

Kleiner Netzwerkanalysator

Der KNWA basiert auf einem abgerüsteten [HamVNAS](#) und beschränkt sich nicht nur auf die Analyse und Optimierung von Schaltungen zur Antennenanpassung, sondern kann (ähnlich *RFSim*) für beliebige passive Wechselstromnetzwerke eingesetzt werden (z. B. zum Wobbeln von Bandfiltern).

Der KNWA entstand als kurzfristige Reaktion auf das Feedback zu meinem Beitrag "[SWR gut - alles gut?](#)" in der CQ-DL 4/19 ¹.

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.

Ab der Version 2.0 gibt es eine weitere Alternative zur Lastimpedanz Z_A :

- *Eingangsreflexion* (S11)

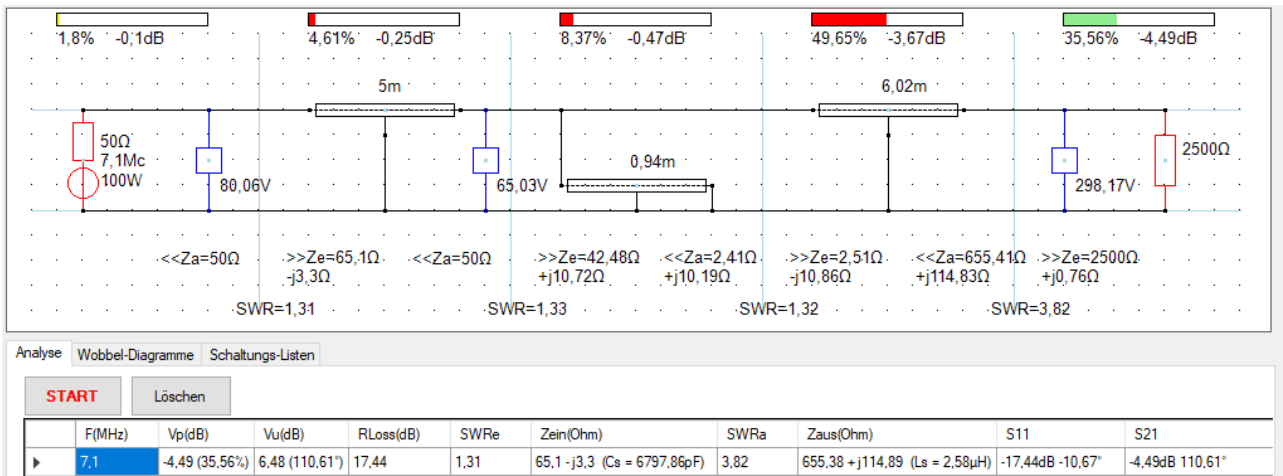
Diesen wichtigen S-Parameter kann man leicht z.B. mit einem **NanoVNA** messen oder auch aus 4NEC2 oder MMANA übernehmen und erspart sich dadurch lästige Rechnereien². Beachte aber, dass die Simulation mit "S11", genauso wie mit "ZA", immer nur für einen einzigen Frequenzpunkt gilt und ein breitbandiges Wobbeln zu fehlerhaften Ergebnissen führen kann.

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

² Tnx an Harald, DJ7PRM, von dem diese Anregung kam.

Beispiel 1: Endgespeiste $\lambda/2$ -Koaxantenne (J-Antenne)

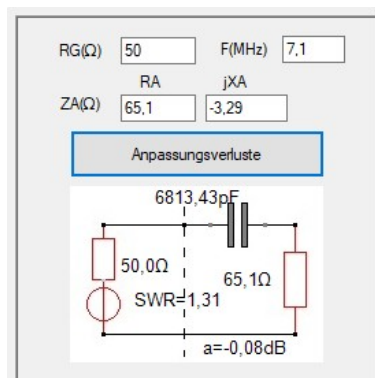
Lade über **Datei/Öffnen** die Datei *Koaxantenne.ama*, wähle (unten links) den **Analyse**-Reiter und klicke daneben den **START**-Button.



Was bedeuten die Balken über den fünf Segmenten?

Der ganz rechte (grüne) Balken (35,56%) gibt Auskunft über die **Vorwärtstransmission S21** des Antennensystems (-4,49dB), d.h., bei einer PA-Leistung von 100W werden von der Antenne nur 35,56W abgestrahlt, der Wirkungsgrad dieses Antennensystems beträgt also 0,3556.

Der gelbe Balken (ganz links, mit nur 1,8% leider kaum erkennbar), zeigt die Verluste durch Fehlanpassung der PA. Gelb ist der Balken deshalb, weil dies ja keine Wärmeverluste sind. Der 50Ohm-Innenwiderstand der PA "sieht" die komplexe Last $Z_e(\text{Ohm}) = 65,1 - j3,29$, das entspricht einem $\text{SWR} = 1,31$ bzw. Einbußen von 1,8% (siehe [03 Anpassungsverluste](#))³.



