

## Multi Resonanz Finder MRF 2.0 für die Doppelzepp

Wer eine Doppelzepp plant, wird sich zumindest die folgenden Fragen stellen:

- Welche Länge müssen Dipol und Feeder haben, damit die PA auf möglichst vielen Amateurfunkbändern ein möglichst geringes SWV "sieht"?
- Welches Speisekabel ist dafür am besten geeignet?
- Welche Bänder lassen sich mit dem Tuner überhaupt nicht anpassen und für welche gibt es zumindest einen kleinen Hoffnungsschimmer?

Der *MultiResonanceFinder* (MRF) führt Millionen von Rechenoperationen aus, um diese Fragen zu beantworten, er setzt sich aus verschiedenen Bausteinen des Programms [HamVNAS](#) zusammen, wie sie zum Beispiel auch in [Kabelrechner](#), [Kleiner Netzwerkanalysator](#), [OCF-Calculator](#) oder [Doppelzepprechner](#) zur Anwendung kommen.

Näheres zum theoretischen Background findet man in den Info-PDFs, die diesen Tools jeweils beigelegt sind.

Genau wie der [Doppelzepprechner](#) (DZR) ermittelt auch der MRF die Fußpunktimpedanzen gestreckter Dipole im Freiraum auf der Basis von Integralen der Antennentheorie /5/.

Aber: im Unterschied zum DZR sucht der MRF **vollautomatisch** nach den Dipol-Feeder-Kombinationen, die auf maximal vielen Bändern resonant sind.

Dabei werden sowohl symmetrische als auch unsymmetrische (OCF-) Dipole untersucht.

In der neuen **Version 2.0** des MRF sind einige Wünsche von OMs berücksichtigt, die bereits längere Zeit mit einer der Vorgängerversionen gearbeitet haben:

- Die nicht benötigten Frequenzen werden nicht mehr durch Eintragen einer Null (0) ausgeschlossen, sondern durch Setzen eines Häkchens. Dadurch bleiben die einmal eingetragenen Standardfrequenzen erhalten.
- Im Bereich "Resonanzen" ist ein zusätzlicher Wert **SWR<sub>bis</sub>** einzutragen. Damit können in den Ergebniszeilen zusätzlich auch SWR-Werte für Frequenzen angezeigt werden, die diese Bedingung erfüllen ohne resonant zu sein aber evtl. noch mit einem ATU gut abstimmbare sind (wie z.B. 80m-Band bei ZS6BKW). Die Anzeige unsinniger Resonanzen wird vermieden was zur Übersichtlichkeit beiträgt.
- Der Einfluss eines "Balun für undefinierte Impedanzen" am Feedereingang sowie einer Gleichtaktdrossel am Feederausgang kann jetzt bei der Berechnung mit erfasst werden. Die Gleichtaktdrossel ist mitunter bei unsymmetrisch gespeisten Dipolen erforderlich.

### Bedienung

- Gib (entsprechend der örtlichen Verhältnisse) die minimale (*Min. Length*) und die maximale mögliche (*Max. Length*) Länge des Dipols ein. Innerhalb dieses Bereichs wird der MRF nach einer optimalen Spannweite des Dipols suchen.
- Mit der Schrittweite (*Step*) legst Du fest, um welchen Betrag sich die Länge bei jeder neuen Berechnung vergrößern soll.

Eine kleine Schrittweite liefert zwar genauere SWVs, erhöht allerdings die Rechenzeit.

- Der MRF berechnet nicht nur symmetrische, sondern auch unsymmetrische (OCF-) Dipole. Im Feld *OCF Points* trägst Du deshalb eine Zahl (1, 2, ...) ein die festlegt, wie viele mögliche Speisepunkte betrachtet werden sollen.  
Die Zahl 1 bedeutet, dass immer nur symmetrische Dipole infrage kommen, denn diese haben nur einen einzigen Speisepunkt, der bei 50% ihrer Spannweite liegt.

Eine (ganze) Zahl größer 1 umfasst neben symmetrischen auch unsymmetrische Dipole, der Wert 10 bedeutet zum Beispiel, dass 10 Speisepunkte berechnet werden, die bei 50%, 45%, ... 5% der Spannweite liegen.

Je höher Du *OCF Points* wählst, umso länger dauert natürlich die Rechenzeit. Andererseits vergrößert sich damit auch die Chance, einen optimalen Speisepunkt außerhalb der Mitte zu finden.

