

ANTENNEN

4-Element-Yagi für 2 m von W1VT vereinfacht

Der Selbstbau von Antennen sowie das anschließende Experimentieren nach maximaler Leistung ist für viele Funkamateure zu einem eigenständigen Gebiet geworden. Anhand einer 2-m-Yagi lässt uns der Autor einen Blick in seine Trick- und Wissenskiste werfen.

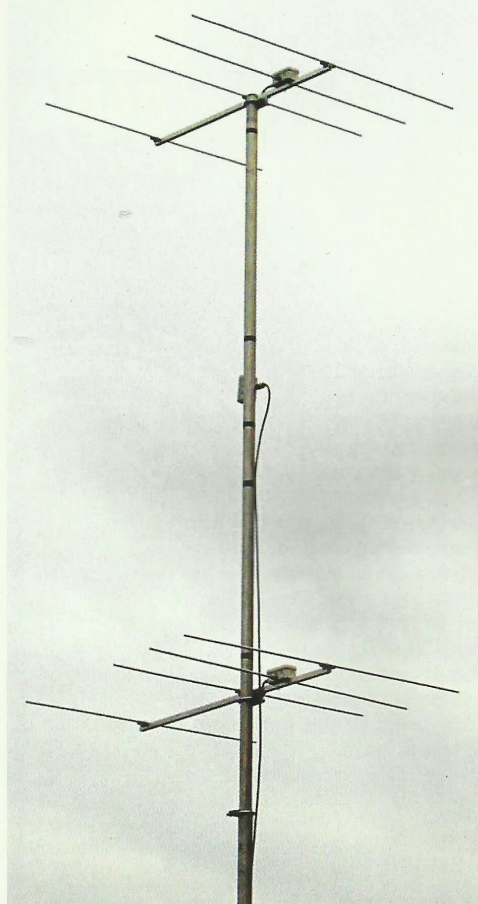


Tabelle 1

	144 MHz	145 MHz	146 MHz
Impedanz	28-j1,5 Ω	28 ±j0 Ω	25,8+j1,3 Ω
SWR	1,05	1,0	1,1
Gewinn	6,25 dBd	6,3 dBd	6,35 dBd
V/R	23,5 dB	23 dB	22 dB
3-dB-Winkel (hor.)	61,7°	61,5°	61,2°
3-dB-Winkel (ver.)	95,2°	94,6°	93,8°

Tabelle 1: Zusammengefasste Eigenschaften in Kurzform

Der Bauvorschlag für eine 4-Element-Yagi für das 2-m-Band aus der CQ DL [1] wurde umgehend umgesetzt. Weil der Autor in den vergangenen Jahren Dutzende von Yagis nachgebaut, selbst entwickelt und näher untersucht hat, waren vor allem die Eigenschaften der T-Anpassung von Interesse.

Problematik der T-Anpassung

Zunächst grundlegendes zur T-Anpassung. Wie Bild 1 zeigt, greift man auf dem Strahler an den Punkten X symmetrisch die Impedanzen ab, die einem Wert von 200 Ω entsprechen. Damit steht am Punkt Y über einen Halbwellenbalun ein unsymmetrischer Speisepunkt zum Anschluss handelsüblicher 50-Ω-Koaxialkabel zur Verfügung.

Nun hat die T-Anpassung aber ein systembedingtes Problem, was nur mit zwei zusätzlichen Serienkapazitäten in Reihe zum Einspeisepunkt Y einwandfrei zu lösen ist. Die Leitungen von den Punkten X nach Y entsprechen nämlich einer dem reellen Fußpunktwiderstand in Reihe liegenden Induktivität, die zu einem Blindanteil +j am Speisepunkt führt.

In gewissen Grenzen kann man das dadurch ausgleichen, dass der Strahler verkürzt wird und damit einen kapazitiven Widerstandsanteil -j erhält. Es gibt aber keine Kombination, die an Y ohne die erwähnten Kompensations-Kondensatoren einen reellen Fußpunktwiderstand mit ±j0 ermöglicht.

