

Erstmaliges Design eines optimierten Vertikaldipols

## Die nützliche Mantelwelle

Walter Kägi HB9XBG ([hb9xbg@uska.ch](mailto:hb9xbg@uska.ch))

Swiss Made

Vertikalhalbwellendipole wie «Sleeve- oder Koaxialantennen»<sup>[1]</sup> nutzen die untere Dipolhälfte gleichzeitig als Zuleitung und als Strahler. Diese Antennen benötigen kein Erdnetz, brauchen wenig Platz und haben eine zweckmässige Einspeisung. Ein neuer vielversprechender Ansatz auf Basis der «strahlenden Mantelwelle» wird im vorliegenden Artikel beschrieben.

Bevor wir auf die detaillierte Beschreibung des neuen Ansatzes eingehen, müssen wir einige grundlegende physikalische Eigenschaften eines stehenden Halbwellendipols zur Kenntnis nehmen. Der Strahlungswiderstand (Dipolmitte) ist abhängig von der Aufbauhöhe. Wenn die Spitze des unteren Dipolarms  $\lambda/80$  über Grund liegt, also in Bodennähe ist, beträgt der Strahlungswiderstand  $100 \Omega$ <sup>[2]</sup>. Bei einer Aufbauhöhe von 10 m (unteres Dipolende über Grund) beträgt der Strahlungswiderstand nur  $69 \Omega$ . Bei grösseren Aufbauhöhen pendelt sich der Strahlungswiderstand schlussendlich bei  $73 \Omega$  ein. Der Strahlungswiderstand eines Vertikaldipols ist abhängig von der Aufbauhöhe über Grund. Die Leitfähigkeit und die dielektrischen Eigenschaften des Bodens haben wenig Einfluss auf den Strahlungswiderstand. Vielmehr haben sie Einfluss auf das Strahlungsdiagramm und den Gewinn einer Vertikalantenne.

Ein 20-m-Band  $\lambda/2$ -Vertikaldipol mit dem unteren Dipolast 20 cm über Boden hat **unabhängig von der Bodenbeschaffenheit immer einen Strahlungswiderstand  $R_s$  von  $100 \Omega$** .

Dieser **100- $\Omega$ -Effekt war Basis eines neuen Ansatzes**, einen vom Ende her gespeisten Halbwellen-Vertikaldipol mit bodenneutralem Aufbau zu entwickeln.

### Das 100- $\Omega$ -System

Basierend auf der o.g. Erkenntnis bietet sich ein durchgehendes 100- $\Omega$ -System gemäss **Bild 1** an. Ein Transformationsglied passt die  $50 \Omega$  Übertragungsstrecke des Transceivers (TRX) zum 100- $\Omega$ -System an. Die voll angepasste Übertragungsstrecke vom TRX bis zur Einspeisung der Antenne sorgt für einen hohen Wirkungsgrad.