- Gib nun die Daten des Feeders ein, also dessen minimale und maximale Länge, die Schrittweite der Längenänderung sowie die Kabeldaten, d.h. Wellenwiderstand  $Z_w$ , Verkürzungsfaktor VF, Kabeldämpfung bei einer Bezugsfrequenz (i.d.R. 10MHz). Ausgehend von dieser Frequenz werden die Dämpfungswerte für die übrigen Frequenzen nach der bekannten Formel (Abhängigkeit von der Quadratwurzel des Frequenzverhältnisses) interpoliert.
- Wie Du siehst, umfasst die Suche nach Resonanzpunkten 11 Amateurfunkbänder, inbegriffen auch das relativ neue 60m-Band.  
Die zugehörigen Frequenzen sind bereits standardmäßig in den entsprechenden Feldern eingetragen, können aber von Dir korrigiert werden.  
Wenn Dich ein Band nicht interessiert nimm das Häkchen weg, das spart Rechenzeit.
- In das Feld *SWRmax* trägst Du das SWR ein, dass Du gerade noch als "Resonanz" akzeptieren willst. Da viele PAs erst ab einem  $SWR > 2$  herunter regeln, hat dieser Wert eine besonders wichtige Bedeutung.  
Logisch auch, dass der MRF für kleinere *SWRmax*-Werte weniger Resonanzpunkte liefern wird als für größere.
- Gib in das Feld *Nmin* die Mindestanzahl von Resonanzpunkten ein, die eine bestimmte Kombination aus Dipol- und Feederlänge liefern muss, um in die Ergebnismatrix übernommen zu werden.  
*Nmin* wählst Du in der Regel zwischen 1 und 5.

Die Zahl 1 bedeutet, dass auch alle Kombinationen mit angezeigt werden, die nur auf einem einzigen Band resonant sind. Allerdings erscheinen damit am Ende der Ergebnismatrix auch sehr viele für den Mehrbandbetrieb nutzlose Kombinationen.

Hingegen sind Kombinationen mit Resonanzen auf mehr als 4 Bändern hochinteressant. 6 Resonanzen (bei  $SWR_{max} = 2$ ) sind nur selten zu toppen, es sei denn, man vergrößert *SWRmax*.

- Der zusätzliche Wert *SWRbis* muss immer größer als *SWRmax* sein und dient zur Information ob evtl. noch andere Bänder mittels ATU angepasst werden könnten.

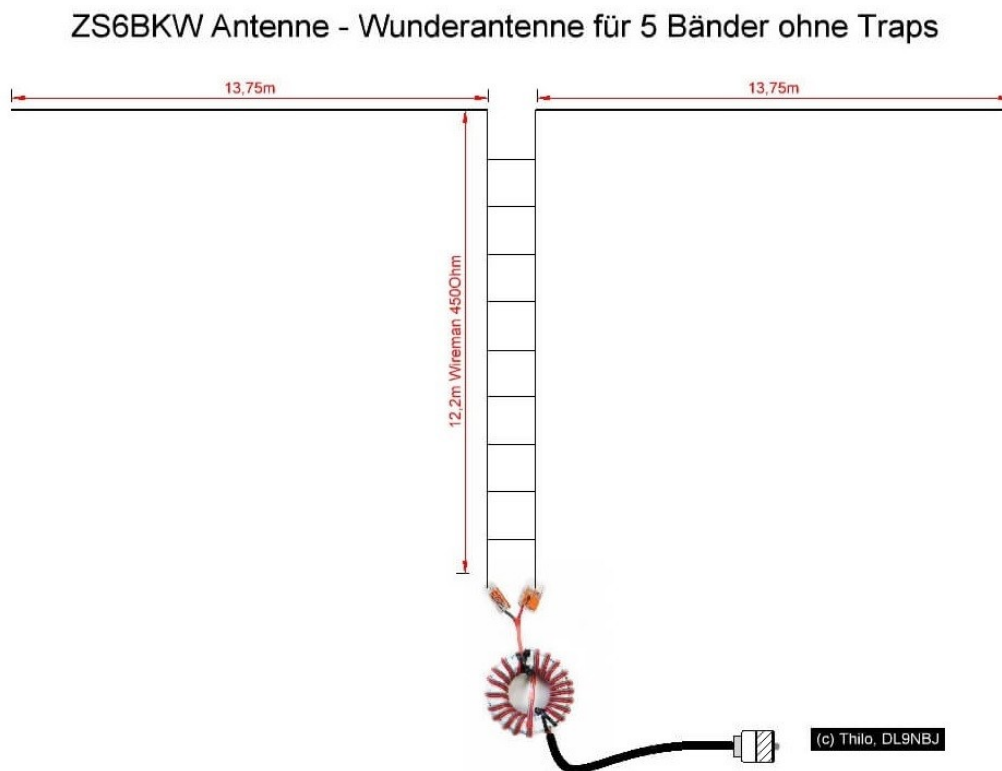
- Nach Klick auf "Start" kann es, je nach Parametereinstellungen, Sekunden bis Minuten dauern, bis die Ergebnismatrix erscheint.
- Wenn Du die Abstände zwischen minimaler und maximaler Dipol- bzw. Feederlänge zu groß gewählt hast oder deren Längenabstufungen zu fein eingestellt hast oder der Arbeitsspeicher Deines PCs zu klein ist, kann es passieren, dass das Programm mit einem *OutOfMemory*-Fehler abbricht.

