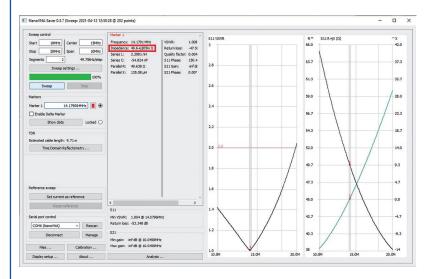
Beispielhaft erklärt

Effizienz vertikaler Halbwellendipole

Walter Doberenz, DL1JWD

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem Wirkungsgrad vertikaler Halbwellendipole bei unterschiedlicher Speisung anhand dreier Beispiele für das 20-m-Band.



ngesichts steigender Sonnenaktivität steigerte sich auch mein Wunsch, vor allem auf dem 20-m-Band endlich bessere Ergebnisse als mit meinem altgedienten Horizontaldipol zu erreichen. Warum es also nicht mal mit einer Vertikalantenne probieren?

Warum ein Halbwellendipol?

Die Entscheidung zugunsten eines vertikal aufgespannten Halbwellendipols fiel nicht schwer, denn dieser braucht wenig Platz, da keine Radials irgendwelcher Art erforderlich sind.

Wie sich leicht, z.B. mit EZNEC, nachprüfen lässt, spielt auch die Bodenbeschaffenheit keine zentrale Rolle und wenn das untere Ende 20 cm über der Erdoberfläche beginnt, beträgt der reelle Strahlungswiderstand bei Mittenspeisung ziemlich genau $100~\Omega$.

Die Nachteile vertikaler Halbwellendipole (doppelte Aufbauhöhe und schwierige Heranführung der Speiseleitung) waren in meinem Fall eher unbedeutend, da ein 10-m-GFK-Mast am Rand der Gartenterrasse schnell aufgerichtet werden konnte und das Shack sich in der zweiten Etage des Reihenmittelhauses befindet.

Neben den Strahlungseigenschaften ist der Wirkungsgrad bzw. die Effizienz einer Antenne, d.h. das Verhältnis der von der Antenne abgegebenen Leistung zur eingespeisten Leistung, der wichtigste Parameter. Diesbezüglich sollten im Folgenden drei Varianten einem Vergleich unterzogen werden:

Variante 1

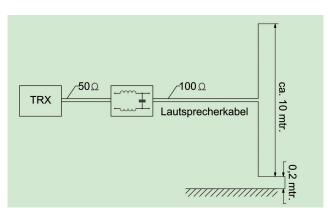
 Vertikaldipol komplett mit Lautsprecherkabel (Bild 1) Da der Wellenwiderstand von handelsüblichem Lautsprecherkabel etwa 100 Ω beträgt [1], bietet sich eine solche Lösung für eine "schnelle" Antenne geradezu an - einfacher geht es nicht! Praktisch trennt man von einem ca. 16 m langen Stück ca. 5,1 m mittig auf (die beiden Dipoläste) und befestigt diese Enden mit Klebeband am Mast. Die Restlänge von ca. 11 m dient als Zuleitung zum Shack. Um den Strahler auf Resonanz zu bringen, misst man das SWR am Ende des Speisekabels und ändert die Länge des Strahlers, bis in Bandmitte SWR = 2 erreicht ist. Dabei wird man feststellen. dass die Nähe zu Gebäuden die Resonanz deutlich nach unten verschieben kann. Um welchen Betrag jeder Ast zu kürzen ist, kann man vorher überschlägig berechnen und sich so unnötige Arbeit ersparen (Bild 2). Überlängen sollte man einklappen und nicht abschneiden.

Die Bilder 3, 4 und 5 zeigen die Einzelheiten zur LC-Anpassung 50 $\Omega/100~\Omega$. Statt eines SWR-Abgleichs, der oft in einer Sackgasse mündet, ist das Messen der Eingangsimpedanz ein sicherer Weg, s. Hierzu das **Aufmacherbild**. Es illustriert den Abgleich der LC-Anpassung mithilfe des NanoVNA unter dem Programm nanovna-saver.

Hinweise: Wenn Realteil von $Z_{\rm e} < 50~\Omega$, dann C verkleinern, sonst vergrößern. Und wenn Blindanteil von $Z_{\rm e} < 0~\Omega$, dann Spulen gleichmäßig zusammendrücken, sonst auseinanderziehen.