In der Praxis äußerte sich das so, dass sich die originale W1VT-Antenne auch im Resonanzpunkt nicht unter ein SWR von 1,6 bringen ließ. Das ist nicht dramatisch, aber es geht deutlich besser!

Analyse mit EZNEC+4

Nach dem genauen Betrachten der Abmessungen wurde sofort klar, dass Zack Lau, W1VT, genau die Dimensionie-

Autor



Martin Steyer, DK7ZB
 Jahrgang 1946, Amateurfunkgenehmigung seit 1969 als DC9BQ, ab 1973 DK7ZB
 Studium Biologie und Chemie, Oberstudienrat an einem Oberstufengymnasium.
 Spezialgebiete: Antennentechnik, besonders Yagis („DK7ZB-Anpassung“ auch in Rothammels Antennenbuch).
 Besondere Interessen: 6-m- und 30-m-Betrieb, CW

Anschrift:
 Die Aue 2
 37269 Eschwege
 dk7zb@fox28.de

rungsregeln angewendet hat, die der Autor seit Jahren für kurze Yagis propagiert: Ein relativ dicht am Strahler positionierter Reflektor für gute Rückwärtsunterdrückung und ein zweiter Direktor, obwohl für die Antennenlänge von etwa 0,35 λ ein einziger für den angestrebten Gewinn als 3-Element-Yagi ausgereicht hätte.

Der zweite Direktor verbessert das Anpassungsverhalten gegenüber der niederohmigeren 3-Element-Yagi und sorgt gleichzeitig für ein deutlich günstigeres Richtdiagramm.

So hat W1VT, wohl ohne es gezielt zu planen, der Yagistruktur ein 28-Ω-Konzept [2] verpasst.

Ersetzt man nämlich nur den T-Strahler durch einen gestreckten Dipol und kürzt dessen Länge auf 998 mm, weist das Analyseprogramm EZNEC+4 [3, 4] für die Yagi bei 145 MHz einen Strahlungswiderstand von genau 28±j0 Ω aus. Dabei ist die Bandbreite so groß, dass auch ungeübte Nachbauer immer Erfolg haben sollten.