**Für den MRF bestens geeignet ist ein Windows 10 PC mit 8GB RAM.**

### Beispiel 1a

ZS6BKW-"Wunderantenne"

Bei einer Spannweite zwischen 20 und 30m, einem Feeder aus halboffener Bandleitung *CQ553flex* von Wireman und einem "Balun für undefinierte Impedanzen" gewickelt mit 0,6m RG316 führt Dich der MRF zielgerichtet zur so genannten "ZS6BKW-Wunderantenne", wie sie zum Beispiel OM Thilo, DL9NBJ, in [Thilo's Amateurfunk & Elektronik Blog](#) wunderbar beschrieben hat:



Die besten Lösungen führen stets zu einen 27,8m langen symmetrischen Dipol ( $OCF=0,5$ ) mit einer Feederlänge um die 12,5m:

Multi-Resonanz-Finder MRF 2.0

**Feeder**

Min. Länge(m) Max. Länge(m) Schrittweite(m) Zw(Ohm) VF a(dB/100m) @ f(MHz)

5 15 0.1 392 0.891 0.74 10.1

**Dipol**

Min. Länge(m) Max. Länge(m) Schrittweite(m) Durchmesser(mm) Speisepunkte

20 30 0.2 2.0 1

**Resonanzen**

SWRmax SWRbis Nmin Treffer Schleifenzahl

2 10 5 5 5151

**1:1 Balun zwischen PA und Feedereingang**

Länge(m) Zw(Ohm) VF a(dB/100m) @ f(MHz)

0.6 50 0.7 8.5 10

**Gleichtaktdrossel zwischen Feederausgang und Dipol**

Länge(m) Zw(Ohm) VF a(dB/100m) @ f(MHz)

0 100 0.7 10 10

**Start** **Abbrechen**

F(MHz)

160m ☒ 80m ☒ 60m ☒ 40m ☒ 30m ☒ 20m ☒ 17m ☒ 15m ☒ 12m ☒ 10m ☒ 6m ☒

1.82 3.65 5.36 7.1 10.1 14.15 18.1 21.1 24.9 28.5 50.1

N_Res	L_Dipol	OCF	L_1	L_Feeder	SWR_160	SWR_80	SWR_60	SWR_40	SWR_30	SWR_20	SWR_17	SWR_15	SWR_12	SWR_10	SWR_6
5	27.8	0.5	13.9	12.5		8,05		<b>1,04</b>		<b>1,2</b>	2.74		<b>1,33</b>	<b>1,73</b>	<b>1,83</b>
5	28	0.5	14	12.4		7,83		<b>1,02</b>		<b>1,16</b>	2.64		<b>1,33</b>	<b>1,64</b>	<b>1,59</b>
5	28.2	0.5	14.1	12.3		7,61		<b>1,02</b>		<b>1,12</b>	2.5		<b>1,38</b>	<b>1,63</b>	<b>1,4</b>
5	28.4	0.5	14.2	12.2		7,42		<b>1,04</b>		<b>1,11</b>	2.33		<b>1,48</b>	<b>1,73</b>	<b>1,54</b>
5	28.4	0.5	14.2	12.3		7,9		<b>1,13</b>		<b>1,42</b>	3.07		<b>1,93</b>	<b>1,27</b>	<b>1,57</b>

18 DL1JWD ☒ Fenster oben **Info**

Die durch Fettdruck hervorgehobenen 5 Resonanzen des Dipols liegen auf den Bändern 40m (1,04), 20m(1,2), 12m(1,33), 10m(1,73) und 6m(1,83).

Das 17m-Band(2,74) und auch das 80m-Band (8,05) dürften die meisten Antennentuner vor keine Probleme stellen, allerdings ist dann teilweise mit hohen Anpassungsverlusten zu rechnen.

Unmöglich wird eine vernünftige Antennenanpassung auf den Bändern 160m, 60m, 30m und 15m (SWR wird wegen SWRbis = 10 nicht angezeigt).

### Bemerkungen:

- Da es sich um einen symmetrisch gespeisten Dipol handelt (OCF = 0,5) ist eine Gleichtaktdrossel **nicht** erforderlich, für deren Wicklungslänge ist deshalb der Wert 0 einzutragen.
- Für das 450Ohm Wireman Bandkabel CQ553 benutze man nicht die ungenauen Katalogwerte (Zw=450Ohm, VF=0,9) , sondern die in /2/ veröffentlichten exakten Messdaten (Zw=392Ohm, VF=0,89, 0,63dB/100m bei 3,5MHz; 0,74dB/100m bei 10,1MHz; 1,11dB/100m bei 28MHz).
- In Nähe der Eigenresonanzen ist der Begriff "Balun für undefinierte Impedanzen" eigentlich falsch, denn dieser ist beidseitig mit ca. 50Ohm abgeschlossen. Wird er anstatt mit einer 100Ohm-Leitung mit dünnem 50Ohm-Kabel gewickelt (RG316, RG174) sind die Anpassungsverluste geringer. Dasselbe gilt für einen Balun nach DG0SA mit zwei parallel geschalteten 100Ohm-Leitungen.
- Außerhalb der Eigenresonanzen können im "Balun für undefinierte Impedanzen" erhebliche Verluste auftreten, die in vielen Fällen zu seiner Zerstörung oder zur Unbrauchbarkeit des Antennensystems führen. Diese können mit dem "Kleinen Netzwerkanalysator" [KNWA](#) ziemlich genau spezifiziert werden.

## Beispiel 1b

### Kontrolle mit dem DZR

Fast zentimetergenau kommt auch der [Doppelzepprechner](#) bei einem symm. Dipol von 27,5m Länge auf eine optimale CQ553-Feederlänge von 12,5m!

