

Verluste im Speisekabel

DL3IAX, OM Peter, schrieb mir u.a.:

...nach vielen Jahrzehnten glücklichen Funkens auf dem langen Weg wurden die Aluminium Rohre meiner vorzüglichen DJ4VM Quad derart brüchig, dass neu geplant werden musste.

Mit einer G5RV bin ich aber nachfolgend nie richtig warm geworden.

Nun soll eine ZS6BKW mich glücklicher machen! Es ist alles bestellt: 13,7 m Fiberglas 450Ohm Feeder etc. Nur noch das Speise- Koaxialkabel ist noch auf der to do Liste.

Leider ist mit weniger als 10 m Länge kaum das Shack zu erreichen (das Flachdach durchbohre ich nie wieder!)... Und da beginnt mein Problem:

Mit welcher Länge, welcher Kabelsorte(KUSCH) habe ich die beste Chance auf guten Wirkungsgrad meiner nun 40 jährigen Hauptnutzfreqenz 14307 KHz zu kommen?...

Eine konkrete Antwort kann der [Kabelrechner](#) liefern (siehe unten), zunächst aber werfen wir einen genauerer Blick auf die ZS6BKW.

Die ZS6BKW im Doppelzepprechner

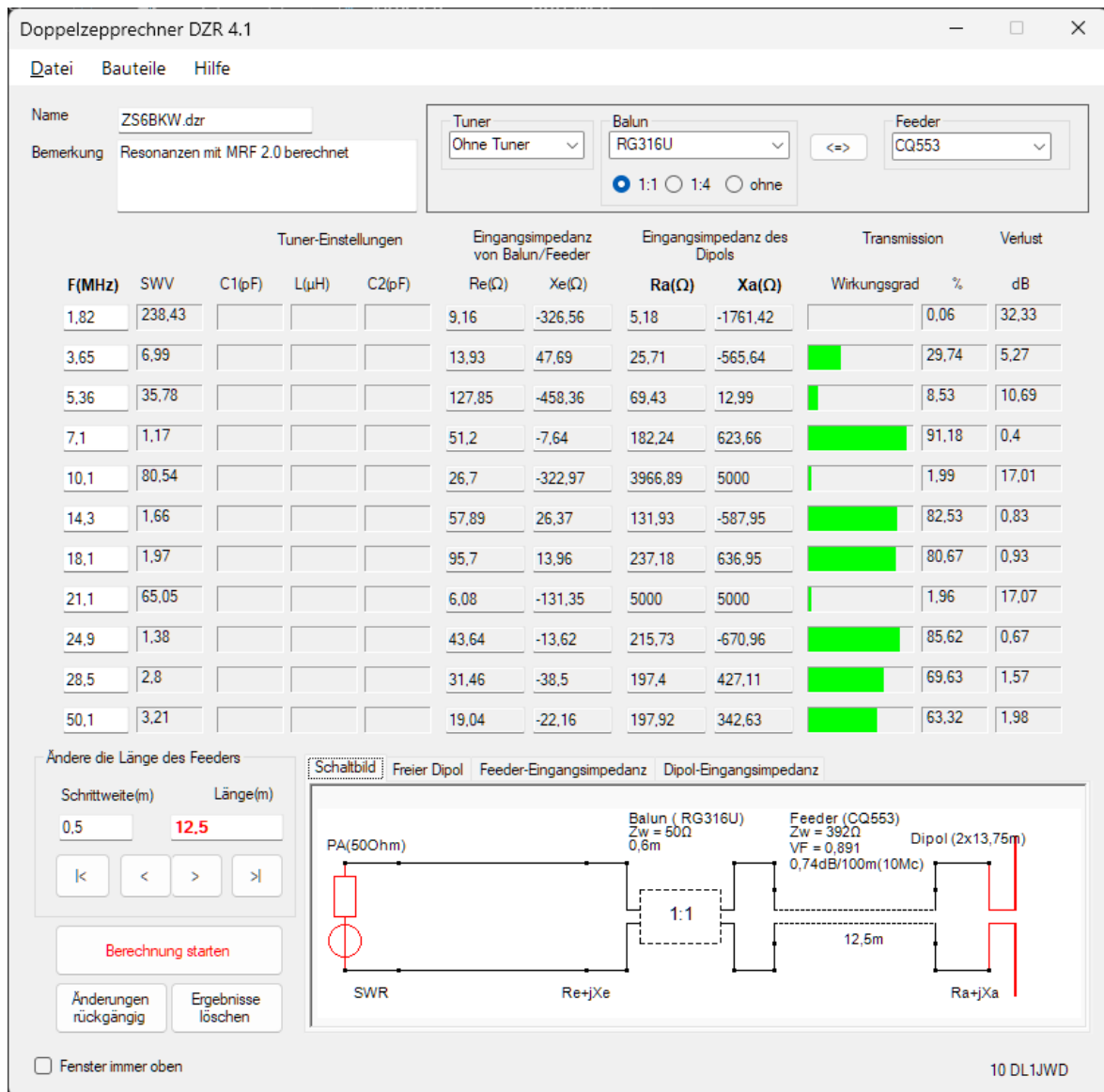


Bild 1 Modellierung der ZS6BKW im Doppelzepprechner (ohne ATU)

Ohne Verwendung eines ATU bestätigt der [Doppelzepprechner](#) Eigenresonanzen für 4-Afu-Bänder (40m, 20m, 17m, 12m) mit einem eingangsseitigen SWR von kleiner 2 (Bild 1).

Aber auch 10m- und 6m-Band liegen noch in der Nähe von Eigenresonanzen.

Das "Sorgenkind" dieser beliebten Antenne, das 80m Band, ist mit einem ATU ebenfalls noch gut abstimmbar.

Für das 160m-Band ist diese Antenne natürlich viel zu kurz, richtig schlecht sieht es aber auch für die Bänder 60m, 30m und 15m aus.

Kommt ein ATU zum Einsatz, so sind (mit Ausnahme des 160m-Bands) zwar alle Bänder auf ein gutes bis sehr gutes SWR abstimmbar, wie aber Bild 2 beweist ist auf 30m und 15m der Wirkungsgrad inakzeptabel (nur ca. 38% bzw. 25%).