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 meinem CQDL-Beitrag (Aufmacherbild S.28) lassen sich auf folgende Verbesserung zurückführen:

³ Bei einem $\text{SWR}=2$, wie es von den meisten PAs noch toleriert wird, steigen die Übertragungsverluste lediglich um ca.10% (-0,5dB), was einer praktisch nicht bemerkbaren Einbuße von 0,1 S-Stufen entspricht.

Die Bezugsfrequenz 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 $a(\text{dB})$ für die Arbeitsfrequenz f erfolgt wie immer nach der bekannten Wurzelmethode:

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

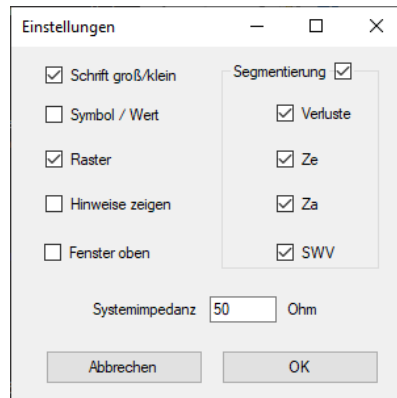
Die Bedienung dürfte jedem, der bereits mit [HamVNAS](#) gearbeitet hat, nur wenig Mühe bereiten. Um z.B. die Kabelparameter zu editieren, klicke in die Mitte des Kabels (es erscheint dann rot umrandet). Nun kannst Du im **Editier-Tablett** (oben links) mit den Pfeiltasten zwischen den Parametern navigieren.

Du erkennst u.a., 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 Arbeitsfrequenz (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).

Wie kannst Du die Schaltung selbst entwerfen?

- Öffne mit **Datei/Neu** eine neue Schaltungsdatei.
- Klicke das Menü **Einstellungen** und setze die Häkchen wie folgt:

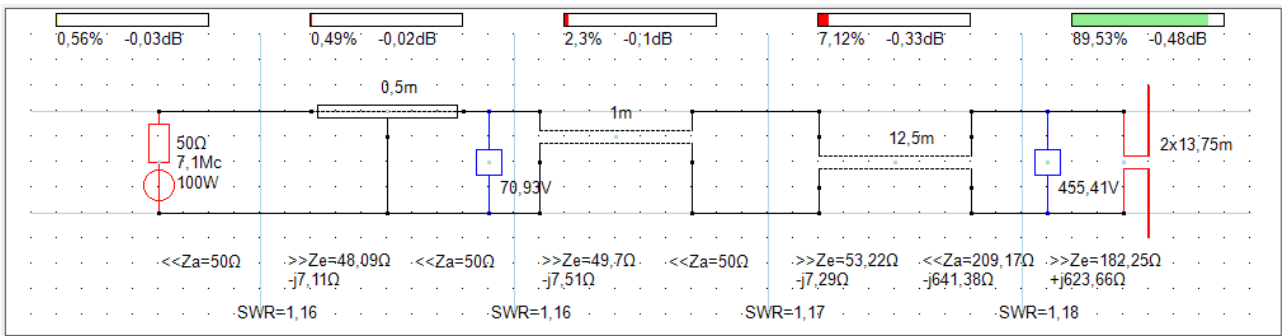


- Nachdem Du den Dialog mit **OK** geschlossen hast, klickst Du in der **Bauelemente-Auswahl** (oben rechts) auf den Button **RG**. Das Symbol für den Innenwiderstand der PA erscheint in einem kleinen Fensterchen (links daneben) und muss dort so gedreht (**Drehen**) und gespiegelt (**Spiegeln**) werden 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 nun (bei gedrückt gehaltener Maustaste) das Bauelement an seine endgültige Position und lasse dort die Maustaste wieder los.
- Klicke in der **Bauelemente-Auswahl** auf den Button **KK**, drehe das Koaxkabel in eine waagerechte Position und klicke mit der linken Maustaste in das zweite Segment. Bei gedrückter linker Maustaste setze dort das Bauelement etwa in der Mitte der oberen waagerechten blauen Linie ab.