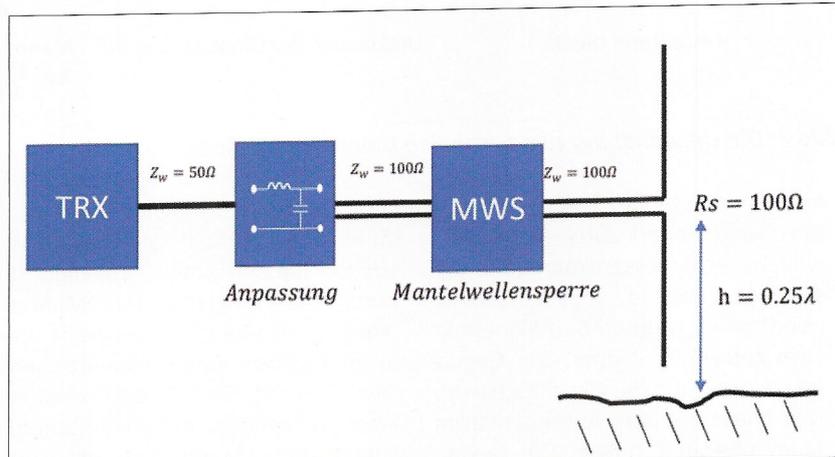


Bild 1: Das 100-Ohm-System

Die horizontale Einspeisung gemäss **Bild 1** ist unzweckmässig! Eine Einspeisung vom Ende der unteren Dipolhälfte mit 100- $\Omega$ -Fusspunktimpedanz würden die praktischen Antennenbauanforderungen erfüllen. Da eine 100- $\Omega$ -Koaxialspeiseleitung auf dem Markt nicht erhältlich ist, bietet sich die Lösung mit der Verwendung von Lautsprecherkabeln mit  $2 \times 2.5$  mm Litzendurchmesser und PVC-Isolation an. Ein solches Lautsprecherkabel hat ziemlich genau 100- $\Omega$ -Wellenimpedanz und erfüllt gleichzeitig zwei Funktionen: Die Funktion der Feederleitung bis zur Dipolmitte und die Funktion der «strahlenden Mantelwelle» des unteren Dipolastes. Die Umwandlung vom horizontal zum endgespeisten Vertikaldipol erklärt **Bild 2** (Seite 42) in drei Schritten.

### Umwandlung zum Mantelwellendipol

Mantelströme sind Ausgleichsströme, die durch unterschiedliche Potentiale zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Systemen provoziert werden. Wegen des Skin-effektes wirkt die Aussenseite des gegen Masse orientierten Leiters

für Hochfrequenz wie eine separate Eindrahleitung<sup>[3]</sup>. Es fließen somit drei Ströme im Lautsprecherkabel: Die Gegentaktröme für die Erregung der Antenne, und der Mantelstrom als Gleichtaktstrom mit abstrahlender Wirkung. Betrachtet man die Grundform eines Dipols gemäss **Bild 2** fliesen die Gegentaktröme  $i_1$  und  $i_2$  durch das Lautsprecherkabel und teilen sich in den Dipolarmen als Gleichtaktstrom mit strahlender Wirkung auf. Die Felder der beiden Gegentaktröme in der Zuleitung heben sich auf und es entsteht keine Abstrahlung bei symmetrischer Kopplung. Bei unsymmetrischer Speisung fliesst auf der Aussenseite des nach Masse orientierten Leiters ein Mantelstrom gegen Masse.

Klappt man die linke Hälfte des Grundformdipols (**Bild 2**)  $90^\circ$  nach unten und vereint sie mit dem nach Masse orientierten Leiter und klappt man zusätzlich den rechten Dipolast  $90^\circ$  senkrecht nach oben, so entsteht ein vertikaler Mantelwellendipol. Dieser Dipol funktioniert nur richtig, wenn der Mantelstrom  $i_4$  am unteren Ende des kurzen Dipolastes bei exakt  $\lambda/4$  gesperrt wird. Der zwischen dem Transceiver und der