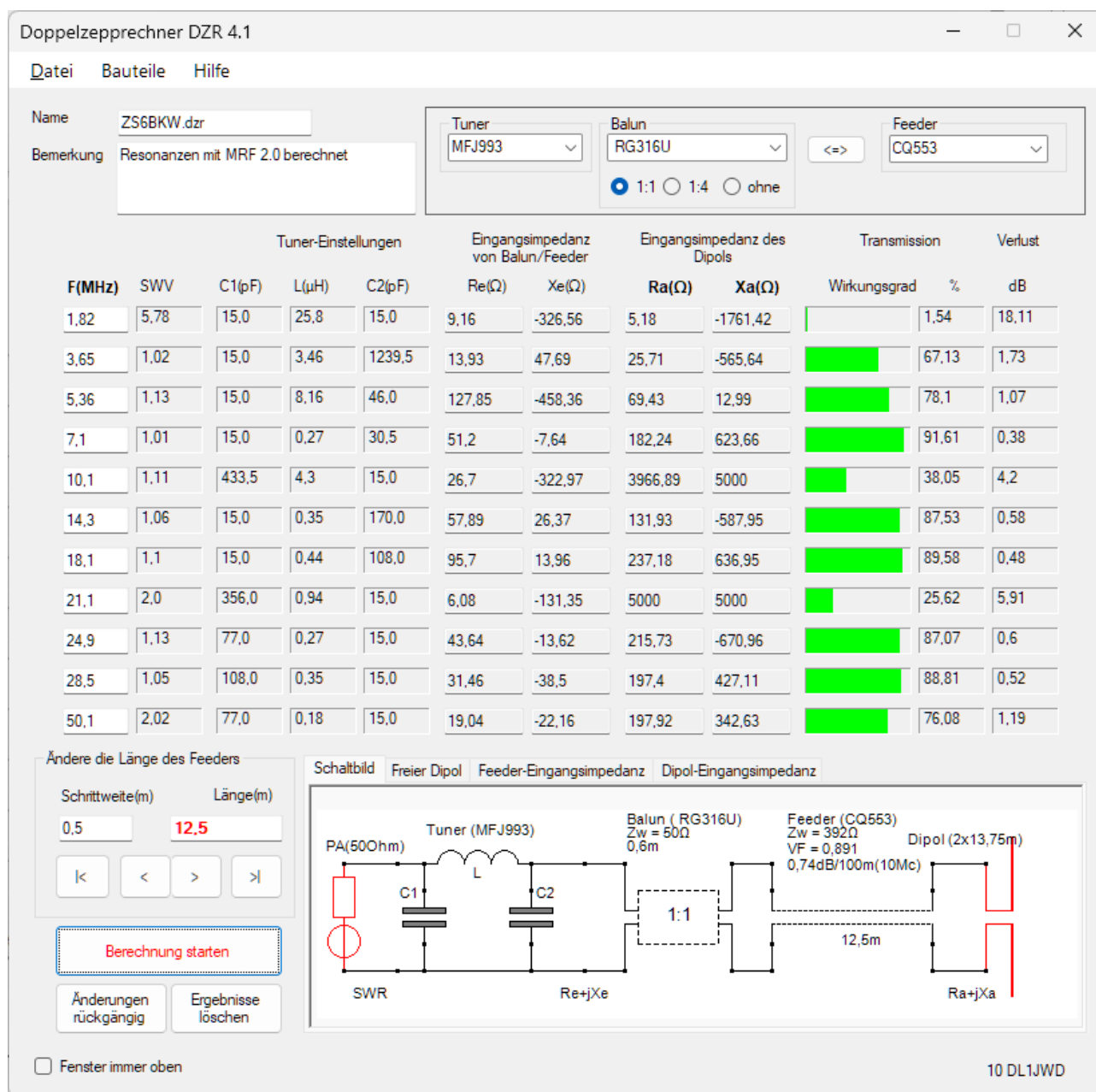


Bild 2 Die ZS6BKW im Doppelzepprechner (mit ATU MFJ-993B)

Das "vergessene" Speisekabel

Die Prognosen des Wirkungsgrads sind für alle in der Nähe der Eigenresonanzen liegenden Bänder ausreichend genau, der Einfluss des Speisekabels ist hier vernachlässigbar, da beidseitig ein annähernder 50Ohm-Abschluss angenommen werden kann.

Außerdem geht der DZR davon aus, dass das Speisekabel im Vergleich zur Wellenlänge des Signals sehr kurz ist, z.B. wenn ein automatischer ATU direkt am Antennenfuß betrieben wird oder sogar ein symmetrischer Koppler zum Einsatz kommt.

Anders liegen die Verhältnisse bei den "zwangsangepassten" Bändern (80m, 30m, 15m, 10m, 6m). Hier kann das Verbindungskabel zwischen ATU und Antenneneingang (Balun) unerwartet hohe SWR-bedingte Zusatzverluste verursachen, die die Grunddämpfung des Kabels weit übersteigen! Die im DZR angezeigten Wert für den Gesamtwirkungsgrad auf diesen Bändern sind dann irreführend, weil viel zu hoch.

Bild 3 zeigt die Verlustanalyse einer vom DZR für das 80m-Band berechneten ZS6BKW-Konfiguration (Bild 2) mit dem "[Kleinen Netzwerkanalysator](#)":

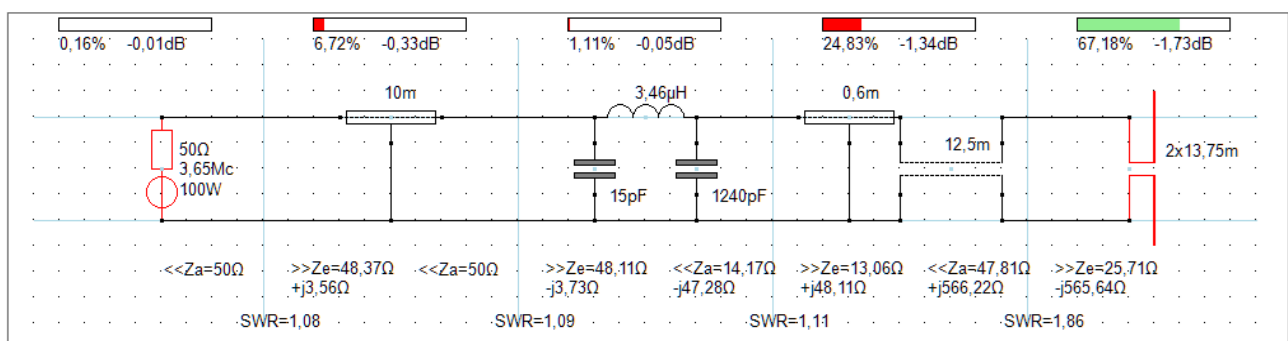


Bild 3 Verlustanalyse der ZS6BKW für das 80m-Band. Der (automatische) ATU befindet sich direkt am Antennenfuß und ist mit dem Trx über ein 10m langes Koaxkabel verbunden, in welchem nur relativ geringe Wärmeverluste entstehen (6,7W). Die meiste Energie verheizt der Balun (ca. 25W). Von den 100W PA-Leistung werden nur ca. 67W von der Antenne abgestrahlt.