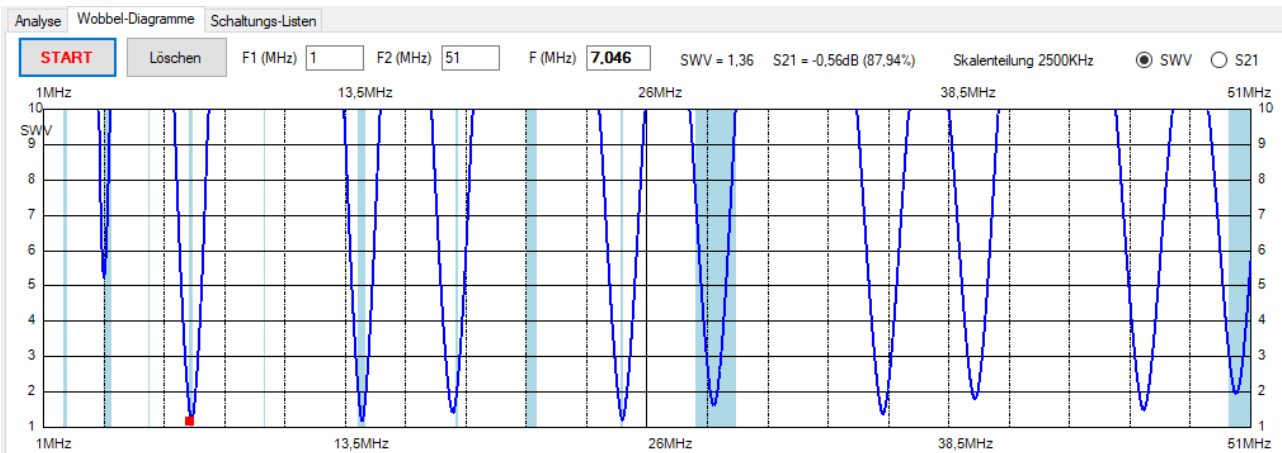
- Auf analoge Weise setze die beiden anderen Koaxialkabel im dritten und vierten Segment ab.
- Klicke in der **Bauelemente-Auswahl** auf den Button **ZA** (Antennenimpedanz) und setze dieses Bauelement im fünften Segment (ganz rechts) ab.
- Stelle nun die Verbindung zwischen RG und dem ersten Koaxkabel her, indem Du zunächst auf den **Verbindung**-Button klickst.
Dann klickst Du auf den oberen Anschluss von RG und ziehst (bei gedrückt gehaltener Maustaste) die Verbindungslinie bis zum Anschluss des Koaxkabels.
Dort lässt Du die Maustaste wieder los.
- Stelle die restlichen Verbindungen her. Dazu brauchst Du den **Verbindung**-Button 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 auf den Button **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, wie bereits am Anfang des Beispiels beschrieben, durch Anklicken des Bauelements und Zuweisen der Werte im **Editier-Tablett**.

Beispiel 2: ZS6BKW-"Wunderantenne"

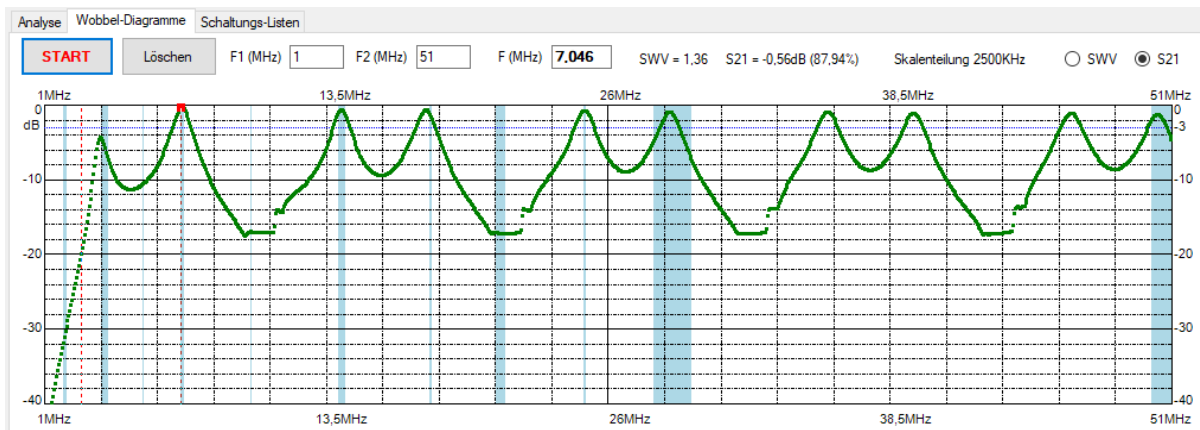
- Öffne die Datei *ZS6BKW.ama* um diese berühmte und u.a. [hier](#) ausführlich beschriebene Antenne zu laden.
Der "Balun für undefinierte Impedanzen" besteht aus 1m Zweidrahtleitung ($Z_w=102\Omega$) und der Feeder aus 12,5m Wireman-Bandkabel CQ553 (dieses Kabel ist weitaus besser als sein Ruf!).
- 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 (s.o.).
- Klicke den **START**-Button um zunächst Verlustanalysen (ohne Antennentuner!) z.B. für 7,1MHz durchzuführen:



- 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 11 Afu-Bänder sind durch hellblaue Balken markiert):



