

Der Mythos vom antennenseitigen SWR

Jeder Funkamateurliebt die Erfahrung gemacht, dass sein **senderseitiges** SWV nicht nur vom Innenwiderstand der PA und vom Wellenwiderstand der Speiseleitung abhängt, sondern ebenso von der Impedanz der Antenne am anderen Ende.

Gemäß Umkehrungsprinzip (Sendeantenne wird zur Empfangsantenne) muss demzufolge das **antennenseitige** SWV sowohl von der Antennenimpedanz abhängen, als auch von den Kabelparametern und von der Impedanz am Eingang der Speiseleitung.

Es gibt aber leider viele OMs, die das partout nicht wahrhaben wollen und für das antennenseitige SWR eigene Regeln aufstellen, wie es das beigefügte [Traktat](#) von OM Ludwig zeigt. Dieses gipfelt in der bizarren Feststellung "Ein Einfluss der Anpassung am Generator auf das SWV an der Last ist nicht erkennbar".

Begriffsdefinitionen

Stehwellenverhältnis und Reflektionsfaktor sind zwei gleichwertige Varianten, um die Reflexion an einem Impedanzsprung zu quantifizieren, wie zum Beispiel bei Fehlanpassung einer Lastimpedanz an einen Generator (siehe [hier](#)).

Der **Reflexionsfaktor** Γ ist eine komplexe Zahl und berechnet sich aus dem reellen Innenwiderstand des Generators R_G und der komplexen Lastimpedanz Z_A zu:

$$\Gamma = \frac{R_G - Z_A}{R_G + Z_A} \quad \text{mit} \quad Z_A = R_A + jX_A$$

Mit $R_1 = R_G - R_A$ und $R_2 = R_G + R_A$ erhalten wir:

$$\Gamma = \frac{R_1 R_2 - X_A^2}{R_2^2 + X_A^2} - j \frac{X_A (R_1 + R_2)}{R_2^2 + X_A^2}$$

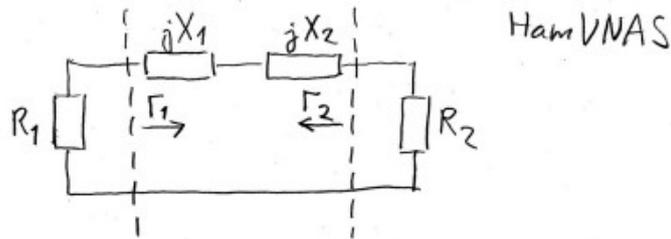
Das **Stehwellenverhältnis** SWR ergibt sich aus dem Betrag des Reflexionsfaktors:

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

Ist, wie beim antennenseitigen SWR, auch der Generatorwiderstand komplex, so muss die generatorseitige Blindkomponente X_1 zur lastseitigen Blindkomponente X_2 hinzuaddiert werden, wie es die folgende allgemein gehaltene Herleitung zeigt.

Man erkennt, dass es egal ist ob $R_1 + jX_1$ die Generator- und $R_2 + jX_2$ die Lastimpedanz bezeichnen oder umgekehrt, denn der Betrag des Reflexionsfaktors ist in jedem der beiden Fälle derselbe. Demzufolge ist auch das SWR für beide Richtungen gleich.

Um die Formel für eine Auswertung mit dem Taschenrechner oder auch Computer aufzubereiten, habe ich sie in die Teilausdrücke a, b, c, d zerlegt:



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

$$a = R_1 - R_2$$

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

$$c = R_1 + R_2$$

$$d = X_1 + X_2$$

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

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

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

An diesem Beispiel scheiden sich die Geister

Für seine "Beweisführung" verwendet Ludwig eine fiktive Antenne, die bei 1MHz einen Strahlungswiderstand von 1000Ohm hat und über 300m verlustfreies 50Ohm-Koaxkabel (VF=1) gespeist wird.