Das Speisekabel vom Typ RG58 hat lt. Katalog bei 10MHz eine Grunddämpfung von 5dB/100m, umgerechnet auf 3,65MHz wären das:

$$\text{db}@3,65\text{Mc} = 5\text{dB} * \text{Sqrt}(3,65/10) = \text{ca. } 3\text{dB}/100\text{m} = 0,3\text{dB}/10\text{m}$$

Die angezeigten Verluste (-0,33dB) sind also nur geringfügig höher als die Grunddämpfung des Kabels was daran liegt, dass in diesem Fall das Kabel an beiden Enden einen annähernd reellen Abschluss nahe dem Wellenwiderstand von 50Ohm "sieht".

Völlig anders liegen die Verhältnisse wenn wir die Position des 10m-Speisekabels vertauschen, d.h. der ATU befindet sich jetzt direkt am Trx und das Kabels führt zum Balun am Mastfuß der ZS6BKW.

Der Ausgang des Verbindungskabels ist nun mit der Eingangsimpedanz des Baluns $Z_e = 13 + j48\text{Ohm}$ abgeschlossen, also weit weg von reellen 50Ohm.

Die vom DZR ermittelten ATU-Einstellungen sind nicht mehr gültig und auf ein SWR nahe Eins muss völlig neu abgestimmt werden (Bild 4).

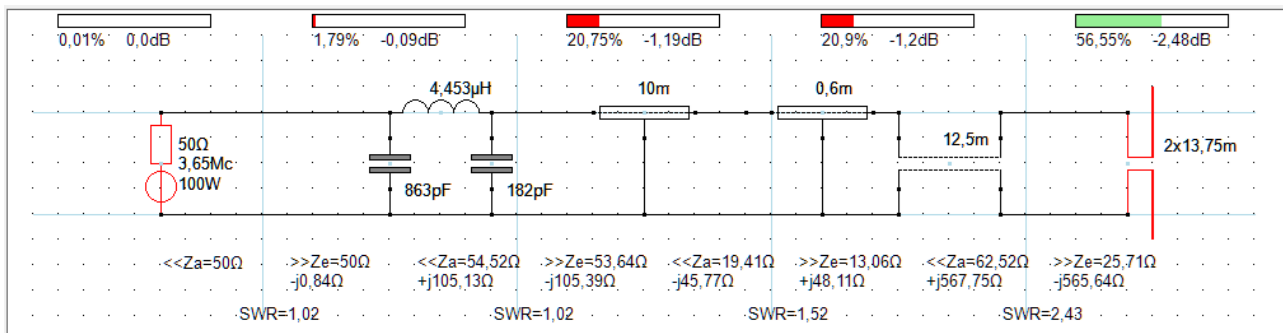


Bild 4 Der ATU befindet sich direkt am Trx. Das 10m-Koaxkabel (RG58) verbindet den ATU mit dem Balun am Feedereingang der ZS6BKW. Die Kabelverluste sind etwa so hoch wie die im Balun. Trotz eines perfekten SWR = 1,02 werden nur noch 56% der PA-Leistung abgestrahlt.

Die Verluste im Kabel haben sich mehr als verdreifacht! Fast die Hälfte der Sendeenergie geht im Antennensystem verloren.

Trotzdem nehmen viele OMs den schlechten Wirkungsgrad ihrer ZS6BKW bei 80m-Betrieb in Kauf.

Aber es kommt noch schlimmer: Mit einem guten ATU lässt sich die ZS6BKW sogar an das 30m-Band mit einem perfekten SWR anpassen, allerdings mutiert hier das Antennensystem zur Dummyload (Bild 5).