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

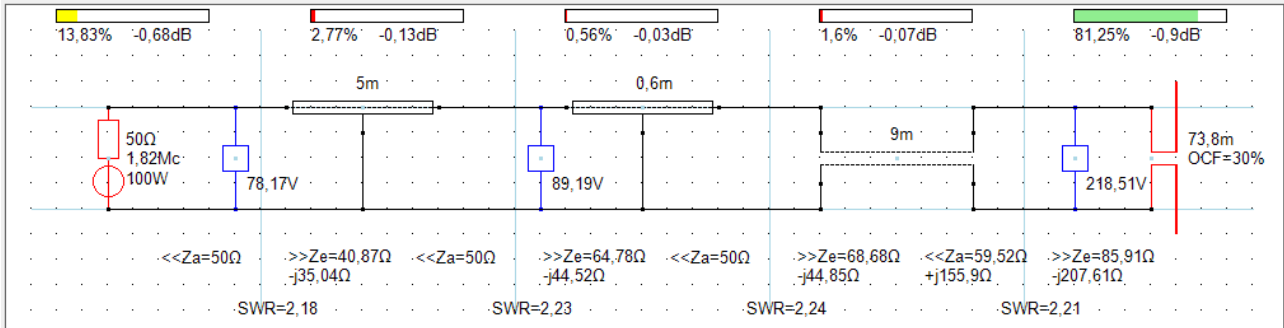


- Mit der Maus verschiebst Du ein senkrechtes rotes Frequenzlineal über dem Diagramm, um dabei (oberhalb des Diagramms) kontinuierlich **SWV** und **Vorwärtstransmission** abzulesen. Du kannst auch die Frequenz direkt eintragen und mit ENTER abschließen.

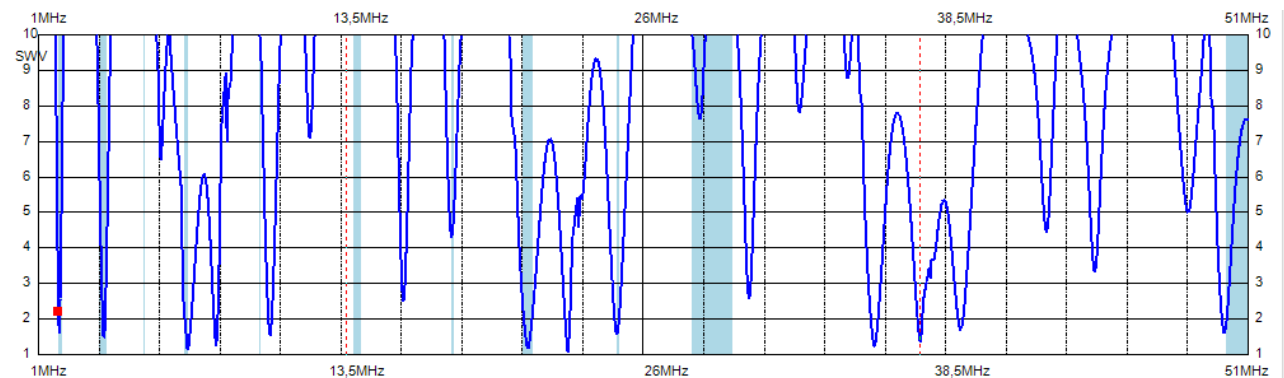
Hinweis: Nach Wechsel vom "Analyse"-Modus in den "Wobbel"-Modus (und umgekehrt) ist stets der "START"-Button erneut zu klicken!

Beispiel 3: JWD-Antenne

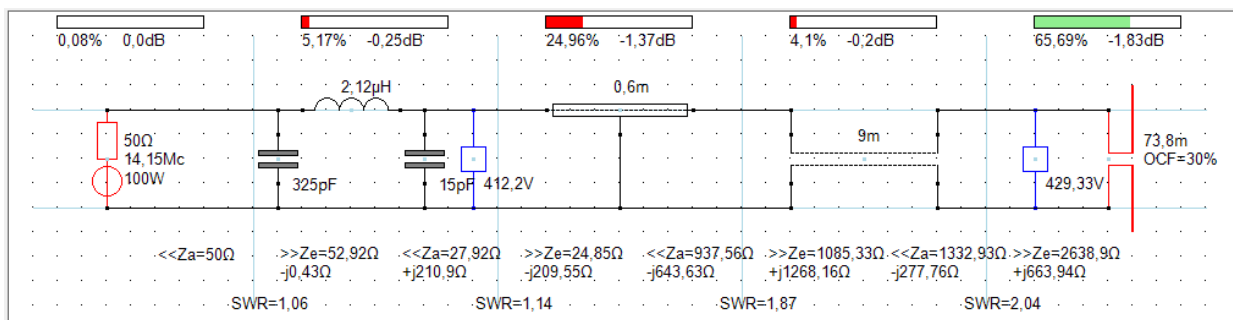
Im FA 7/20 und in der CQDL 12/20 hatte ich die "JWD-Antenne" vorgestellt die, im Vergleich zur ZS6BKW, auf allen 11 Afu-Bändern (inkl. 160m) einsetzbar ist. Hier die Verlustanalyse für das 160m-Band (*JWD_lang.ama*):



