

Erweiterung der Hybrid-Doppelquad nach DL7KM

DIETRICH ROGGENSACK – DL7KM, CHRISTIAN GÖPEL – DL1RPG

Die guten Eigenschaften der Antenne haben uns veranlasst, die seinerzeit mit großem experimentellen Aufwand gefundene Struktur [1] mit den modernen Methoden der PC-Simulation zu verifizieren und zu erweitern. Im Ergebnis ist ein leistungsfähiges und nachbausicheres Antennenkonzept entstanden, das hier für das 2-m-Band beschrieben wird.

Das Entwicklungsziel war damals und ist noch immer eine breitbandige und deshalb nachbausichere Antenne mit großem horizontalen Öffnungswinkel bei hohem Vor-Rück-Verhältnis, die ihren Antennengewinn aus der Bündelung der Strahlung in der Vertikalebene bei hoher Effizienz der Reflektoren bezieht.

Kurze und mittlere Yagi-Strukturen werden dieser Zielsetzung bei horizontaler Polarisation nur bedingt gerecht, weil deren Strahlungsbündelung zunächst vorrangig in der Horizontalebene erfolgt. Im praktischen Funkbetrieb werden deshalb mit solchen Antennen Stationen geringer Leistung leicht überhört, falls die Antennenausrichtung nicht zufälligerweise exakt ist.

Deshalb benötigt man bei wirklich Gewinn bringenden Antennen dieser Art auch entsprechend schnelle Rotoren, um nach einem

„CQ“ potenzielle Anrufer rasch genug finden zu können. Die relativ bescheidene Strahlungsbündelung in der Vertikalebene führt überdies zur Abstrahlung von erheb-

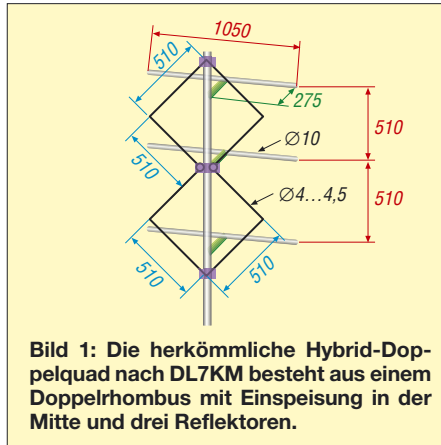


Bild 1: Die herkömmliche Hybrid-Doppelquad nach DL7KM besteht aus einem Doppelrhombus mit Einspeisung in der Mitte und drei Reflektoren.

lichen Leistungsanteilen in Raumbereiche, aus denen mit Sicherheit keine Verbindungen zu erwarten sind. Diese Nachteile für den praktischen Amateurfunkbetrieb im VHF-/UHF-Bereich bei horizontaler Polarisation werden mit (mehrfach) vertikal gestockten kurzen Antennensystemen weitgehend vermieden.

Das eigentliche Strahlerelement ist ein rechtwinkliger Doppelrhombus (*Twin-Diamond-Quad*), dessen Umfang deutlich größer als das Doppelte der Wellenlänge ist, wenn das Strahlerelement allein und resonant betrieben werden soll. Es ergibt sich ein Fußpunktwiderstand von etwa $Z = 85 \Omega$. Die Auffassung, wonach Z näherungsweise aus der Parallelschaltung von zwei einzelnen Rhomben mit jeweils 128Ω resultiere und somit etwa 60Ω betrage, ist unzutreffend. Der Sachverhalt um die Entwicklung des Fußpunktwiderstands ist komplizierter.

Der Umfang beträgt bei einem Drahtdurchmesser von 4 mm etwa $2,19 \lambda$. Der Drahtdurchmesser ist bei einem einfachen Doppelrhombus kritisch; seine Vergrößerung erfordert eine Erhöhung des Strahlerumfangs für Resonanz.