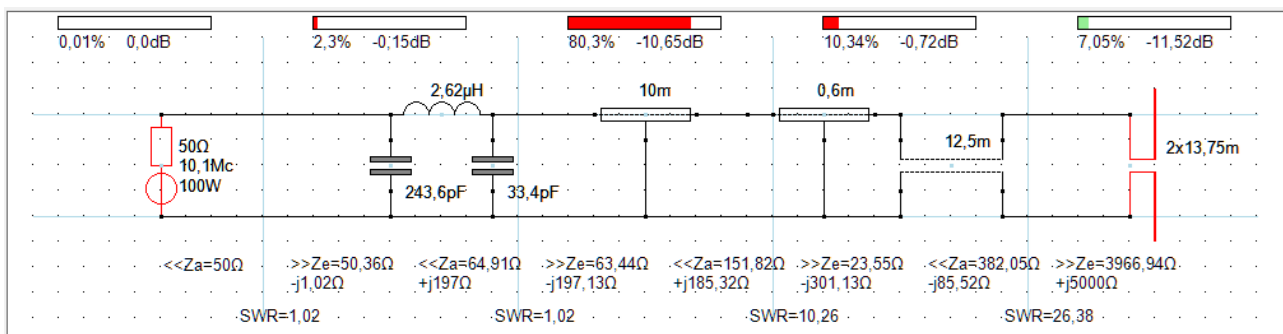


Bild 5 Die ZS6BKW bei 30m-Zwanganpassung als Dummyload. Hier ist der ATU direkt am Trx und ein 10m-Verbindungskabel führt zur Antenne. 80% der Sendeleistung werden im Kabel vernichtet, nur 7W kommen zur Abstrahlung!

Einsatz des Kabelrechners

Wir haben gesehen: die Berechnung der tatsächlichen Kabelverluste mit dem Kleinen [Netzwerkanalysator](#) ist ziemlich umständlich.

Stattdessen kann man sich mit dem [Kabelrechner](#) einen schnellen Überblick verschaffen.

Voraussetzung ist die vereinfachende Annahme, dass am Kabeleingang ein idealer ATU angeschlossen ist, der sich verlustfrei auf ein SWR=1,0 abstimmen lässt.

Die erzielten Resultate liefern gute Näherungswerte für die zu erwartenden Verluste im Kabel.

Peters Problem (siehe oben)

Zunächst sind die Daten für das RG58 in den Kabelrechner einzugeben, man entnimmt sie z.B. den Katalogangaben des Herstellers.

Die dort angegebene Dämpfung (5dB/100m bei 10MHz) bezieht sich auf den Fall dass Ein- und Ausgang des Kabels mit 50Ohm abgeschlossen sind.

Die Umrechnung für andere Frequenzen interpoliert das Programm selbstständig nach der bekannten Abhängigkeit von der Quadratwurzel des Frequenzverhältnisses.

Gemäß Doppelzepprechner ist bei 14,3MHz die Eingangsimpedanz des Baluns

$$Z_E = 57,89 + 26,37j\Omega \text{ (siehe Bild 2).}$$

Diese Werte entsprechen der Last-Impedanz des Kabels und sind (gerundet) in die rechten Felder einzugeben.

Nach Klick auf die Schaltfläche "<=" erfolgt die Transformation in die entsprechende Eingangsimpedanz des Kabels (linke Felder):

Kabelparameter					
F(MHz)	Zw(Ω)	VF	Länge(m)	a(dB/100m)	@ f(MHz)
14.3	50	0.66	10	5	10

Eingangs-Impedanz		Last-Impedanz	
REs(Ω)	jXE(Ω)	RA(Ω)	jXA(Ω)
42.372	-18.904	57.9	26.4
588.75pF		0.294μH	

Mit idealem Tuner			
Kabel-Grunddämpfung (dB)	0.6	12.86	%
SWR-bedingte Zusatzdämpfung (dB)	0.07	1.34	%
Gesamtdämpfung (dB)	0.67	14.2	%
Wirkungsgrad(%)	85.8		

Eingangsseitiges SWR		Ausgangsseitiges SWR	
Eingangsseitiges SWR	1.00	Ausgangsseitiges SWR	1.13
Spannung am Kabeleingang (V)	71.28	Spannung am Kabelausgang (V)	77.46

Bild 6 Berechnung der Verluste im Speisekabel von Peters ZS6BKW

Die in angegebenen Prozente sind bei einer PA-Leistung von 100W folgendermaßen zu interpretieren:

- Kabel-Grunddämpfung 12,86%
12,86W sind die Verluste die bei beidseitigem 50Ohm-Abschluss auftreten würden
- SWR-bedingte Zusatzdämpfung 1,34%
1,34W kommen hinzu, weil am Kabelausgang eine Fehlanpassung vorliegt
- Gesamtdämpfung 14,2%
Insgesamt 14,2W werden im Kabel in Wärme umgesetzt

Weil in Peters Fall bei 14,3MHz ein 10m langes RG58-Verbindungskabel "nur" 14,2% der PA-Leistung verheizt kann er diesen Verlust wohl gerade noch tolerieren.