Die Antenne arbeitete wie erwartet mit SWR = 1 (ohne Tuner) und es gelangen auf Anhieb einige schöne DX-Verbin-

Bild 1: Vertikaldipol für das 20-m-Band, komplett aus Lautsprecherkabel. Die Anpassung der $100-\Omega$ -Speiseleitung an $50~\Omega$ erfolgt am PA-Ausgang mit einem symmetrischen LC-Glied



Literatur und Bezugsquellen

[1] W. Doberenz, DL1JWD: "Dipol und Feed aus Lautsprecherkabel", CQ DL 3/17

[2] W. Wippermann, DGØSA: "Probleme außer der Mitte gespeister Antennen", 18. Inseltreffen am 4.10.2008 in Göhren auf Rügen [3] W. Kägi: HB9XBG: "Die nützliche

Mantelwelle", HB radio 6/20 [4] W. Doberenz, DL1JWD: "SWR gut

- alles gut?", CQ DL 4/19

4 | CQ DL 11-2021



dungen, wobei erwartungsgemäß im Europa-Verkehr mein horizontaler Dipol dem Vertikaldipol leicht überlegen war. Wie **Bild 6** zeigt, erreichen von 100 W PA-Leistung ca. 66 W die Antenne (Wirkungsgrad des Antennensystems ca. 66%). Ein Drittel der Sendeleistung geht in der Speiseleitung verloren, während die Verluste im LC-Anpassglied vernachlässigbar sind. Zu den Kabeldaten nach [1]: $Z_{\rm w}=102~\Omega$, VF = 0,68, a = 13,5 dB/100 m @ 10 MHz.

Variante 2

• mit Balun im Speisepunkt **(Bild 7)** Der Nachteil von Variante 1 ist vor al-

RG(Ohm) 50

von 5

12 DL1JWD

Cancel

H

INFO

Anpassung komplexer Lastwiderstände

RA

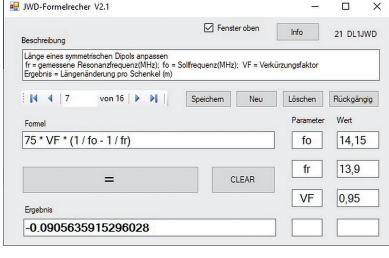
Name LC-Halbglieder

F(MHz) 14,15

ZA(Ohm) 100

14 4 3

START



Da der Realteil der Eingangsimpedanz eines mit $100~\Omega$ abgeschlossenen $1,47~\mathrm{m}$ langen Stücks $50\text{-}\Omega\text{-Koaxkabel}$ bei $14,15~\mathrm{MHz}$ ziemlich genau $50~\Omega$ beträgt, kann man diese Länge zu einem Luftbalun aufwickeln und den verbliebenen kapazitiven Blindanteil von ca. $-34~\Omega$ durch eine Induktivität kompen-

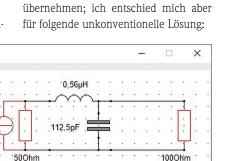
Dieser Balun im Speisepunkt hat einen nützlichen Nebeneffekt, der verhindert, dass sich der Gegentaktstrom bei ungünstiger Leitungsführung auf Strahler und Speiseleitung aufteilt [2].

sieren (Bild 8).

Bild 9 zeigt den "JWD-Balun", vorbereitet für den Einbau in eine $50 \times 80 \times 30$ mm (B × L × H) messende Dose.

Die beiden blauen Klemmleisten dienen zum Anschluss der beiden Strahlerhälften (bzw. eines 100- Ω -Abgleichwiderstands) und der RG-174-Speiseleitung. Die Länge des RG-316-Kabels (ca. 1,47 m) ist exakt z.B. mit dem NanoVNA abzugleichen, den man über die goldene F-Buchse anschließt. Die Windungszahl (hier 13, ca. 2 μH) ergibt sich aus dem zur Verfügung stehenden Platz. In Serie geschaltet ist eine 0,38-μH-Luftspule. Das RG-316U ist mit seinem Durchmesser von 2,5 mm etwas dünner als RG-174 (2,8 mm). Die übrigen Daten sind ähnlich (50 Ω , VF = 0,7, a = 10 dB/100





F = 14,15MHz QB = 1 (B ca. 28,42MHz)

lem das optisch auffällige Lautsprecher-

kabel, unter dessen Last sich ein leichter

GFK-Mast bereits bedenklich krümmen

kann. Und so lag der Gedanke nahe.

die Anpassung auf 50 Ω in den Mittel-

punkt des Dipols zu verlagern und die

Zuleitung zur Station über dünnes und

leichtes $50-\Omega$ -Koaxkabel RG-174 zu re-

Die Anpassung gemäß Bild 5 könnte

man (in wetterfester Dose) unverändert

alisieren (Bild 7).

