen in den Nachkommastellen sind Rundungsfehlern geschuldet)<sup>5</sup>.



Wie man also sieht, erfolgt die Berechnung des antennenseitigen SWR mittels RA und Zaus analog zu der des eingangsseitigen SWR mittels RG und Zein, nur in umgekehrter Richtung (siehe Programm [Anpassungsverluste](#)):



5 Näheres entnimmst Du meiner Korrespondenz mit Hans, DJ7BA, am Ende.



# Kurzanleitung zur Bedienung des Designers

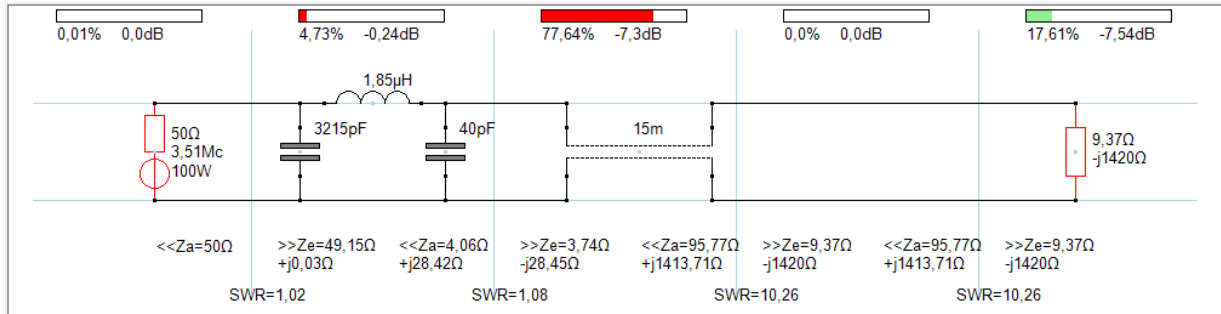
- Jede Schaltung hat genau einen Generatorwiderstand  $R_G$  (oder VNA) und eine Lastimpedanz  $Z_A$  (oder Dipol, Groundplane).
- **Bei eingeschalteter "Segmentierung" (und nur dann) sind einige Besonderheiten zu beachten, da ansonsten keine exakten Verlustanalysen und SWR-Berechnungen möglich sind:**
  - $R_G$  bzw. VNA sind immer im ersten und  $Z_A$  bzw. DIP , GP immer im letzten Segment zu platzieren
  - die Verbindungsdrähte zwischen den Segmenten müssen die senkrechten blauen Linien auf gleicher Höhe wie  $R_G$ , VNA bzw.  $Z_A$ , DIP oder GP schneiden
  - Bauelemente dürfen nicht auf den senkrechten blauen Linien liegen
  - die einzelnen Segmente müssen immer mit genau zwei waagrechten Drähten verbunden werden
- Nach Klick auf den entsprechenden Button in der *Bauelemente-Auswahl* ("RG", "VNA", "R", "C", ...) drehst und spiegelst Du jedes Bauelement zunächst in die gewünschte Lage, klickst dann auf den Designer und verschiebst das Bauelement bei gedrückt gehaltener linker Maustaste an seine endgültige Position.
- Hast Du alle Bauelemente platziert, stellst Du nach Klick auf den "Verbindung"-Button die Verbindungen zwischen ihnen her.
- Ein nachträgliches Drehen oder Spiegeln eines Bauelements innerhalb der Schaltung ist nicht möglich. Also lösche es und erzeuge es neu in der gewünschten Lage. Das Verschieben von Bauelementen und Verbindungen ist hingegen immer möglich (s.u.).
- Bauelemente und Verbindungen löschst Du durch anklicken (werden rot markiert) und anschließendes Betätigen der *Entf*-Taste. Bei schrägen Verbindungen muss manchmal mehrfach in der Nähe von Anfang oder Ende geklickt werden, bis die Markierung erscheint.
- Verbindungen können auch nacheinander eingegeben werden, der "Verbindung"-Button ist also nur einmal zu klicken!
- Um ein Bauelement, einen Verbindungspunkt oder einen Schaltungsausschnitt zu verschieben, musst Du herum bei gedrückt gehaltener **rechter** Maustaste einen Rahmen, beginnend mit der **linken** oberen Ecke, aufziehen. Dann mit der **linken** Maustaste in den Rahmen klicken um diesen zu verschieben.
- Eine komplette Übersicht der Schaltung liefern die drei "Listen"-Datengitter. Auch hier kannst Du Bauelemente, Parameter und Verbindungen überprüfen und editieren.
- Zeilen in den „Listen“-Datengittern lassen sich nach Markieren der Zeile (Klick auf die linke Spalte) und Betätigen der *Entf*-Taste löschen.
- Die Eingabe elektrischer Parameter bestätigst Du durch Klick auf den "OK"-Button oder mittels ENTER-Taste.
- Ein linker Mausklick auf den Designer liest die Schaltung erneut aus dem Speicher.