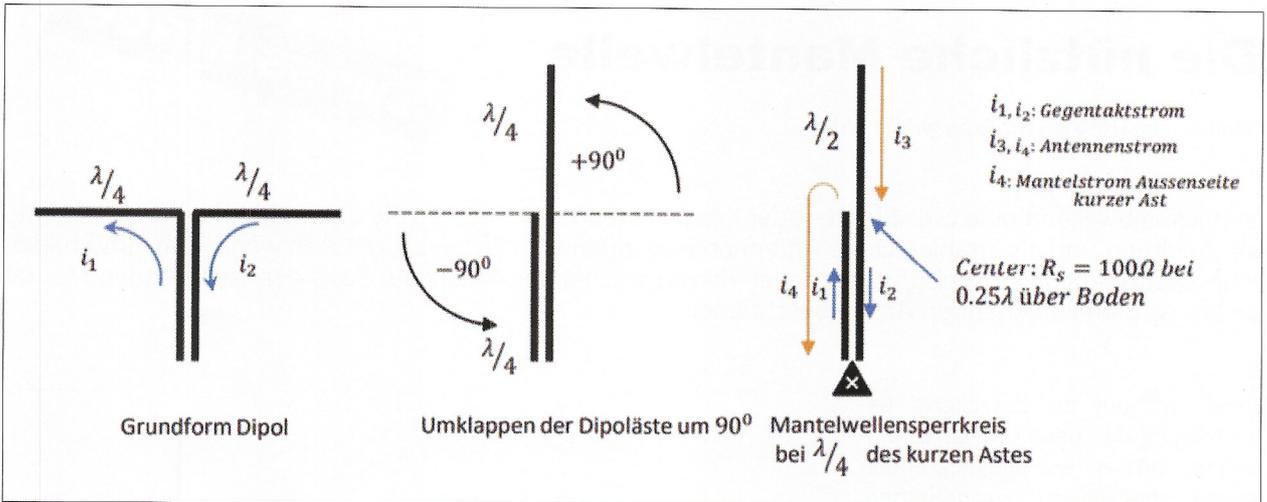


Bild 2: Die Umwandlung zum vertikalen Mantelwellendipol

Antenne fließende Gegentaktstrom muss ungehindert durch die Mantelwellensperre fließen können. In dieser Anordnung fließen im kurzen Ast hervorgerufen durch den Skineffekt zwei getrennte Ströme: Der Gegentaktstrom  $i_1$  und der Gleichtaktstrom  $i_4$  in Phase mit dem Antennenstrom  $i_3$  im oberen Dipolast. Die beiden Ströme  $i_3$  und  $i_4$  bilden den strahlenden Antennenstrom des vertikalen Mantelwellendipols.

Die Ventilwirkung, d.h. der Durchlass der Gegentaktströme  $i_1$  und  $i_2$  und die gleichzeitige Sperrung des Mantelstromes  $i_4$  bei  $\lambda/4$  am unteren Ende des kurzen Dipolastes, wird durch den Einbau eines Mantelwellensperrkreises nach Potter (Bell) [4] realisiert. Dabei werden beide Leiter des Lautsprecherkabels um den Ringkern des L-C-Sperrkreises gewickelt (Bild 3). Für die Gegentaktströme hat diese Induktivität keine Wir-

kung, da sich der magnetische Fluss im Ringkern aufhebt. Die Gegentaktströme fließen somit ungehindert durch den Ringkern. Der Mantelstrom  $i_4$  wird hingegen gesperrt, da er im Ringkern einen magnetischen Fluss bewirkt. Der Parallelschwingkreis (in Resonanz mit der Antenne) sperrt den Mantelstrom im Lautsprecherkabel bei  $\lambda/4$  am unteren Ende des kurzen Dipolastes. Die Antenne wirkt nun als vertikaler Mantelwellendipol.

**Experimenteller Aufbau**

Die Impedanzanpassung und der Sperrkreis wurden in ein spritzwasserdichtes Universalgehäuse aus Polycarbonat eingebaut. Das Schema Bild 3 zeigt die Beschaltung der Anschlussbox mit dem Transformationsglied L1-C1 und dem Sperrkreis L2-C2. Aus praktischen Gründen wurden für den experimentellen Aufbau alle Kondensatoren variabel

ausgelegt. Wichtig ist, dass das Lautsprecherkabel mit **beiden** Adern auf den Ringkern des Sperrkreises gewickelt wird. Das Lautsprecherkabel bildet in seiner Fortsetzung nach dem Sperrkreis die Feederleitung und Antenne. Die Ideallänge des beschriebenen Mantelwellendipols für 14.2 MHz, unter Berücksichtigung des Verkürzungsfaktors von 0.95 ist 10.04 m. Die eine Litze des Lautsprecherkabels wird vom oberen Ende bis zur Mitte entfernt.

Realisiert wurden je ein 100 Watt und ein 1000-Watt-Mantelwellendipol für das 20 und 40-m-Band (Bild 4). Der im Bild der 1000-Watt-Version am Antennenanschluss angebrachte 100-Ω-Widerstand diente zur Simulation der Antenne für den Abgleich der Anpassschaltung. Nachträglich wurde auch bei der 1000-Watt-Version ein Belüftungskanal wie bei der 100-Watt-Version eingebaut. Die ganze Anordnung lässt sich miniaturisieren, indem man anstelle der variablen Kondensatoren fixe Kapazitäten verwendet.

**Die Simulation**

Die Simulation [5] des Strahlungswiderstandes, des Strahlungsdiagramms und des SWR-Verlaufs ist mit einer Bodenleitfähigkeit von 2 mS/m und einer Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r = 13$  gerechnet. Dies sind schlechte elektrische Bodeneigenschaften, so wie wir sie in der Testphase der Antennen vorfinden. Das Testgelände befand sich auf dem Simponpass, dem QTH von HB9BFM. Alpiner, felsiger und elektrisch schlechter Boden - aber ideal für Performance Tests! In diesem Gelän-