Bild 3: Für die Anpassung des symmetrischen 100- Ω -Kabels an den unsymmetrischen PA-Ausgang ist die Induktivität in 2 × 0,28 μ H aufzuteilen

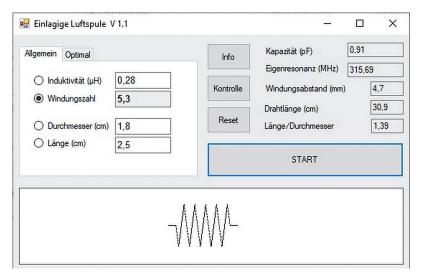


Bild 4: Dieses praktische Tool berechnet nicht nur die Windungszahl, sondern zeigt auch die Abmessungen der Luftspule in Originalgröße

m @ 14 MHz).

Durchmesser 1,8 cm

Bild 5: Abgleich der symmetrischen $50-\Omega-/100-\Omega$ -Anpassung mit dem NanoVNA (am Ausgang ein $100-\Omega$ -Widerstand). Spulen: CuL (d = 1 mm), 5 Wdg., Länge 2,5 cm,

CQ DL 11-2021

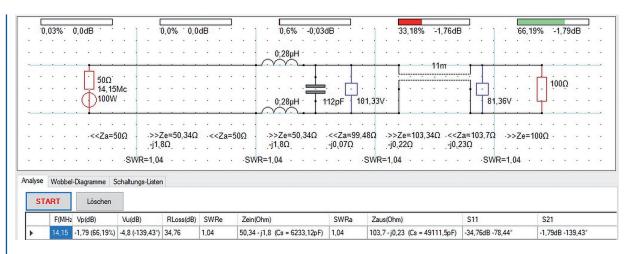


Bild 6: Verlustanalyse Version 1 (Lautsprecherkabel-Dipol)

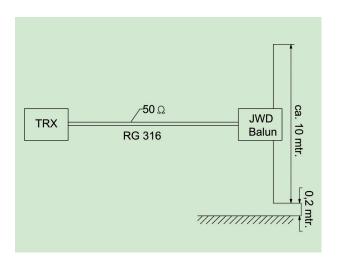


Bild 7: Vertikaldipol für das 20-m-Band mit dünner unsymmetrischer Speiseleitung und JWD-Balun

Für den Abgleich mittels NanoVNA empfiehlt sich auch hier eine Messung der Eingangsimpedanz $Z_{\rm e}=R_{\rm e}+jX_{\rm e}.$ Die Anfangslänge des RG-316 sollte zunächst etwas größer als 1,47 m sein, sodass $R_{\rm e}$ zu Beginn der Messung mit Sicherheit kleiner als 50 Ω ist. Nun ist das Kabel in vorsichtigen Schritten zu kürzen, bis $R_{\rm e}$ möglichst genau 50 Ω beträgt.

Anschließend bringt man die Blindkomponente $\, X_{\! e} \,$ durch Zusammendrücken bzw. Auseinanderziehen der Spule auf null.

Das Antennensystem erreicht trotz des dünnen RG-316-Speisekabels einen Wirkungsgrad von über 70 % (Bild 10).

Die dünne RG-316-Speiseleitung kostet dabei ca. ein Viertel der Sendeleistung. RG-174: $Z_w = 50 \Omega$, VF = 0,66, a = 11,3 dB/100 m @ 14 MHz

RG-316: $Z_{\rm W} = 50~\Omega,~{\rm VF} = 0.7,~{\rm a} = 10~{\rm dB}/100~{\rm m}$ @ 14 MHz

Diese Antenne habe ich auch mit im Winkel von 45° schräg nach unten führender Speiseleitung getestet, wobei der Stationstisch in ca. 5 m Entfernung vom Fußpunkt des Strahlers auf dem Erdboden stand. Zu meiner Überraschung war eine deutliche Verschlechterung des SWR nicht festzustellen!