Am besten Du schaust Dir die beigelegten Beispieldateien an, bzw. modifizierst diese, um Dich mit der Bedienung des KNWA vertraut zu machen.

# HamVNAS vs SimSmith

Unter den zahlreichen Reaktionen auf meinen [CQDL-Beitrag](#) möchte ich insbesondere eine sich über Wochen hinziehende Diskussion mit OM Hans, DJ7BA, hervorheben.

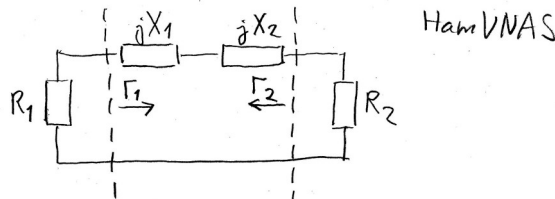
Hans war der Meinung, dass meine Berechnungen zum antennenseitigen SWR falsch seien:



HamVNAS sowie der KNWA basieren beide auf der klassischen Vierpoltheorie, dabei wird der komplexe Reflexionsfaktor  $\Gamma$  immer gegen einen **reellen** Generatorwiderstand  $R_1$  und einen i.a. komplexen Lastwiderstand  $Z_2 = R_2 + jX_2$  gemessen<sup>6</sup>:

$$\Gamma = (R_1 - Z_2) / (R_1 + Z_2).$$

Ist auch der Generatorwiderstand komplex ( $Z_1 = R_1 + jX_1$ ), so "sieht" der Generator seine eigenes  $X_1$  als additiven Bestandteil von  $X_2$ :



$$\Gamma_1 = \frac{R_1 - (R_2 + j(X_1 + X_2))}{R_1 + R_2 + j(X_1 + X_2)} \quad \Gamma_2 = \frac{R_2 - (R_1 + j(X_1 + X_2))}{R_1 + R_2 + j(X_1 + X_2)}$$

$$\begin{aligned} a &= R_1 - R_2 \\ b &= -(X_1 + X_2) \\ c &= R_1 + R_2 \\ d &= X_1 + X_2 \end{aligned}$$

$$\Gamma_1 = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + j \frac{bc - ad}{c^2 + d^2} \quad \Gamma_2 = \frac{-ac + bd}{c^2 + d^2} + j \frac{bc + ad}{c^2 + d^2}$$

$$|\Gamma_1| = |\Gamma_2| = |\Gamma|$$

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Hans benutzt das weltweit verbreitete Antennen-Analyse-Programm *SimSmith*, er hat damit genau obiges Antennensystem modelliert, daraus aber einen antennenseitigen Reflexionsfaktor von **26,9** und daraus ein SWR = **-1,08** ermittelt.

**Man lernt nie aus, dachte ich mir, denn bis dato waren mir nämlich Reflexionsfaktoren größer 1 und negative SWRs völlig unbekannt ;-)**

<sup>6</sup> Nach genau diesem Prinzip misst Du auch die Eingangsreflexion  $S_{11}$  z.B. mit Deinem *NanoVNA* (50Ohm-System).

Neugierig geworden habe ich mich dann näher mit *SimSmith* beschäftigt und bin tatsächlich zu den gleichen absurden Ergebnissen wie Hans gekommen.

Hier die letzte Mail von Hans, die zwar für Erleuchtung sorgen, aber meine Zweifel an der Praxistauglichkeit von *SimSmith* nicht ausräumen konnte.