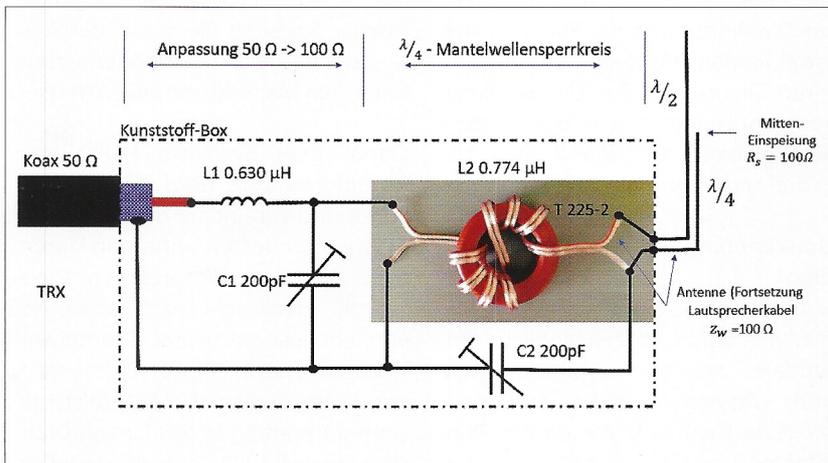
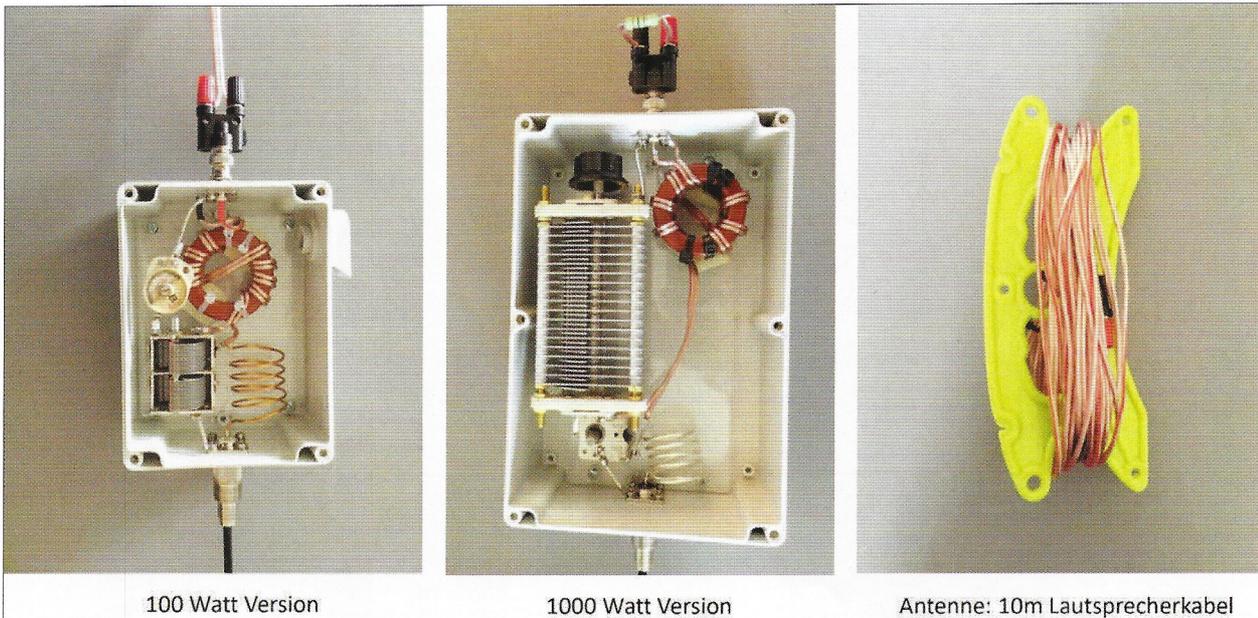


Bild 3: Schema 20-m-Band Mantelwellen-Vertikaldipol



100 Watt Version

1000 Watt Version

Antenne: 10m Lautsprecherkabel

**Bild 4: Experimenteller Aufbau Vertikal-Mantelwellendipol (14 MHz)**

de war es auch möglich, einen 22 m hohen Fiberglasmast für die 40-m-Band Vertikalantenne aufzubauen. Betrachtet man die in **Bild 5** dargestellten Simulationsergebnisse fällt auf, dass die Aufbauhöhe der Antenne einen signifikanten Einfluss auf den komplexen Strahlungswiderstand der Antenne hat. Eine Aufbauhöhe von 20 cm über Boden ergibt einen realen Strahlungswiderstand von knapp 100 Ω, zwei Meter über Grund bereits einen von 76 Ω. Die anfänglichen Überlegungen zum Konzept bestätigen sich. Der Unter-