Variante 3:

• Mantelwellenantenne (Bild 11)

Unter Ausnutzung das Prinzips der strahlenden Mantelwelle (dabei ersetzt ein Teil des Feeders den unteren Dipolast) lässt sich auch eine Einspeisung direkt am unteren Ende realisieren.

Da der 100-Ω-Wellenwiderstand des Lautsprecherkabels perfekt zum 100-Ω-Strahlungswiderstand eines 20 cm über Grund errichteten Vertikaldipols passt, hat sich ein Schweizer OM eine besonders elegante Lösung einfallen lassen [3]. Bild 11 zeigt den vertikalen Mantelwellendipol nach HB9XBG. Aus der oberen Strahlerhälfte wurde ein Leiter des Lautsprecherkabels entfernt. Die Mantelwel-

lensperre (MWS) besteht ebenfalls aus Lautsprecherkabel (7 Wdg. auf Ringkern T225-2).

Herzstück dieser Antenne ist ein auf Pulvereisenkern (kein Ferrit!) mit Lautsprecherkabel gewickelter so genannter Potter-Balun, der als hoch wirksame Mantelwellensperre den unteren Dipolast abschließt.

Die von mir exakt nach Vorschrift gebaute Antenne ließ sich problemlos auf ein SWR = 1 abstimmen und auch im praktischen Funkbetrieb war (bis auf die Erwärmung der Anschlussdose bei $100~\rm W$ Dauerstrich) kein Unterschied zu meinen beiden vorher getesteten Antennenvarianten festzustellen.

Die Simulation bestätigt die in [3] angegebenen Daten der Bauelemente aber nur dann, wenn man zwischen beiden Balun-Drähten einen Koppelfaktor k=0,95 ansetzt. Dabei wird der Balun mit ca. 10 % der Sendeleistung erwärmt. Wie bei den beiden Vorgängervarianten erreichen auch hier ca. 70 % der Sendeenergie die Antenne (Bild 12).

Feeder: 5,02 m aus 100- Ω -Lautsprecherkabel (VF = 0,68, a = 13,5 dB/100 m @ 10 MHz)

Kondensator im Potter-Balun: Spannungsfestigkeit ca. 520 V, Stromfestigkeit ca. 2,6 A

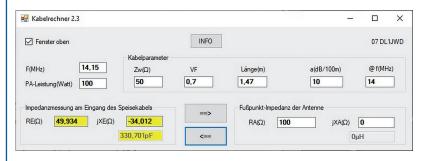


Bild 8: Dünnes Koaxkabel RG-316U der Länge 1,47 m transformiert bei 14,15 MHz 100 Ω Lastwiderstand in eine Eingangsimpedanz mit 50 Ω Realteil und -34 Ω Blindanteil

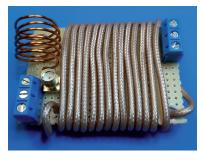


Bild 9: Der JWD-Balun, vorbereitet für den Einbau in eine Dose

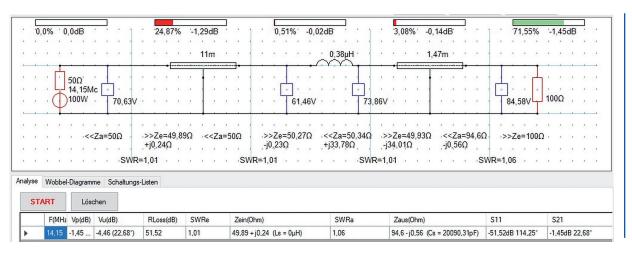


Bild 10: Verlustanalyse Version 2 (11 m RG-174 und JWD-Balun)

Trafodaten: 7 Wdg. Lautsprecherkabel auf T225-2, L1 = 0,77 μ H, O_L = 60, w1 = w2, k = 0,95

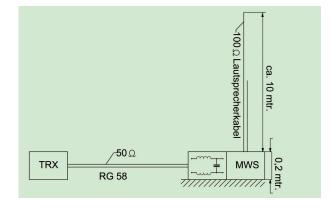
Glücklicherweise hat der Erfinder dieser interessanten Antenne bei der Wahl des Ringkerns T225-2 einen guten Kompromiss zwischen Mantelwellen-Unterdrückung und Übertragungsverlusten gefunden.