Die PA ist über 5m RG58 mit einem "Balun für undefinierte Impedanzen" aus 0,6m RG316U (auf Ringkern gewickelt) 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):



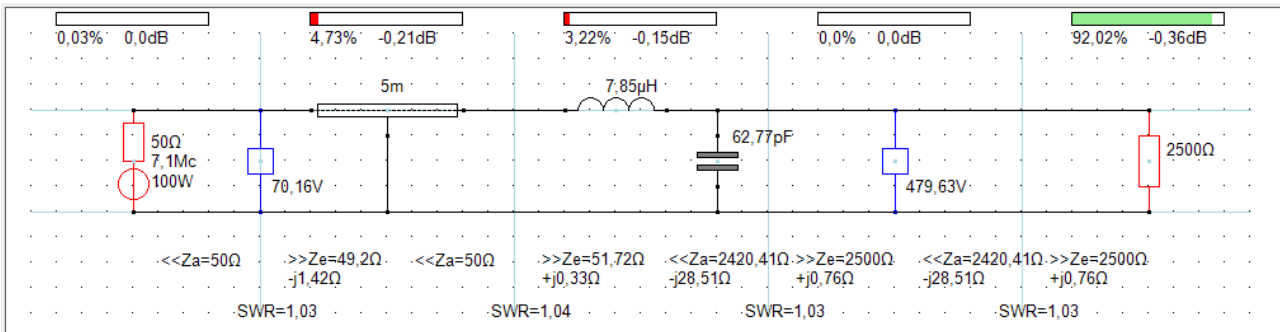
Wie der [Doppelzepprechner](#) bestätigt, lassen sich auch alle anderen Bänder mit einem Antennentuner zum Leben erwecken (SWR < 2). Aufgrund ihrer beachtlichen Länge von 73,8m sind die Einsatzmöglichkeiten der JWD-Antenne allerdings begrenzt. Außerdem kann es bei längerem Sendebetrieb auf dem 20m- und 10m-Band zu einer Überhitzung des Baluns kommen.



Das Beispiel verdeutlicht, dass bei 14,15MHz und 100Watt Output der Balun mit knapp 25Watt "geheizt" wird (*JWD_lang_14Mc.ama*).

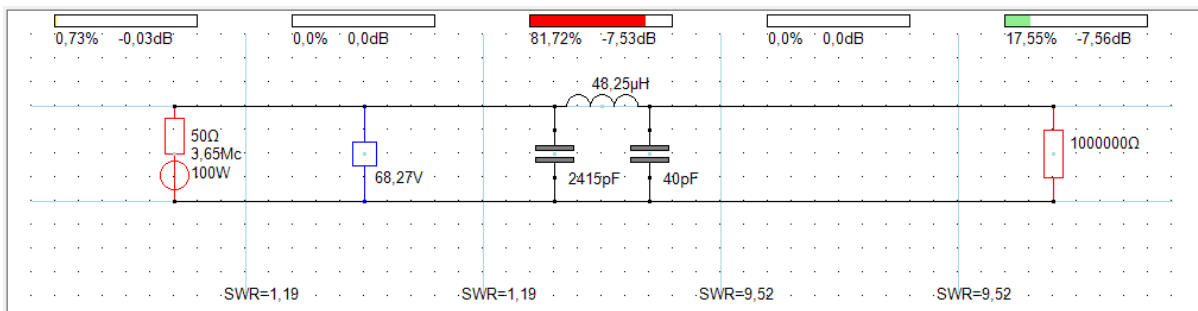
Beispiel 4: $\lambda/2$ -Antenne mit LC-Anpassglied

Die Datei *HalbwellenLC.ama* enthält die deutlich verlustärmere Alternative zur immer noch sehr beliebten Koaxantenne (siehe Beispiel 1 bzw. Bild 2 in CQDL 4/19, S.29).



Beispiel 6: Kamikaze eines Automatikkopplers

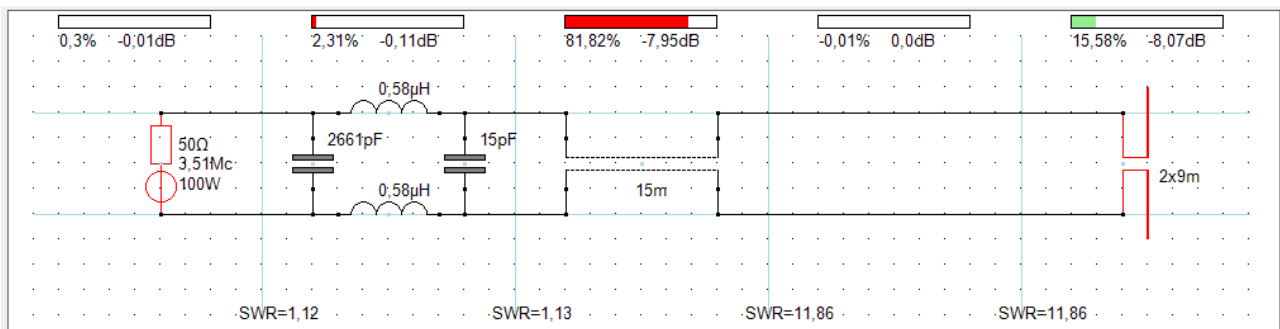
Das Antennensystem der Datei *Kamikaze.ama* demonstriert die Selbstzerstörung eines SG-230 (siehe Bild 3 in CQDL, S.29):