Erstaunlicherweise beeinflusst der Durchmesser des Strahlerdrahtes den Umfang des Strahlerelementes der gesamten Hybrid-Doppelquad-Antenne nur unwesentlich, wie Bild 3 anschaulich demonstriert.

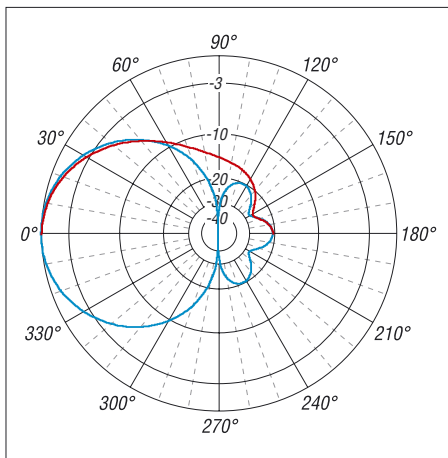


Bild 2: Freiraum-Strahlungsdiagramm der herkömmlichen Hybrid-Doppelquad nach DL7KM in der azimutalen (blau) und vertikalen (rot) Ebene; 0 dB = 6,77 dBd, $f = 145$ MHz

Das hervorragende Vor-Rück-Verhältnis der gesamten Antenne, s. Bild 2, wird durch drei Reflektoren erreicht, deren Länge $0,505 \lambda$ beträgt. Die Abstände zum Strahler betragen etwa $0,13 \lambda$, untereinander $0,247 \lambda$. Der Durchmesser der Reflektoren beläuft sich gemäß Bild 1 für die 2-m-Variante auf 10 mm.

Um die mit Reflektoren bewehrte Antenne in Resonanz zu bringen, muss der Umfang des Strahlerelementes auf $1,98 \lambda$ gekürzt werden. Der Fußpunktwiderstand beträgt etwa $Z = 50 \Omega$, sodass eine direkte Speisung mit einem üblichen Koaxialkabel möglich ist, wenn man auf die eigentlich erforderliche Symmetrierung verzichtet. Die Bandbreite für ein Stehwellenverhältnis (SWV) $s < 1,5$ liegt bei etwa 5,5 MHz. Somit hat die Simulation die 1974er-Werte bestätigt.

■ **Strahlerelement der „Erweiterten DL7KM“**

Stockt man das resonante Strahlerelement der Grundstruktur auf geeignete Weise, so muss eine stärkere Bündelung in der Vertikalebene auftreten, ohne das Horizontal-

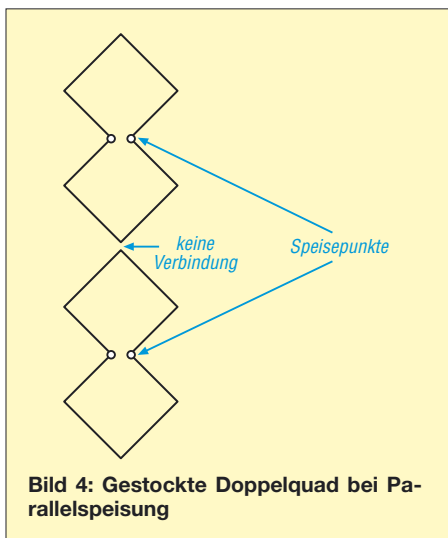


Bild 4: Gestockte Doppelquad bei Parallelspeisung

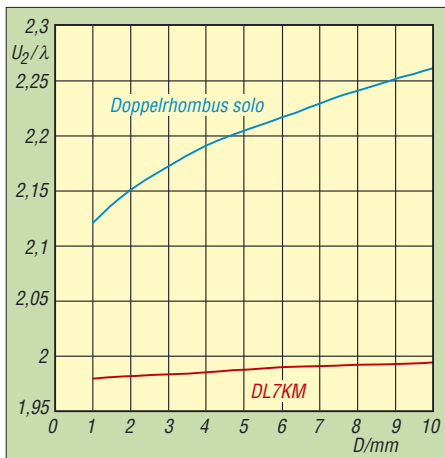


Bild 3: Der Einfluss des Strahlerdurchmessers auf den Umfang der Strahlerschleife ist bei der Hybrid-Doppelquad geringer als bei einem Doppelrhombus ohne Reflektoren.

diagramm wesentlich zu beeinflussen. Der Stockungsgewinn beträgt knapp 3 dB gegenüber dem Einzelstrahler.