Verluste bestimmen über Messung der Eingangsimpedanz

Der Kabelrechner kann auch für Verlustberechnungen im Speisekabel bereits vorhandener Antennen verwendet werden.

Anstatt des Doppelzepprechners ist jetzt ein VNA erforderlich, der die Eingangsimpedanz des Speisekabels ermittelt.

Achtung: Für VNA-Messungen an Kabeln jeglicher Art sollte ein geeigneter 1:1 Breitband-Balun vorgeschaltet werden (in Kalibrierung einbeziehen!).

Wir nehmen als Beispiel meinen endgespeisten Halbwellenstrahler für das 30- und 15m-Band, der über ein 10m langes RG58 mit dem ATU (MFJ-993B) im Shack verbunden ist.

Mich interessierte die Frage, mit welchen Einbußen man die Antenne auch auf dem 20m-Band betreiben könne.

Mit dem NanoVNA wurde (bei abgeklemmten ATU) die Eingangsimpedanz des Speisekabels gemessen:

$$Z_E = 13 - j28,15\Omega$$

... und in die Felder auf der **linken** Seite des Kabelrechners eingetragen.

Nach Klick auf "=>" erfolgt die Transformation (umgekehrte Richtung) in die entsprechende Last-Impedanz am Kabelende.

The screenshot shows the 'Kabelrechner 2.5' window. The 'Fenster oben' checkbox is checked. The 'INFO' button is visible. The 'Kabelparameter' section contains the following values: F(MHz) = 14.1, PA-Leistung(Watt) = 100, Zw(Ω) = 50, VF = 0.66, Länge(m) = 10, a(dB/100m) = 5, and @ f(MHz) = 10. The 'Eingangs-Impedanz' section shows REs(Ω) = 191.9, jXEs(Ω) = 74.8, and 0.844μH. The 'Last-Impedanz' section shows RAs(Ω) = 8.096, jXAs(Ω) = 7.133, and 0.081μH. The 'Mit idealem Tuner' section shows the following values: Kabel-Grunddämpfung (dB) = 0.59, SWR-bedingte Zusatzdämpfung (dB) = 1.03, Gesamtdämpfung (dB) = 1.62, Wirkungsgrad(%) = 68.87, Eingangsseitiges SWR = 1.00, Spannung am Kabeleingang (V) = 148.66, Ausgangsseitiges SWR = 1.82, and Spannung am Kabelausgang (V) = 31.47. The values 12.78, 18.35, and 31.13 are highlighted in a red box.

Kabelparameter	
F(MHz)	14.1
PA-Leistung(Watt)	100
Zw(Ω)	50
VF	0.66
Länge(m)	10
a(dB/100m)	5
@ f(MHz)	10

Eingangs-Impedanz	
REs(Ω)	191.9
jXEs(Ω)	74.8
0.844μH	

Last-Impedanz	
RAs(Ω)	8.096
jXAs(Ω)	7.133
0.081μH	

Mit idealem Tuner	
Kabel-Grunddämpfung (dB)	0.59
SWR-bedingte Zusatzdämpfung (dB)	1.03
Gesamtdämpfung (dB)	1.62
Wirkungsgrad(%)	68.87
Eingangsseitiges SWR	1.00
Spannung am Kabeleingang (V)	148.66
Ausgangsseitiges SWR	1.82
Spannung am Kabelausgang (V)	31.47

Bild 7 Berechnung der Verluste im Speisekabel eines außerhalb der Resonanzen betriebenen HWS. Die SWR-bedingte Zusatzdämpfung ist deutlich höher als die Grunddämpfung des Kabels.

Im Verbindungskabel gehen mehr als 30% der Sendeleistung verloren (31Watt bei 100W-Output). Demnach ist für das 20m-Band diese Antenne höchstens als Notantenne geeignet!

Schlussbemerkungen

Peters Problemstellung ist nicht nur für die ZS6BKW typisch, sondern für alle außerhalb ihrer Eigenresonanzen gespeisten Antennen.

Bei starker Fehlanpassung des Speisekabels kann, bedingt durch die SWR-bedingten Zusatzverluste, die reale Dämpfung des Kabels deutlich größer sein als die Grunddämpfung.

Da viele Trx über eingebauten ATU verfügen ist die Versuchung groß, diesen auch bei bei längeren Antennenzuleitungen einzusetzen. Das kann fatale Folgen haben.