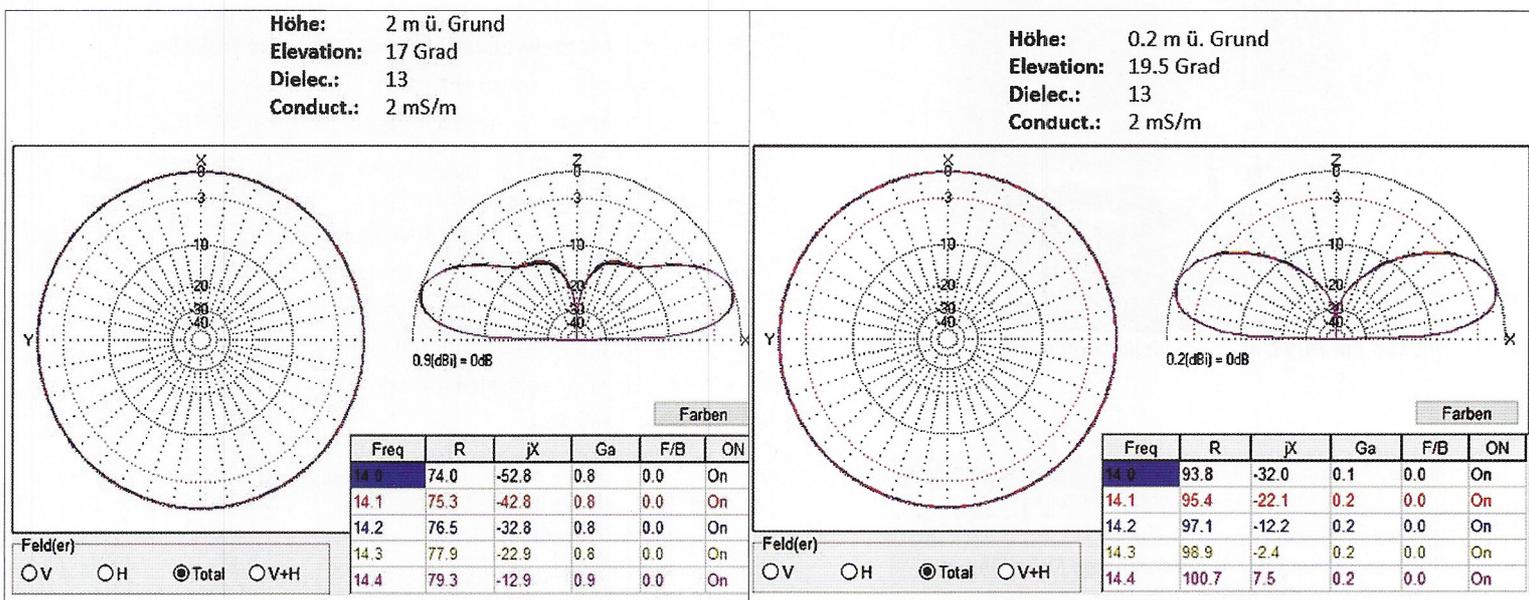
schied des Erhebungswinkels für die zwei simulierten Aufbauhöhen ist 2.5° und damit marginal. Zurückzuführen ist dieser Effekt auf die Überlagerung der direkten und der am Boden reflektierten Wellen bei verschiedenen Aufbauhöhen.

Betrachtet man den komplexen Strahlungswiderstand und den SWR-Verlauf (**Bild 6, Seite 44**), so findet man eine hohe Bandbreite (SWR < 1.5) von 900 kHz! Alle simulierten Werte haben sich in den Tests bestätigt.

**Betriebserfahrungen**

(Hanspeter Baumeler HB9BFM)

Wir, HB9XBG und HB9BFM, haben ab Mai 2020 oberhalb des Simponpasses auf 2040 m ü.M. erste Versuche mit einer 20-m- und 40-m-Version der beschriebenen Antenne durchgeführt. Als Masten wurden je ein 10 m und ein 22-m-Fiberglasmast verwendet. Mit der 7-MHz-Antenne wurden viele DX-QSOs unter anderem auf dem langen Weg nach Ozeanien geführt. Mit der 14-MHz-Version konnten Verbindungen nach