Doppelzepprechner DZR 4.0

Name: ZS6BKW.dzr  
Bemerkung: mit MRF 2.0 berechnet

Tuner: Ohne Tuner  
Balun: RG316U  
Feeder: CQ553

1:1 1:4 ohne

Tuner-Einstellungen					Eingangsimpedanz von Balun/Feeder		Fußpunktimpedanz des Dipols		Transmission		Verlust	
F(MHz)	SWV	C1(pF)	L(µH)	C2(pF)	Re(Ω)	Xe(Ω)	Ra(Ω)	Xa(Ω)	Wirkungsgrad	%	dB	
1,82	233,36				9,05	-320,95	6,48	-1674,78		0,08	30,85	
3,65	7,37				14,8	53,22	26,38	-550,83		29,07	5,37	
5,36	34,86				117,58	-434,52	71,67	31,33		8,79	10,56	
7,1	1,05				51,96	1,29	190,88	657,96		91,45	0,39	
10,1	79,79				26,53	-320,43	5000,22	4998,85		2,04	16,91	
14,15	1,21				48,11	9,12	131,62	-587,29		87,33	0,59	
18,1	2,75				125,91	35,12	267,26	726,25		69,83	1,56	
21,1	65,09				6,08	-131,35	5008,77	5008,98		1,96	17,08	
24,9	1,32				65,72	-2,56	178,85	-574,89		86,58	0,63	
28,5	1,72				46,58	-26,22	233,66	543,23		83,49	0,78	
50,1	1,87				34,83	-21,8	240,35	489,78		79,3	1,01	

Ändere die Länge des Feeders

Schrittweite(m): 0,5  
Länge(m): 12,5

Berechnung starten

Änderungen rückgängig Ergebnisse löschen

Schaltbild Freier Dipol Feeder-Eingangsimpedanz Dipol-Fußpunktimpedanz

10 DL1JWD

### Bemerkungen:

- Nicht zu übersehen sind die "Stiefkinder" der ZS6BKW-Wunderantenne: die Bänder 160m, 60m, 30m und 15m.
- Wegen des neu hinzugekommenen 60m-Bands erlaubt die Version 2.3 des DZR nun die gleichzeitige Beobachtung von 11, anstatt bisher nur 10 Frequenzen.

Die geringen Abweichungen zu den vom MRF berechneten SWRs lassen sich auf die im DZR implementierte genauere Berechnung der frequenzabhängigen Kabeldämpfung des CQ553 zurückführen.

## Beispiel 2

Einfluss des Speisekabeltyps

Jeden, der von der ZS6BKW-"Wunderantenne" begeistert ist, wird zwangsläufig die folgende Frage quälen:

Müsste denn eine verlustarme "echte" Hühnerleiter nicht zu noch besseren Ergebnissen als das halboffene Bandkabel CQ553 führen?

Der MFR gibt eine schockierende Antwort: Alles wird nur noch schlechter!

Was trotz hochwertiger Hühnerleiter ( $Z_w=600$ ;  $VF=0,95$ ;  $a=0,16\text{dB}/100\text{m}$  bei 10MHz) als Optimum herauskommt ist lediglich einen symmetrischen Dipol der Spannweite 17,5m mit 11,72m langem Feeder und kläglichen drei Resonanzen (30m, 17m und 12m).

Ähnliche Enttäuschungen kann man auch beim Einsatz anderer gängiger Kabeltypen erleben, wie z.B. bei der halboffenen 300Ohm Bandleitung CQ562flex.

Damit bestätigt der MRF auf mathematischer Basis eine verblüffende These aus [Thilo's Blog](#) :

**Die ZS6BKW-"Wunderantenne" funktioniert nur gut mit halboffenem Bandkabel ähnlich CQ553!**

## Beispiel 3

"Wunderantenne" auch mit 160m-Band<sup>1</sup>.

Wer über deutlich mehr Platz als 27m verfügt, wird sich mit dem MRF auf die Suche nach einer "Wunderantenne" begeben, die auch das 160m Band erfasst.

Nach ca. 2 Minuten spuckt das Programm einen OCF-Dipol mit 73,8m Spannweite aus, der bei 30% seiner Gesamtlänge mit 9m CQ553 gespeist wird und es auf insgesamt 6 Resonanzen bringt! Diese finden sich auf den Bändern 160m, 80m, 40m, 15m, 12m und 6m.

Auch das 17m-Band liegt in greifbarer Nähe, leider aber nicht das 20m Band<sup>2</sup>.

Gewissermaßen als "Beifang" geht auch ein "nur" 60m langer symmetrisch gespeister Dipol mit in's Netz, der zwar nur auf 4 Bändern (80m, 40m, 15m, 10m) resonant ist, aber mit  $SWR=3,5$  auch auf 160m noch sehr gut abstimmbar sein dürfte.

## Beispiel 4 a

Praktische Messungen

Aufgrund von Umwelteinflüssen oder konstruktiven Besonderheiten (Inverted V) können die Messergebnisse für reale Dipole mehr oder weniger stark von den berechneten Werten abweichen.