Wie **Bild 13** zeigt, droht bereits bei einer etwas loseren Kopplung trotz perfektem SWR eine Zerstörung des Baluns durch Überhitzung, Überspannung oder zu hohen Blindströmen. 60 % der PA-Leistung erhitzen den Ringkern. Über C=164 pF liegt eine Spannung von 1,3 kV Spitze-Spitze an, das bedeutet 650 V Spitze und rund 500 V effektiv. Entsprechend hoch ist der effektive Blindstrom. Trafodaten: L1 = 0,77 μ H, $O_L=60$, w1 = w2, C12 = 5 pF, k = 0,8

Schlussbemerkungen

Zwar entfalten vertikale Antennen mit flacher Abstrahlung nur bei freiem Horizont ihre wahre Leistungsfähigkeit, aufgrund des geringen Platzbedarfs können sie aber auch in einem Wohngebiet durchaus Sinn machen. Wer eine leicht aufzubauende und transportable Monobandantenne benötigt, die unabhängig von der Bodenbeschaffenheit funktioniert, der ist mit einem vertikalen Halbwellenstrahler gut beraten, dessen unteres Ende 20 cm über dem Erdboden beginnt.

Bei unterschiedlichem konstruktiven Aufwand erreicht jede der hier verglichenen drei Versionen einen Wirkungsgrad von ca. 70 %. Dabei erwies sich Variante 2 (Mittenspeisung über JWD-Balun) als aufwandsarme Alternative zu Variante 3 (über Potter-Balun endgespeiste Mantelwellenantenne). Bei aller Freude über



ein perfektes SWR sollte man nie den Wirkungsgrad des Antennensystems und die Belastbarkeit der Bauelemente aus den Augen verlieren [4].

Da die dafür erforderlichen Messmittel normalerweise nicht zur Verfügung stehen, bietet die realitätsnahe Simulation des Verhaltens der Übertragungsstrecke und wenn möglich der Antenne eine Möglichkeit, die Verhältnisse einigermaßen realistisch einzuschätzen.

Ein "echter" Potter-Balun arbeitet mit Koaxkabel, sein Übertragungsverhalten für die Gegentaktströme sollte unabhängig von der Abstimmkapazität $C_{\rm p}$ sein. Hingegen entsprechen Baluns aus Zweidrahtleitung in ihrem elektrischen Verhalten normalen Transformatoren und haben deutlich höhere Verluste.

RG-316 ist ein dünnes 50- Ω -Koaxial-kabel mit Teflon-Dielektrikum. Dieses Dielektrikum bietet eine gute mechanische Stabilität und Maßhaltigkeit sowie einen weiten Temperaturbereich und ist besser für Außeneinsatz geeignet als RG-174; letzteres ist für dauerhafte Antennenlösungen ungeeignet.

Die für diesen Beitrag benutzten Programme "Formelrechner", "HamTuning", "Luftspule", "Kleiner Netzwerkanalysator" und "Kabelrechner" sind Bestandteile der JWD-Tools, Anfragen an dl1jwd.darc.de.



Bild 11: Vertikaler Mantel-

wellendipol nach

HB9XBG. Aus der

des Lautsprecher-

oberen Strahlerhälfte wurde ein Leiter

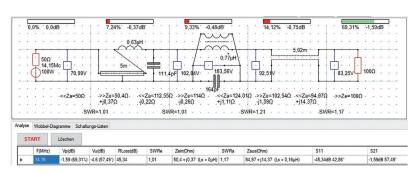


Bild 12: Verlustanalyse Version 3 (Mantelwellenantenne nach HB9XBG mit 5 m RG-58-Zuleitung)

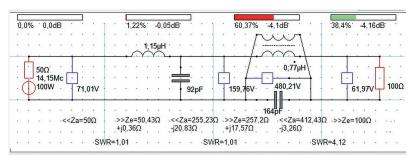


Bild 13: Gefährliche Konfiguration des 20-m-Mantelwellen-Vertikaldipols bei zu loser Kopplung der beiden Balunwicklungen

CQ DL 11-2021 7