Möge sich aber jeder selbst sein Urteil bilden:

Lieber Walter,

bitte entschuldige, dass ich doch noch einmal schreibe, aber ich denke, das ist Dir ausnahmsweise diesmal recht:  
**Ich habe mir im *SimSmith* Forum beim Eintreten für Dich und Deine SWR-Formel viel Ablehnung, mindestens aber den Unwillen vieler OMs weltweit zugezogen, die *SimSmith* länger und besser kennen als ich.**

Aber: Problem gelöst!

Die Mathematik – um Dich zu zitieren – lügt ja nicht. Weder steht *SimSmith* auf wackeligen Füßen, noch *HamVNAS*. Wir haben nur deshalb aneinander vorbei gesprochen, weil:

1. *HamVNAS* ausschließlich reale Systemimpedanzen zulässt als Eingabe - was sicherlich nicht schlecht ist: Es kann manches Kopfschütteln vermeiden.
2. *SimSmith* allgemeingültig angelegt ist und, anders als *HamVNAS*, auch **komplexe Systemwiderstände** zulässt.
3. Diese Allgemeingültigkeit zu (herkömmlich) unerwarteten Resultaten führt. Dazu gehört, dass man die (für reale Systemwiderstände gewohnte) Denkweise aufgeben muss, dass sich alles nur innerhalb des (auf die ja rein reale Zahl 1 normierten Smith-Diagramm-) Außenkreises abspielen müsse, dass der Betrag von Gamma zwischen 0 ... 1 liegen muss und dass es negative SWR nicht geben kann. Das trifft aber nur zu, solange man es nicht mit komplexen Systemwiderständen zu tun haben will.
4. In Deiner SWR-Herleitung zeigen die Pfeile von Gamma 1 und Gamma2 exakt auf den Punkt zwischen  $jX1$  und  $jX2$ . Dort aber stehen sich komplexe Impedanzen gegenüber.
5. Deine durchaus (für „reale“ Denkweise) gültige Formel dagegen entspricht nicht diesen Pfeilen, sondern berechnet das SWR aus den realen Impedanzen an den Eckpunkten.
6. Die allgemeingültigen „SWR“ und „Gamma“ mag wirklich lästig erscheinen. **Jedenfalls kann ich aus denen nichts Brauchbares entnehmen.** Trotzdem müssen sie (streng mathematisch) m.E. zutreffen.

Ich habe nun Deine Doppel-Zepp (allerdings mit bei John, KN5L vorhandenen CQ-553 Daten und dessen *SimSmith* Modell für „simplified“ Kabel in *SimSmith* verwendet.

Außerdem hat er (mit EZNEC) statt  $9,37 -j 1420$  Ohm gefunden:  $9,73 -j1450$ .

Beides ist fast egal, außer, dass damit nicht  $SWR = 10,26$  heraus kommt, sondern  $SWR = 18,12$ .

Dabei habe ich nun nicht mehr den Speisepunkt (der ja komplexe Impedanzen nach beiden Seiten hat) als Bezug genommen, sondern, Deiner Herleitung entsprechend, nur den Realteil  $9.73$  Ohm, wie für die energetische Betrachtung nötig. Für dort kommt richtig entsprechend Deiner Herleitung  $SWR = 18,12$  heraus.

Das SWR an der tatsächlichen Einspeisestelle dagegen hat streng mathematisch, eine vierstellige, wenig anschauliche Zahl.

Somit – solange man Gleiches mit Gleichem vergleicht – sind sich beide Programme einig.

Es lässt sich darüber nachdenken, ob denn nur reale oder auch komplexe Systemwiderstände die Grundlage bilden sollten.

Wenn man mit komplexen Kabel-Wellenwiderständen und komplexen Antennen-Einspeisepunkt Impedanzen umgehen will, ist die (bisweilen stark irritierende) Allgemeingültigkeit nicht ausschließlich nur schlecht.

Man sollte sich aber nicht verwirren lassen.

Für alle Deine Mühe bedanke ich mich ausdrücklich sehr herzlich.

Du hast mich damit sehr viel weiter gebracht.

73, Hans