Es handelt sich um eine ausgesprochen unkritische Dimensionierung, die über

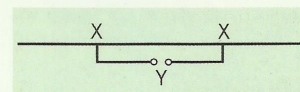


Bild 1: Schema der T-Anpassung

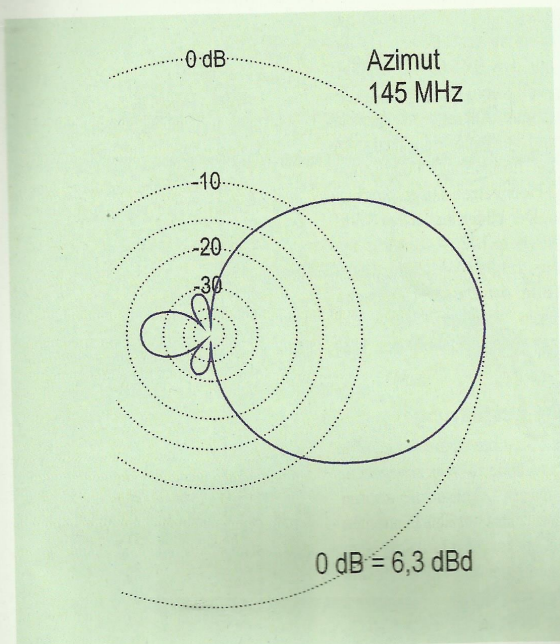


Bild 2: Horizontales Richtdiagramm einer Yagi

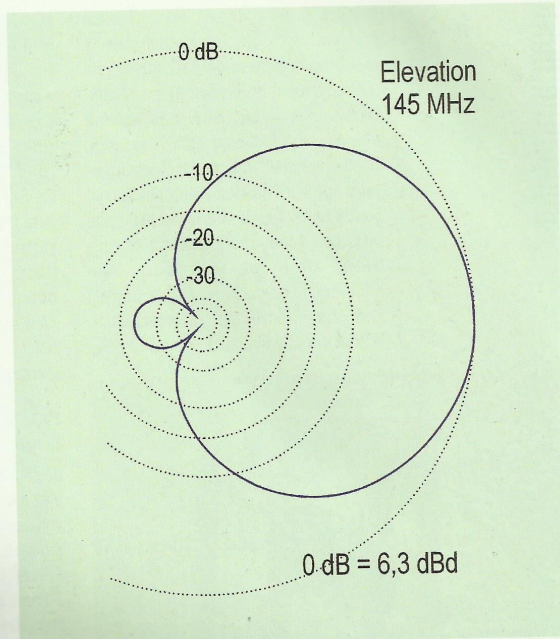


Bild 3: Vertikales Richtdiagramm einer Yagi

das gesamte 2-m-Band mit einem SWR unter 1,2 (!) anstelle von 1,8 wie für die Originalbeschreibung erstellt werden kann.

In **Tabelle 1** sieht man, dass sich der Impedanzverlauf von 144...146 MHz kaum ändert. Das sind Daten, die keine der analysierten vergleichbaren, kommerziell erhältlichen Yagis auch nur annähernd aufweisen können.

Hier lohnt sich der Selbstbau also doppelt, denn wir erhalten eine hervorragende Antenne und das Gefühl, nicht nur als „Steckdosenamateur“ tätig zu sein.

Die weiteren Eigenschaften aus **Tabelle 1** zeigen, dass die Yagi für alle Anwendungen im 2-m-Band verwendet werden kann und sich für horizontale Polarisation als SSB/CW-Antenne ebenso gut wie als vertikale Yagi für FM-Direktverkehr und Relaisfunk eignet. Für den Vergleich mit anderen Antennen – man beachte, dass Prospektangaben oft übertrieben sind – für eine eventuelle Selbsterklärung sind die Richtdiagramme angegeben.

Vorschlag für vier Elemente

Das Grundkonzept der Antenne war, eine handliche Yagi für den Transport zu haben, die unzerlegt in den Kofferraum eines PKWs passt, um ohne zusätzliche Schraubarbeiten sofort ORV

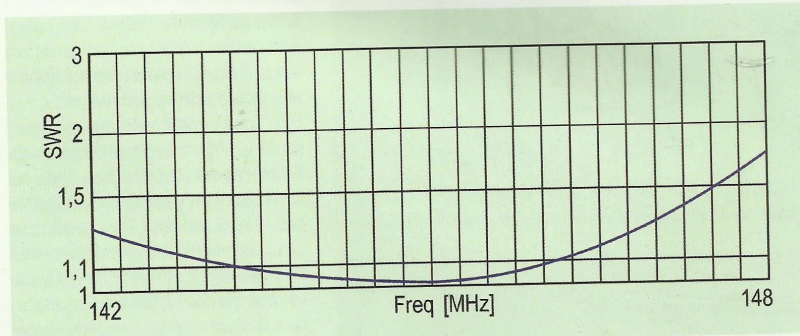


Bild 4: Anpassungsverlauf über die Bandgrenzen hinaus

zu sein. Deshalb sollten die Originalmaße bestehen bleiben.

Der Autor hat lediglich die durch Umrechnung aus amerikanischen Zollmaßen entstandenen krummen Werte etwas korrigiert. So kann man mit problemlos in jedem Baumarkt erhältlichen Materialien arbeiten.