Um nachzuweisen, dass sich meine Theorie nicht allzu weit von der Praxis entfernt hat, habe ich deshalb eine vom MRF berechnete 11,9m lange Doppelzepp im Garten in ca. 7m Höhe aufgehängt, sie besteht komplett aus Lautsprecherkabel ( $Z_w = 100\text{Ohm}$ ;  $VF = 0,7$ ;  $a = 13\text{dB}/100\text{m}$  bei 10MHz, siehe /3/).

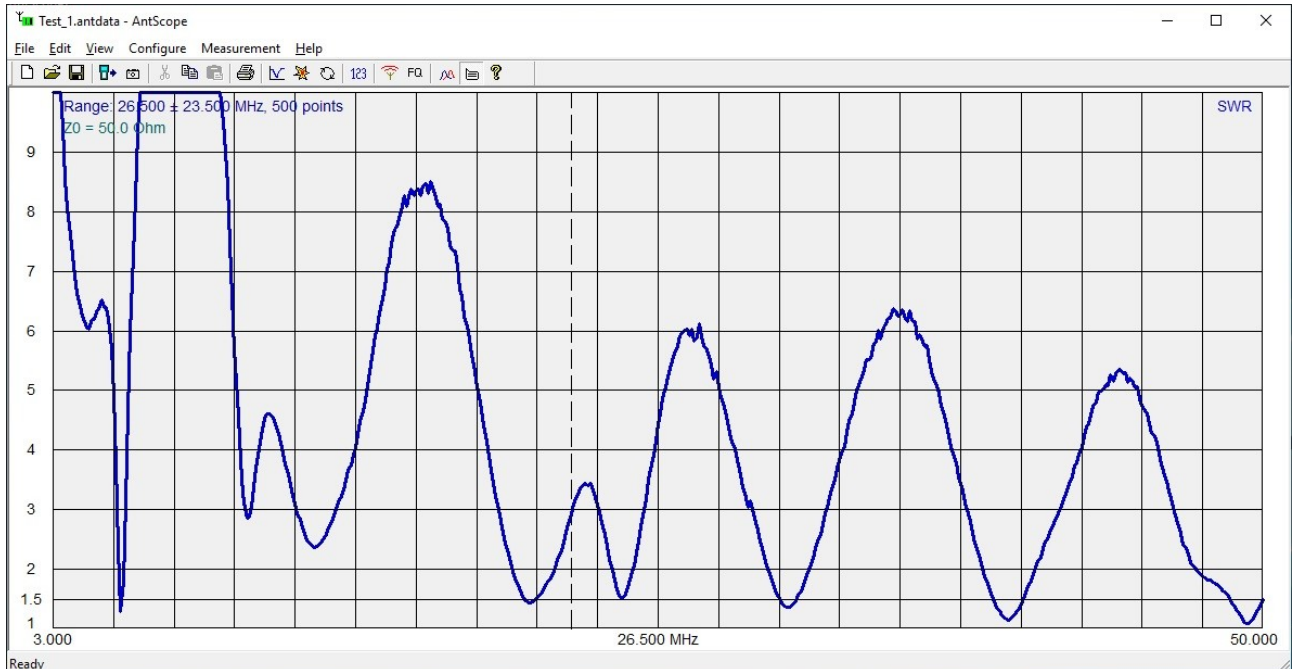
---

1 OK, es geht zur Not auch wenn man die ZS6BKW als T-Antenne betreibt,

2 Mit einer zuschaltbaren Feeder Verlängerung von 5m kommt auch das 20m-Band auf ein  $SWR < 2$ .

Der unsymmetrische Dipol hat einen zufällig ebenso langen Feeder, der ihn bei 30% seiner Spannweite (3,57m) speist. Die vier Resonanzen (SWR < 2) liegen auf dem 20m-, 15m-, 12m- und 6m-Band).

Die SWR-Messungen mit dem Antennenanalysator AA-54 bestätigten in guter Näherung die MRF-Ergebnisse:



#### Beispiel 4 b

Verlustanalyse mit dem "[Kleinen Netzwerkanalysator](#)" KNWA

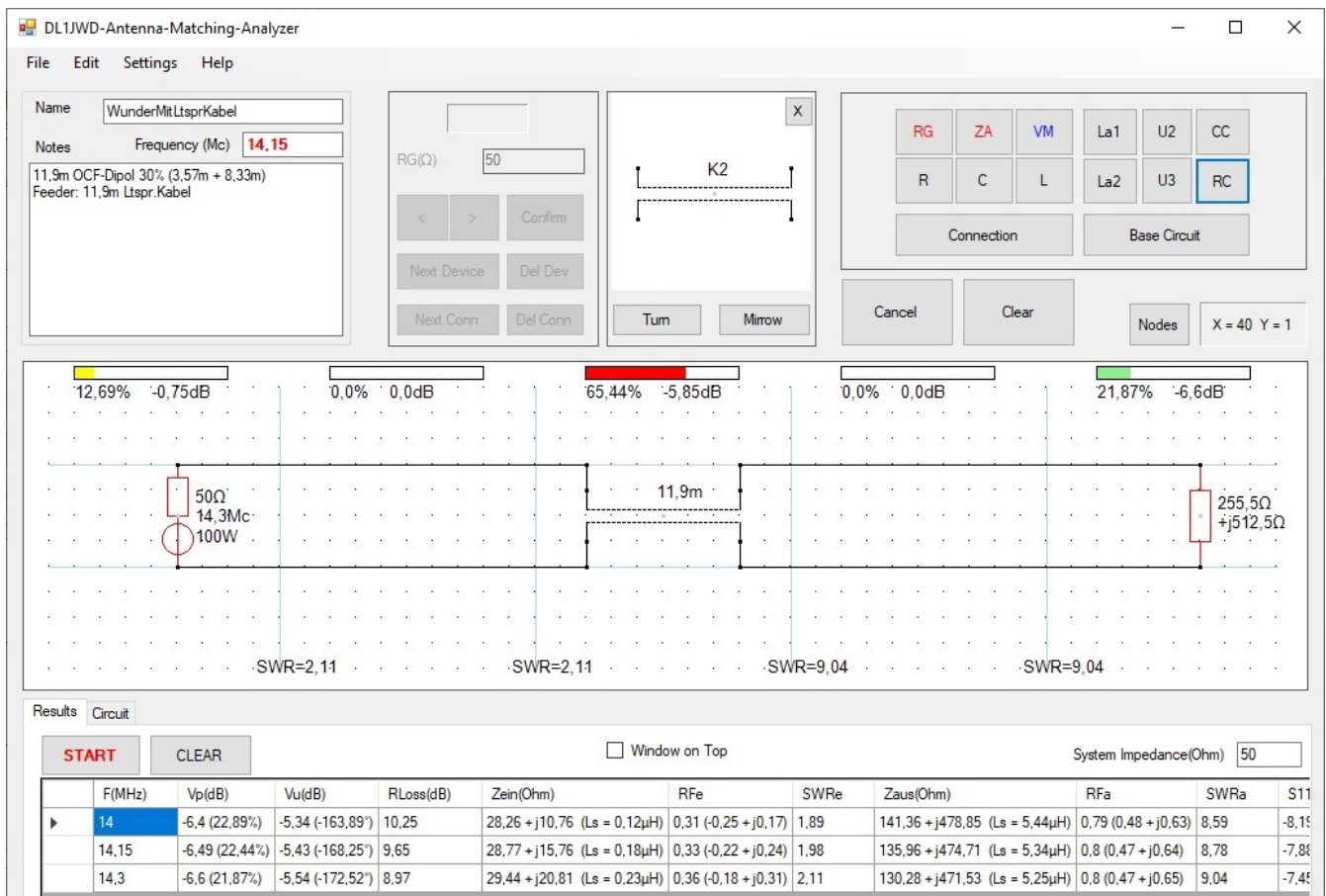
Der ausgewogene SWR-Verlauf ab 80m-Band aufwärts lässt die Hoffnung aufkeimen, dass ein Lautsprecherkabeldipol zu mehr taugt, als nur ein Messobjekt zu sein, wäre das nicht vielleicht sogar was für die nächste Bergtour?

Eine Untersuchung mit dem KNWA dämpft allerdings die Erwartungen und führt zu der Erkenntnis, dass dieser Dipol bestenfalls als leichte Notantenne infrage kommt:

Zum Beispiel 20m-Band. Hier wird lediglich ein Wirkungsgrad von 21,8% erreicht, trotz noch akzeptablem SWR=2,11 gehen zwei Drittel (!) der Sendeleistung im Feeder verloren.

Nicht viel besser dürfte es auf den anderen Bändern aussehen (siehe /4/).



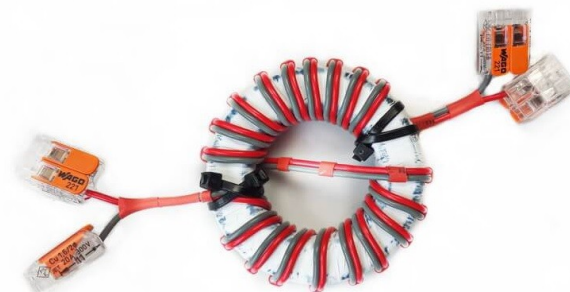


## Beispiel 5a

### Balun für undefinierte Impedanzen

Wer nicht glücklicher Besitzer eines symmetrischen Antennenkopplers ist, für den bietet sich als "Notlösung" ein so genannter "Balun für undefinierte Impedanzen" an, der zwischen unsymmetrischem Koppler und symmetrischem Feedereingang einzuschleifen ist.