Die über die Felder entstehende Verkopplung beider Einzelstrahler bewirkt wegen der großen Bandbreite des Systems nur eine unwesentliche Verstimmung der Resonanzfrequenz um -700 kHz. Beide Einzelstrahler weisen in dieser in Bild 4 wiedergegebenen Struktur einen Fußpunktwiderstand von jeweils etwa $Z = 85 \Omega$ auf, beide Speisepunkte werden gleichphasig und mit gleichgroßen Signalen gespeist.

Bild 5 ist zu entnehmen, dass eine deutlich elegantere Speisung entsteht, wenn nur ein Speisepunkt in der Mitte der Vierfach-Rhombus-Struktur verwendet und die erforderliche Phasendrehung für die beiden äußeren Rhomben durch Leitungskreuzung in den ursprünglichen Speisepunkten erreicht wird. Der gesamte Schleifenumfang beträgt dann $4,52 \lambda$ bei einem Drahtdurchmesser von 4 mm.

Die Strahlungsdiagramme für beide Speisungsarten entsprechen sich im Wesentlichen, sodass Bild 7 nur eine Ausführung

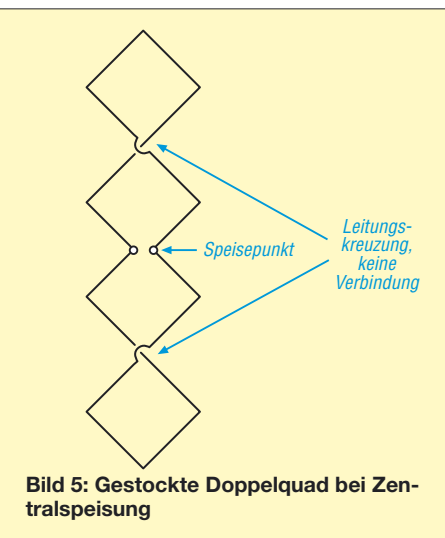


Bild 5: Gestockte Doppelquad bei Zentralspeisung

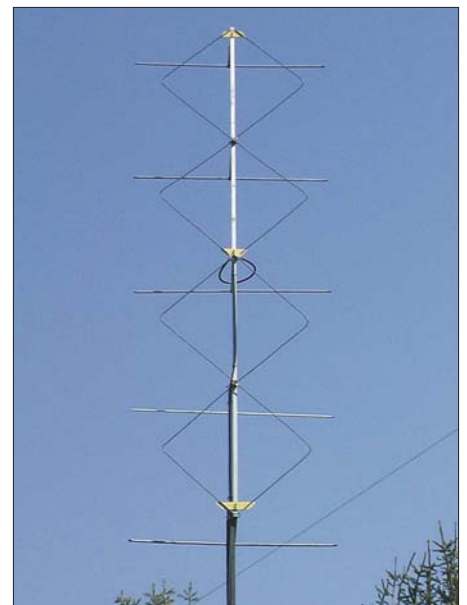


Bild 6: Technische Realisierung der Konstruktion bei DL7KM

zeigt. Der Fußpunktwiderstand beträgt bei zentraler Speisung etwa $Z = 200 \Omega$, wodurch sich die Anpassung eines unsymmetrischen $50\text{-}\Omega$ -Koaxialkabels über eine $\lambda/2$ -Umwegleitung (geometrische Länge = $\lambda/2 \times$ Verkürzungsfaktor VF des verwendeten Kabels, Wellenwiderstand ist unkritisch) an die symmetrische Antenne ermöglicht. Die Struktur ohne den Einfluss der Umwegleitung ist mit 16 MHz für ein SWV $s < 1,5$ extrem breitbandig.