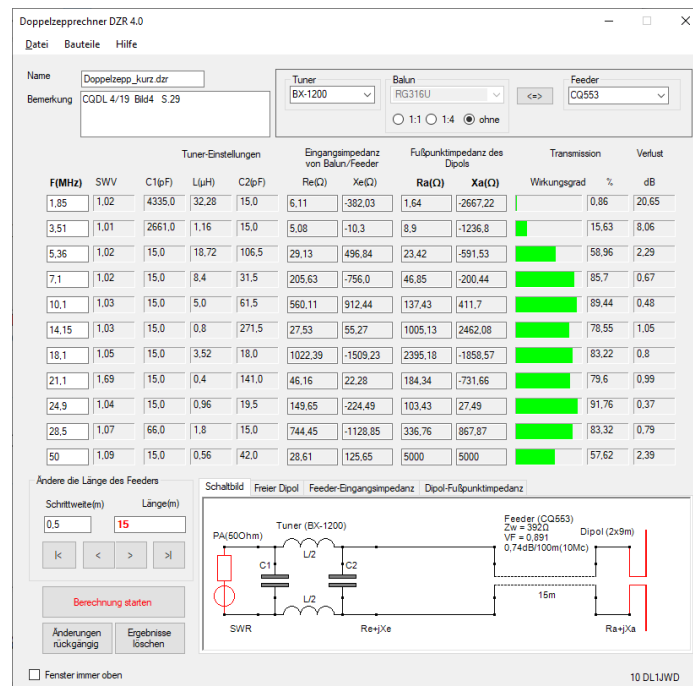
Das nicht angeschlossene Antennenkabel ist hier durch einen sehr hochohmigen Lastwiderstand (1M Ohm) nachgebildet.

Beispiel 7: Kurze Doppelzepp 2x9m

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



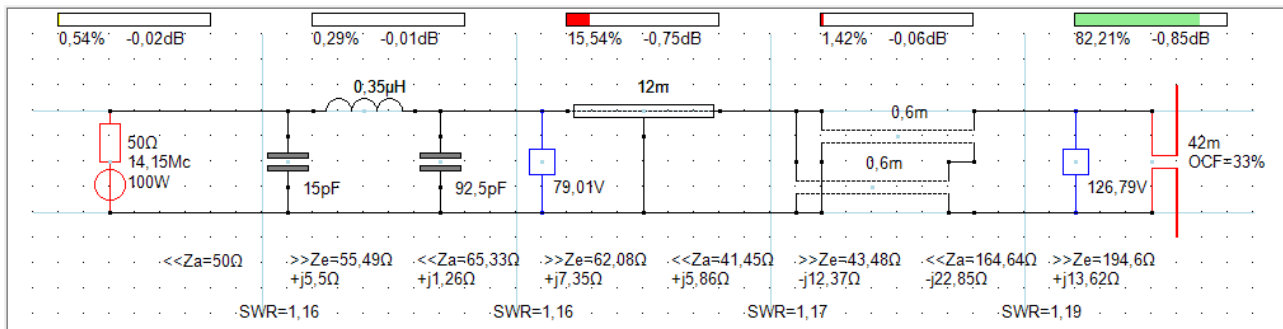
Tunereinstellungen und Fußpunktimpedanz des idealisierten Dipols lassen sich vorab mit dem [Doppelzepp-Rechner](#) ermitteln:



Beispiel 8: Windom-Antenne

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

Hier wird eine mit dem Tuner MFJ-993B angepasste 42m-Windom bei 14,15MHz analysiert (*Windom42m.ama*):