Man nimmt 6 mm × 1 mm Rundrohr für die Elemente und 15 mm × 15 mm × 1,5 mm Vierkantrohr, beide aus Aluminium. Dadurch erhält man einen vereinfachten Strahler mit einem gestrecktem Dipol und kann für die Speisung einen Viertelwellentransformator aus parallelen 75-Ω-Koaxialkabeln einsetzen, der gleichzeitig als Mantelwellensperre dient [5].

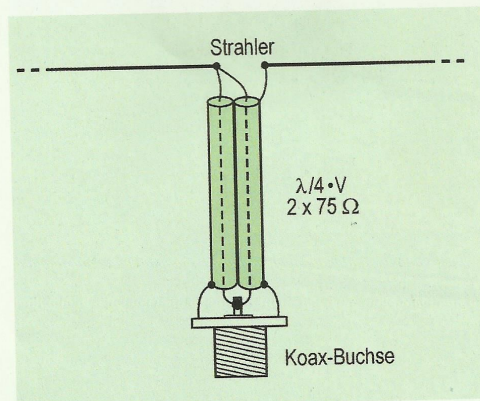


Bild 5: Schema der Viertelwellentransformationsleitung aus 2 x 1/4-λ-Kabeln mit 75 Ω

Bei der Breitbandigkeit wäre es kein Problem, auch die Elementbefestigung so zu vereinfachen, dass sie direkt metallisch leitend durch den Boom erfolgt. Damit ersparte man sich eine isolierte Montage von Reflektor und Direktoren, was bei schmalbandigen Hochleistungs-yagis auf keinen Fall zu empfehlen ist. Leider tendieren die Berührungspunkte zwischen Boom und Element zum Ausbilden einer gut isolierenden Aluminiumoxid-Schicht, dadurch ändern sich die elektrischen Eigenschaften. Wer es dennoch versuchen will: Die Pa-

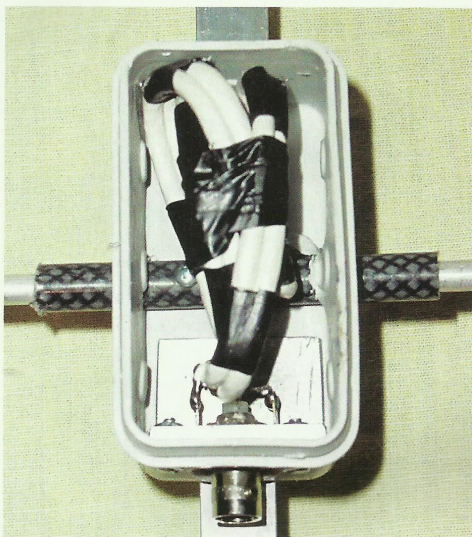


Bild 6: Die Anschlussdose mit dem aufgerollten Viertelwellenkabel

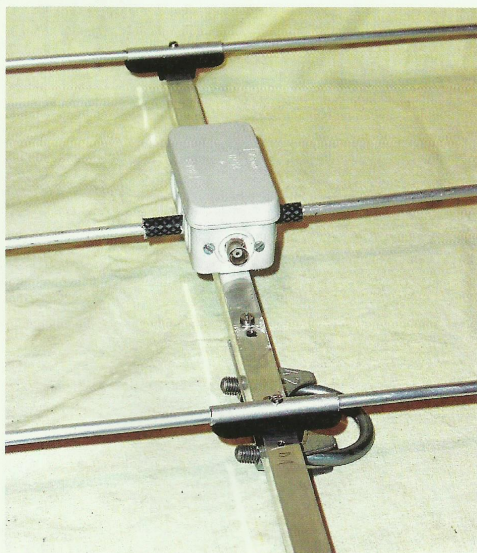


Bild 7: Antennenmittelstück und Elementmontage mit Polyamid-Haltern

rasitärelemente sind dafür jeweils um 3 mm zu verlängern. Besser ist die Montage mit den UV-festen Polyamid-Klammern von Konni [6].