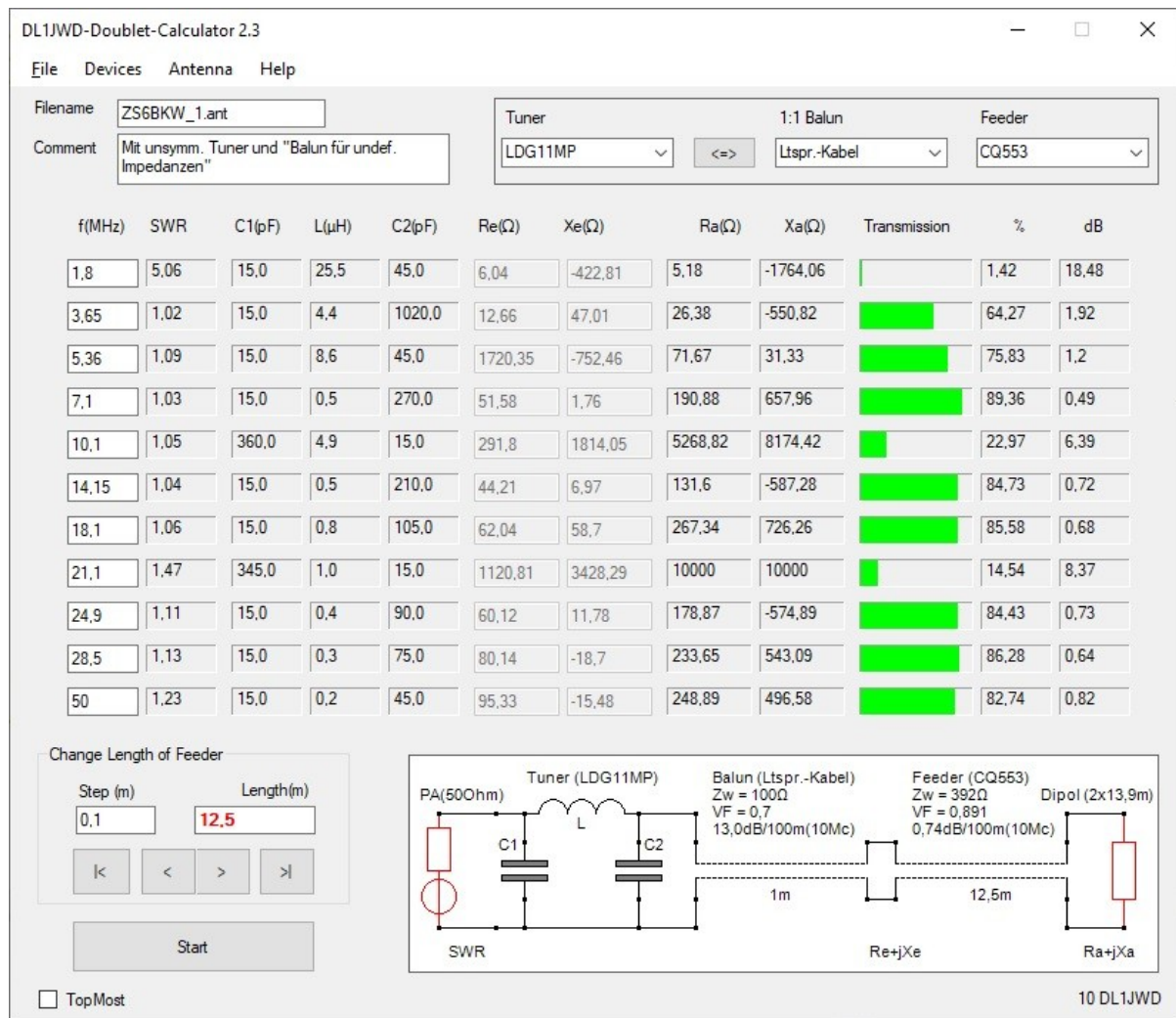
Besteht die Wicklung aus zwei parallelen Teflon Drähten, beträgt deren Wellenwiderstand ca. 100Ω, ansonsten handelt es sich um einen gewöhnlichen 1:1-Strombalun, wie er zur Symmetrierung und Mantelwellenunterdrückung eingesetzt wird, der in diesem Fall aber mit teilweise erheblichen SWV-bedingten Zusatzverlusten zu kämpfen hat (kann sehr heiß werden!).



Als Notlösung muss ein solcher Balun vor allem deshalb gelten, weil damit der Wirkungsgrad der Antenne, im Vergleich zum Einsatz eines symmetrischen Kopplers, deutlich geringer ist.

Das beweist die Simulation mit dem DZR:





Der Balun ist hier mit 1m Lautsprecherkabel gewickelt, dieses hat etwa die gleichen Parameter wie zwei parallele Schaltdrähte.

Das 160m-Band bleibt bei dieser kurzen Antenne natürlich auch für den besten Tuner ein hoffnungsloser Fall.

Für SWR-Gläubige (und die gibt es leider noch immer in übergroßer Mehrheit, wie man täglich auf den Bändern und in den Foren erleben oder in den Büchern von "Antennenexperten" nachlesen kann) sind die perfekten Anpassungsverhältnisse auf allen anderen Bändern in der Regel Anlass zu teils überschwänglicher Euphorie.

Aber überall dort, wo die grünen Balken des DZR ziemlich kurz ausfallen, müssten eigentlich die Alarmglocken läuten.