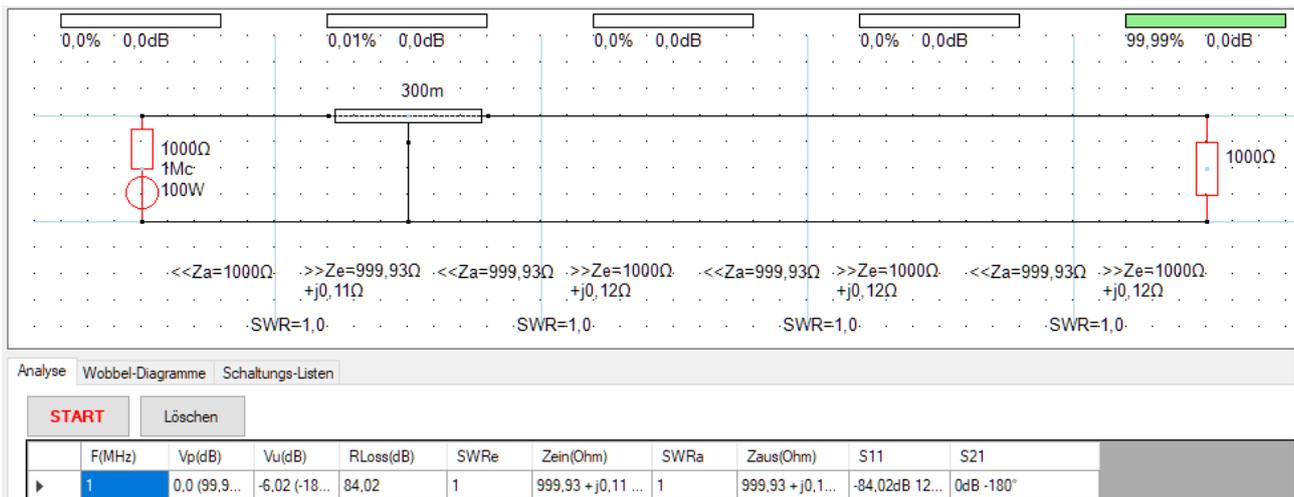
Da ein idealer verlustfreier ATU angenommen wird, gilt **senderseitiges SWV = 1,0**.

Diesbezüglich herrscht also zwischen unseren Standpunkten Einigkeit.

Aber jetzt kommt es zum Streitpunkt, denn OM Ludwig gelingt tatsächlich der "Nachweis", dass ein **antennenseitiges SWV=20** vorliegen muss.

Ich habe dieses Beispiel sowohl mit dem [Kabelrechner](#) als auch mit dem [Kleinen Netzwerk-analysator](#) nachgestellt und komme zum Ergebnis:

bei RG = 1000 Ohm hat das antennenseitige SWV den Wert 1,0!



Da Ludwig die verlustlose Leitung exakt eine Wellenlänge lang gemacht hat, herrschen an beiden Enden die gleichen Strom- und Spannungsverhältnisse. Bereits der gesunde Ingenieurverstand reicht aus um festzustellen, dass die SWR an Ein- und Ausgang der Leitung den Idealwert 1,0 haben müssen.

Wenn, wie Ludwig behauptet, das antennenseitige SWR allein vom Wellenwiderstand des Kabels und von der Lastimpedanz abhängt, müsste auch die Länge des Kabels ohne Einfluss sein. Spätestens bei einer Länge von Null müsste Ludwig die Haltlosigkeit seiner These erkennen.

Berechnungen mit verlustfreien Kabeln sind realitätsfremd!