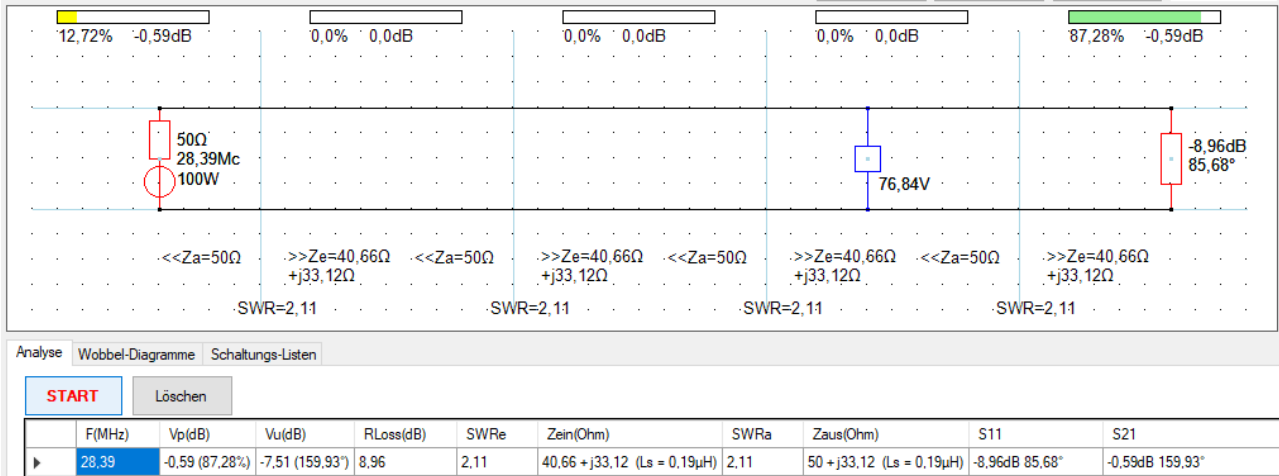


Beispiel 9: Antennenanalyse mit NanoVNA

In der Datei *S11Test.ama* wird gezeigt, wie Du als Alternative zu ZA auch direkt den Eingangsreflexionsfaktor S11 eintragen kannst, den Du z.B. mit Deinem neuen NanoVNA ermittelt hast. Wir nehmen hier an, dass Du am Eingang des Antennenspeisekabels für S11 die Werte -8.957dB und 85,68° gemessen hast.

Setze anstelle von "ZA" das Bauelement "S11" in das äußerste rechte Segment des Designers und weise ihm die beiden Werte zu.

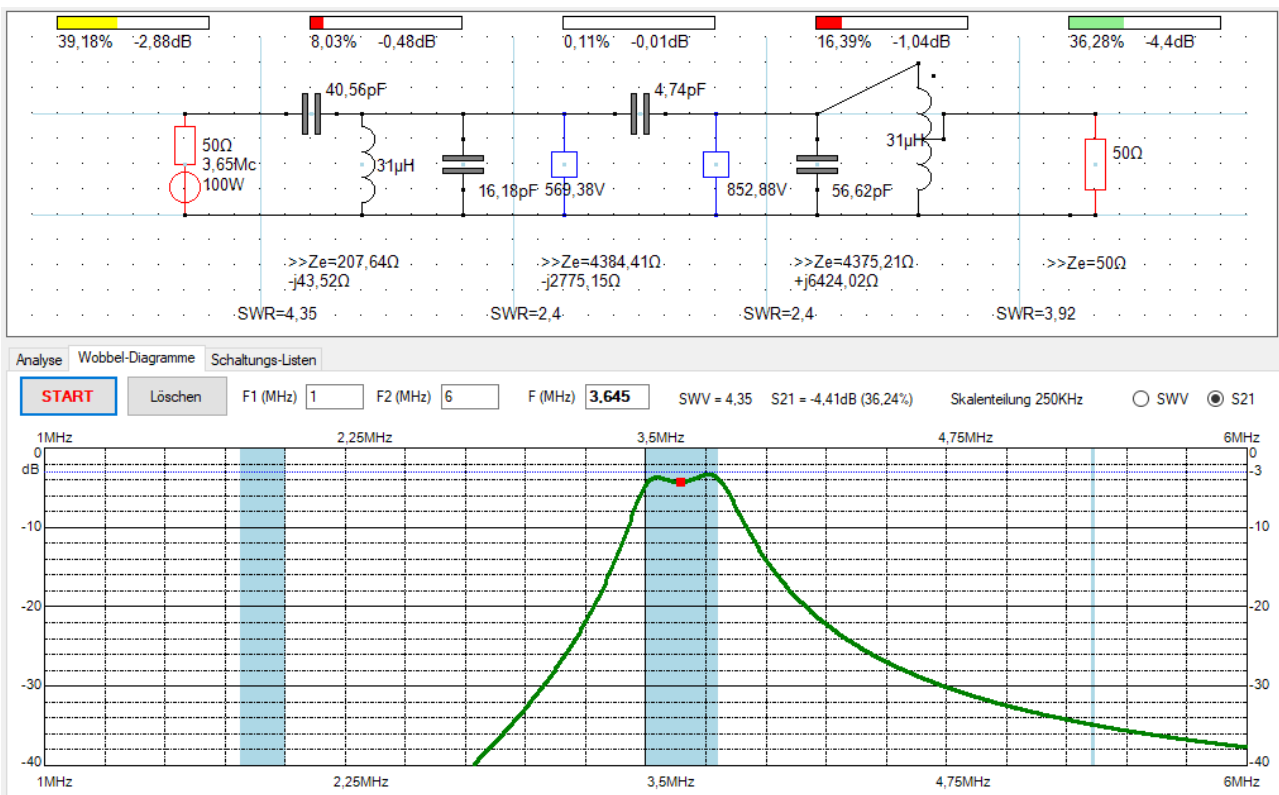
Du siehst, dass "S11" noch zwei weitere Parameter anbietet: RA und jXA. In diese beiden Felder trägst Du aber nichts ein, sie dienen nach Abschluss der Analyse lediglich zur Kontrollanzeige der Lastimpedanz ZA, die der KNWA aus S11 errechnet hat (40,7Ohm + j33,1Ohm).