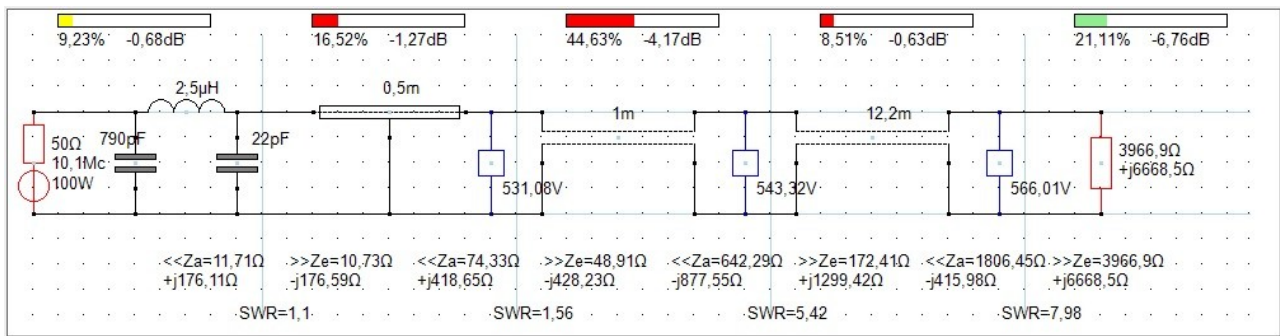
## Beispiel 5b

### Verlustanalyse

Wegen des auf dem 30m-Band sehr hochohmigen Strahlers schafft es die ZS6BKW-Wunderantenne mit unsymmetrischem Tuner und "Balun für undefinierte Impedanzen" trotz perfekter Anpassung nur auf einen Wirkungsgrad (Transmission) von ca. 30%.

Wo sind die restlichen 70% PA-Leistung geblieben?

Der [KNWA](#) gibt Auskunft:



Der Wirkungsgrad ist ca. 9% geringer als mit dem DZR berechnet, weil ich auch das kurze, nur 50cm langes RG58-Kabel als Verbindung zwischen PA-Ausgang und "Balun für undefinierte Impedanzen" berücksichtigt habe.

Letzterer bleibt mit knapp 45% ein teuer betriebener kleiner Heizofen.

### Beispiel 6

ZS6BKW am symmetrischen Antennenkoppler

Um einiges besser sehen die Verhältnisse bei Verwendung eines symmetrischen Antennenkopplers aus, wie zum Beispiel des BX-1200:

Doppelzepprechner DZR 4.0

Datei Bauteile Hilfe

Name: 
 Tuner: 
 Balun: 
 Feeder:

Bemerkung: 
☐ 1:1 ☐ 1:4 ☒ ohne

Tuner-Einstellungen					Eingangsimpedanz von Balun/Feeder		Fußpunktimpedanz des Dipols		Transmission		Verlust	
F(MHz)	SWV	C1(pF)	L(µH)	C2(pF)	Re(Ω)	Xe(Ω)	Ra(Ω)	Xa(Ω)	Wirkungsgrad	%	dB	
1.82	1.03	4323.0	34.92	15.0	6.04	-408.54	6.48	-1674.78	<div></div>	8.86	10.52	
3.65	1.01	15.0	3.64	1252.5	12.66	47.0	26.38	-550.83	<div></div>	70.09	1.54	
5.36	1.02	15.0	9.28	87.0	1720.35	-752.46	71.67	31.33	<div></div>	92.39	0.34	
7.1	1.07	15.0	0.4	147.0	51.58	1.76	190.88	657.96	<div></div>	92.13	0.36	
10.1	1.05	15.0	9.6	34.5	413.93	1715.69	5000.22	4998.85	<div></div>	73.67	1.33	
14.15	1.56	15.0	0.4	142.5	44.21	6.96	131.62	-587.29	<div></div>	84.78	0.72	
18.1	1.03	15.0	0.56	159.0	62.03	58.69	267.26	726.25	<div></div>	90.77	0.42	
21.1	1.05	18.0	4.52	15.0	1170.08	2678.89	5008.77	5008.98	<div></div>	69.32	1.59	
24.9	1.83	15.0	0.4	84.0	60.11	11.78	178.85	-574.89	<div></div>	81.62	0.88	
28.5	1.6	15.0	0.4	39.0	80.12	-18.66	233.66	543.23	<div></div>	86.38	0.64	
50.1	3.42	15.0	0.4	21.0	94.18	-8.31	240.35	489.78	<div></div>	62.56	2.04	

Andere die Länge des Feeders  
 Schrittweite(m)  Länge(m)

☐ Fenster immer oben

Schaltbild: Freier Dipol Feeder-Eingangsimpedanz Dipol-Fußpunktimpedanz

10 DL1JWD

## Literatur

- [1] Th. Sauer, DL9NBj: "ZS6BKW Antenne – Wunderantenne für 5 Bänder ohne Traps"  
<https://www.dl9nbj.de/zs6bkw-antenne/>
- [2] U. Neibig, DL4AAE: "Dämpfung und Verkürzungsfaktor von Zweidrahtleitungen",  
 FUNKAMATEUR 11/16
- [3] W. Doberenz, DL1JWD: "Dipol und Feed aus Lautsprecherkabel", CQ DL 3/17
- [4] W. Doberenz, DL1JWD: "SWR gut - alles gut?", CQ DL 4/19
- [5] K. Kark, "Antennen und Strahlungsfelder", Vieweg Verlag 2004