Die Diagramme für das horizontale (Bild 2) und vertikale Richtdiagramm (Bild 3) bei horizontaler Polarisation als EZNEC-Plots zeigen ausgesprochen gute Daten. Der bilderbuchartige SWR-Verlauf zwischen 142...148 MHz bestätigt das gutmütige Verhalten dieser Antenne (Bild 4). Das ausgemessene Richtdiagramm auf 145 MHz deckt sich voll mit den Angaben des Programms.

Praktische Ausführung

In Tabelle 2 sind die Abmessungen für die leicht abgeänderte Yagi angegeben. Wer mit anderem Durchmesser als den vorgesehenen 6 mm bei den Elementen arbeiten will, bekommt gleich die über EZNEC umgerechneten Maße für 8- und 10-mm-Rohre mitgeliefert.

Der Strahler ist in der Mitte unterbrochen, der Abstand beträgt etwa 12 mm. Man beachte, dass die Abmessungen aus Tabelle 2 für den Strahler die Maße von Spitze zu Spitze enthalten. Das Isolierstück bei der Musterantenne besteht aus einem Stück GFK-Rohr, aber auch andere Isoliermaterialien sind geeignet.

Die Transformationsleitung aus zwei parallelen Viertelwellenstücken 75- Ω -Kabeln wird mit dem einen Ende am Dipol, mit dem anderen an der über einen Winkel mit dem Boom verbundenen Koaxialbuchse angeschlossen (Bild 5). Es transformiert die 28 Ω des Strahlers auf die 50 Ω für das Speisekabel und dient durch die geerdete Buchse gleichzeitig als vereinfachter Sperrtopf. Wie von zahlreichen Funkamateuren in aller Welt inzwischen nachgebaute Yagis mit dieser Speisung zeigen, funktioniert das problemlos und lässt sich einfach realisieren (Bild 6).

Bei Kabeln, deren Isolation wie bei RG-59 aus Voll-PE besteht, kann man von einem Verkürzungsfaktor von 0,667 ausgehen. Damit ergibt sich eine Länge von 34,5 cm, bezogen auf die Außenabmessung. Bei anderem Kabel mit Schaumstoff-Dielektrikum muss man deren größeren Verkürzungsfaktor kennen (0,81...0,85) und entsprechend umrechnen. Bei den Musterantennen kam weißes 5-mm-CATV-Kabel mit doppelter Schirmung und stabilem Voll-PE-Dielektrikum zum Einsatz.

Werden Polyamid-Elementhalter wie oben angegeben eingesetzt, sollte man

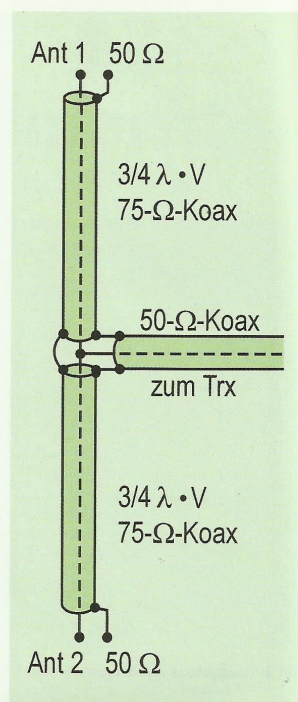


Bild 8: Schema der Aufstockleitungen

nach Bild 7 nur die Unterteile benutzen und 3-mm-Edelstahlschrauben verwenden. Die leitende Verbindung zwischen Schraube und Boom im elektrischen Nullpunkt spielt in diesem Fall für die Elementlänge keine Rolle. Zur Verbesserung der mechanischen Stabilität im gebohrten Mittelpunkt sollte man 8 mm \times 1 mm Alurohrstücke überschieben, die die elektrischen Eigenschaften nicht verändern.