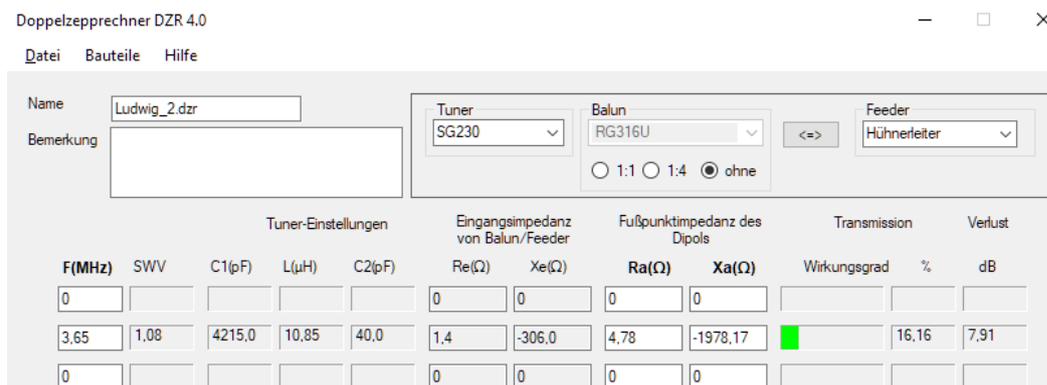
Um den mathematischen Aufwand gering zu halten vernachlässigen, wie Ludwig, viele Autoren allzu gerne die Leitungsdämpfung und vergessen dabei, dass auf diese Weise selbst bei sehr hochwertigen Feedern oft Ergebnisse zustande kommen, die fernab der Realität liegen.

Im Beispiel 1 des [Kabelrechners](#) demonstriere ich dies anhand eines 2x6,5m Dipols (Fußpunktimpedanz bei 3,65MHz: 4,78-j1978 Ohm), der mit einer 10m langen Hühnerleiter gespeist wird. Wenn man (mit verlustfreien ATU) senderseitig ein SWR = 1,0 erreicht, gilt antennenseitig SWR = 4,5.

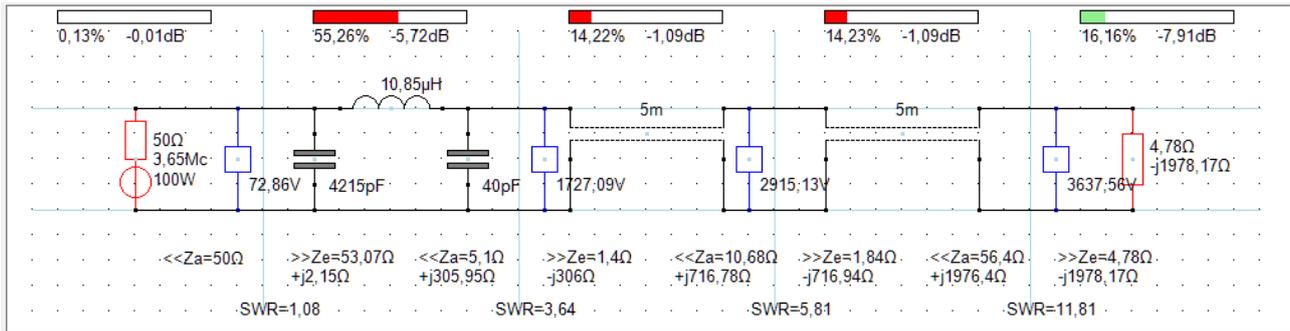
Obwohl die Grunddämpfung der Leitung bei 3,65MHz nur 0,01dB(!) beträgt, erreicht die SWV-bedingte Zusatzdämpfung bereits einen Wert von 4,5dB!

Letzendlich kann der Gesamtwirkungsgrad dieser Antenne maximal nur 36% erreichen.

Doch auch das bleibt weitgehend graue Theorie, denn mit einem realen ATU (SG230; QL=250; QC=1000) geht der Wirkungsgrad extrem nach unten, wie es die Simulation mit dem [Doppelzepprechner](#) zeigt (Fußpunktimpedanz des Dipols wurde direkt eingetragen):



Der [KNWA](#) bestätigt den [DZR](#) und zeigt wo die Leistung verloren geht:



Um zu demonstrieren, wie stark aufgrund der Verlustwiderstände Spannung und SWR in Richtung Antenne ansteigen habe ich hier die 10m Hühnerleiter in zwei 5m Stücke aufgeteilt.

Fazit

Berechnungen von Antennensystemen, die die ohm'schen Verluste von Leitung und Bauelementen nicht berücksichtigen (wie zum Beispiel mit [LtSpice](#)), eignen sich vielleicht für den Hörsaal, sind aber praktisch unbrauchbar bzw. bleiben extrem unzuverlässig!