**Bild 5: Strahlungswiderstand und Strahlungsdiagramm für verschiedene Aufbauhöhen**

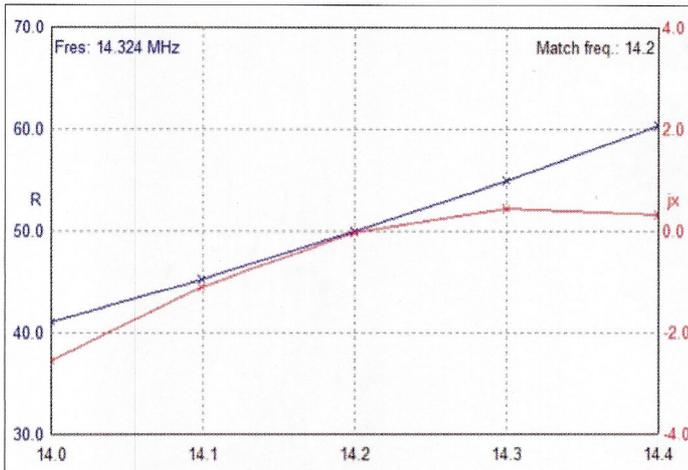


Bild 6a: Impedanz-Verlauf

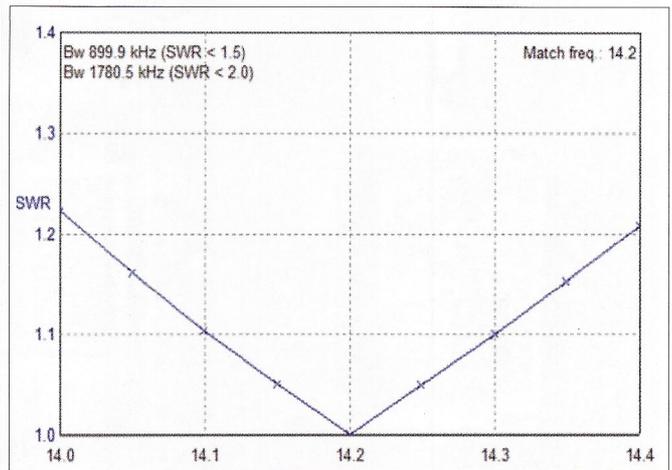


Bild 6b: SWR-Verlauf



HB9XBG mit HB9BFM oberhalb des Simplonpasses

Südafrika sowie nach USA, Alaska und Japan hergestellt werden. Trotz des derzeitigen Sonnenfleckenninimums und des nicht immer idealen Horizontes konnten oft gute DX-Rapporte (59+) geloggt werden. In DX-Verbindungen konnten im Vergleich zur Windom-Antenne bis zu 5 S-Stufen bessere Rapporte ausgetauscht werden. Im Nahbereich (500 - 1000 km) eignete sich die Windom-Antenne besser. Das neue Konzept der bodenneutralen Antenne hat ihre guten Eigenschaften in Theorie und Praxis bestens bewiesen. ■

#### Quellen:

- [1] Rothammels Antennenbuch: 12. aktualisierte Auflage, Kapitel 19.5.2
- [2] ARRL Antenna Book: 24<sup>th</sup> Edition, Chapter 2.13
- [3] Balun verstehen - bauen - prüfen: Günter Fred Mandel, DL4ZAO
- [4] Probleme bei ausserhalb der Mitte gespeister Antennen, DGØSA
- [5] Simulationsprogramm: MMANA-Gal\_Basic Version 3

#### Vorteile des Mantelwellendipols nach Version HB9XBG

- Niederohmige Einspeisung (100 Ω)
- Hohe Bandbreite, flacher SWR-Verlauf (900 kHz, SWR < 1.5)
- Kein Tuner notwendig
- Hoher Wirkungsgrad (praktisch keine SWR-Verluste)
- Aufbau nur wenige cm über Boden (bodenneutral)
- Funktioniert gut über felsigem Boden (ideal für SOTA)
- Keine Radials/Gegengewichte notwendig
- Flache Abstrahlung (ideal für DX)
- 6 dBi Gewinn über idealem Grund
- Braucht wenig Platz
- Schnell aufbau- und demontierbar
- Kann als Fahnenmast genutzt werden
- Geeignet für Portabelbetrieb
- Geeignet für den Eigenbau

Band	L1	C1	L2	C2	Kabellängen <sup>1)</sup>
20 m	0.630 μH	112 pF	0.774 μH	162 pF	10.04 m
40 m	1.260 μH	224 pF	4.000 μH	125 pF	20.07 m

#### Dimensionierung der Reaktanzen und Kabellängen

<sup>1)</sup> Kabellängen sind bis zum Mantelwellensperrkreis gerechnet ( $v_x = 0,95$ )