Inbetriebnahme und Abgleich

Die angegebene Strahlerlänge gibt die Maße von EZNEC an (Spitze zu Spitze). Die tatsächlich benötigte Länge liegt etwas darunter und hängt von der individuellen Mechanik in der Dose ab. Mit einem UKW-tauglichen Stehwellen-Messgerät sollte auf Anhieb das SWR $< 1,3$ sein. Bei den Musterantennen lag das SWR-Minimum zunächst unterhalb des 2-m-Bandes und ließ sich durch Kürzen um je 3 mm an den Strahlern auf $< 1,1$ bei 144,3 MHz bringen. Die anderen Elemente sollte man auf keinen Fall verändern, eine möglicherweise schlechtere Anpassung kann nur an einer falsch dimensionierten Transformationsleitung liegen. Eine Prüfung des Richtdiagramms kann auch mit den „Schätzreisen“ üblicher Transceiver er-

Tabelle 2

	Reflektor	Strahler	Direktor 1	Direktor 2
Montageabstand	0 mm	180 mm	335 mm	755 mm
Elementlänge bei 6 mm	1031 mm	998 mm	951 mm	876 mm
Elementlänge bei 8 mm	1030 mm	994 mm	944 mm	866 mm
Elementlänge bei 10 mm	1030 mm	990 mm	937 mm	857 mm

Tabelle 2: Abmessungen der modifizierten 4-Element-Yagi. Die Elementlängen beziehen sich auf isolierte Montage (für leitende Befestigung Text beachten!)

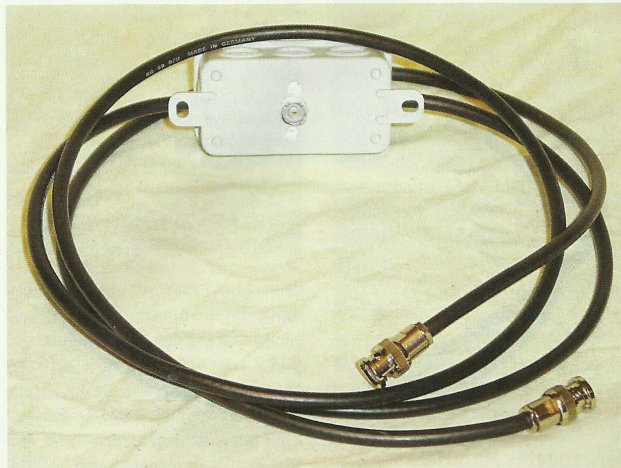


Bild 9: Fertige Leitung mit Steckern und Anschlussdose

folgen. Dazu sucht man sich ein konstantes Bakensignal und dreht die Antenne. Die etwas größere rückwärtige Keule, die mit >20 dB Dämpfung bei 180° auftritt und die zwei kleinen Nebenzipfel bei 110° und 250° müssen deutlich zu erkennen sein.

Zusätzliche Möglichkeiten

Jede Bauanleitung sollte zusätzliche Denkanstöße für eigene Konzepte bieten, deshalb nachfolgend weitere Maßnahmen für höhere Gewinne. Dort, wo eine Yagi in den Kofferraum passt, ist auch Platz für eine zweite. Also warum nicht zusätzliche, leicht erreichbare 3 dB an Gewinn durch Stocken zu einer Gruppe vier über vier einplanen? Die optimale Stockungsdistanz für diese Antenne beträgt 1,7 m. Abzüglich der Verluste durch die Aufstockleitung verbleiben sichere 9,1 dBd.

Auch hierzu nutzt man Viertelwellentransformationsleitungen (Bild 8) zur Anpassung. Für den Abstand der beiden Yagis kommen Stücke von $2 \times 3/4 \lambda$ infrage, das ergibt mit den oben schon erwähnten Kabeln Längen von je 103,5 cm. Am Verbindungspunkt in der Mitte wird das Kabel sauber an eine Buchse angeschlossen, die sich in einer IP-54-Dose befindet. Bild

9 zeigt das komplette Aufstockkabel. Der Autor verwendet dazu wie an den Antennen die BNC-Norm.