Hinweis: Die Vorwärtstransformation S21 kann man in diesem Beispiel natürlich nicht dem NanoVNA messen, sie bleibt hier ein rein theoretischer Wert. Anders ist es im folgenden Beispiel, welches auch ausgangsseitig einen 50Ohm-Abschluss hat.

Beispiel 10: Bandpass-Filter

Dass der KNWA mehr kann, als nur Antennenanpassungen zu berechnen, soll dieses letzte Beispiel demonstrieren, das u.a. auch eine bei 5% angezapfte Induktivität verwendet (*Bandpass80m.ama*):



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

Hinweise zur Bedienung des Designers

- Jede Schaltung hat genau einen Generatorwiderstand R_G und eine Lastimpedanz Z_A (oder Dipol, Groundplane oder Eingangsreflexion S_{11}).
- **In der Betriebsart "Segmentierung" sind einige Besonderheiten zu beachten, da ansonsten keine exakten Verlustanalysen und SWR-Berechnungen möglich sind:**
 - R_G ist immer im ersten und Z_A (oder DIP , GP oder S_{11}) immer im letzten Segment zu platzieren
 - die Verbindungsdrähte zwischen den Segmenten müssen die senkrechten blauen Linien auf gleicher Höhe wie R_G 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 Auswahl-Button (" R_G ", " Z_A ", " 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 möglich (s.u.).
- Bauelemente und Verbindungen löschst Du durch anklicken (werden rot markiert) und anschließendes Betätigen der *Entf*-Taste.
- 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.

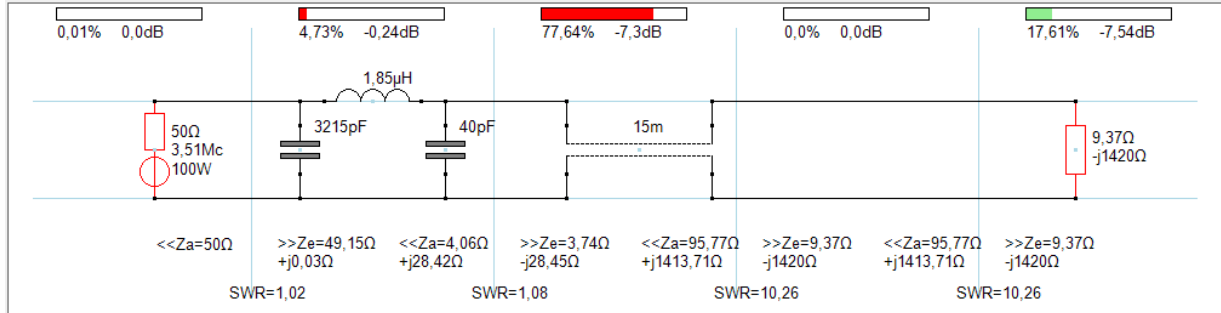
Am besten Du schaust Dir die beigelegten Beispieldateien an, bzw. modifizierst diese, um Dich mit der Bedienung des KNWA vertraut zu machen.

HamVNAS vs SimSmith

An ihren Früchten werdet ihr sie erkennen (Matthäus Evangelium, Kap.7)

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

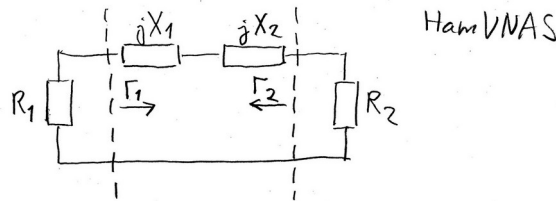
Hans war der Meinung, dass meine Berechnungen zum antennenseitigen SWV falsch seien:



HamVNAS sowie der KNWA basieren auf der klassischen Vierpoltheorie, dabei wird der komplexe Reflexionsfaktor Γ immer gegen einen **reellen** Generatorwiderstand R_1 und einen i.a. komplexen Lastwiderstand $Z_2 = R_2 + jX_2$ gemessen⁴:

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

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 :



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

$$a = R_1 - R_2$$

$$b = -(X_1 + X_2)$$

$$c = R_1 + R_2$$

$$d = X_1 + X_2$$

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

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

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

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 SWV = **-1,08** ermittelt.

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

4 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