Als Zuleitung bietet sich das H-155 an, das für Portabelbetrieb leicht und ausreichend dämpfungsarm ist. Mit einer Glasfaserrute als Träger lassen sich die beiden Antennen in über 5 m Höhe anbringen, was schon eine recht effektive Abstrahlung ergibt. In der Praxis erweist sich ein gestocktes System sowohl elektrisch als auch mechanisch einer Einzelyagi mit gleichem Gewinn überlegen.

Größerer horizontaler Öffnungswinkel bei kleinerem Vertikalwinkel (Bilder 10 und 11) und geringere mechanische Belastung eines Portabelmastes sind die Pluspunkte einer solchen Anordnung. Dabei verändert sich durch die gegenseitige Beeinflussung der Strahlungsfelder beider Antennen auch das Azimutdiagramm gegenüber nur einer Yagi. Das Elevationsdiagramm weist das für zwei gestockte kurze Antennen typische Bild mit zwei starken Nebenkeulen auf, die etwa 8 dB gedämpft sind.

Die Antenne ist wegen des absolut unkritischen Verhaltens auch für Anfänger leicht nachzubauen, und ein Misserfolg ist beim Einhalten der Maße praktisch ausgeschlossen.

CQDL

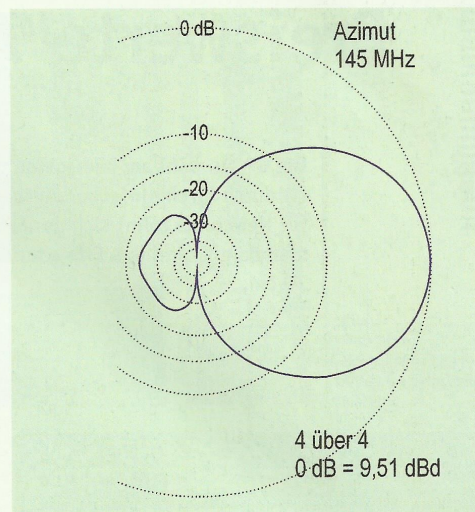


Bild 10: Horizontales Diagramm der mit 1,70 m gestockten Yagis

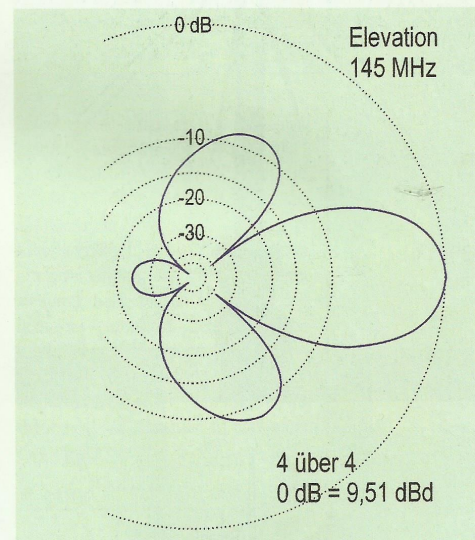


Bild 11: Vertikales Diagramm der mit 1,70 m gestockten Yagis

Literatur und Bezugsquellen

- [1] Zack Lau, W1VT: „Kompakte Portabel-Yagi für 2 m“, CQ DL 1/05, S. 36
- [2] Martin Steyer, DK7ZB: „UKW- und Kurzwellenyagis in 28-Ω-Technik“, CQ DL 6/01, S. 433
- [3] R. Lewallen, W7EL: Programm EZNEC+, V.4, Info bei www.eznec.com
- [4] Martin Steyer, DK7ZB: „Neue Versionen von EZNEC für den Funkamateure“, Funk 8/04
- [5] Martin Steyer, DK7ZB: „Einfache Speisung von Monoband-Yagis“, Funkamateure 4/95
- [6] <http://www.konni-antennen.de>