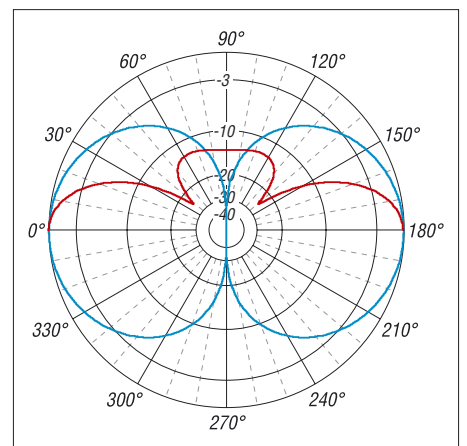


Bild 7: Freiraum-Strahlungsdiagramm der gestockten Doppelquad ohne Reflektoren in der azimutalen (blau) und vertikalen (rot) Ebene; 0 dB = 6,25 dBd, $f = 145$ MHz

Ergänzt man das Strahlerelement um die Reflektoren, die nun etwas anders als bei der originalen DL7KM-Hybrid-Doppelquad angeordnet werden, so gelangen wir zur in Bild 6 bzw. Bild 11 auf der folgenden Seite gezeigten „Erweiterten DL7KM“.

Der Durchmesser der Reflektoren beträgt 10 mm, der des Strahlerdrahtes 4,5 mm. Alle Reflektoren sind mit $0,505 \lambda$ gleich lang bemessen, der Abstand zum Strahler ist für alle Reflektoren identisch und be-

trägt $0,16 \lambda$. Die Reflektoren befinden sich exakt hinter den Strombäuchen des Strahlers, die sich im Speisepunkt, in den Kreuzungspunkten des Strahlerdrahtes und den rechten Winkeln ganz oben und ganz unten am Strahlerelement ausbilden.

Es erwies sich als notwendig, die Gesamtlänge des Strahlerdrahtes wegen des verstimmenden Reflektoreinflusses auf $4,06 \lambda$ für Resonanz der gesamten Antenne zu kürzen. Der Fußpunktwiderstand beträgt in dieser Festlegung 200Ω . Die Bandbreite für ein SWV $s < 1,5$ ist mit 13 MHz erstaunlich groß.

Auch bei dieser Variante übt die Drahtstärke des Strahlerelementes einen Einfluss auf die Resonanzfrequenz der Antenne aus. Dicke Strahlerdrähte erfordern gemäß Bild 8 eine Vergrößerung des Strahlerumfangs.

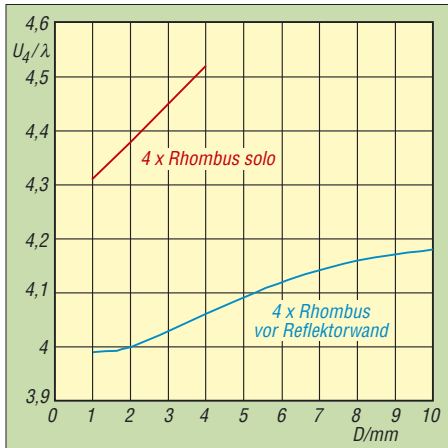


Bild 8: Abhängigkeit des Schleifenumfangs vom Drahtdurchmesser des Strahlerdrahts in der gestockten Struktur als Vierfach-Rhombus

Die Vierfach-Rhombus-Struktur ohne Reflektoren wird bei dicken Drähten nicht mehr resonant. In diesem Falle wäre im Einspeisepunkt eine Kompensation des Blindanteils durch ein entsprechendes LC-Glied notwendig.

■ Aufbau in der Praxis

Die Maßangaben der Antenne erfolgten bisher, vom Drahtdurchmesser abgesehen, in

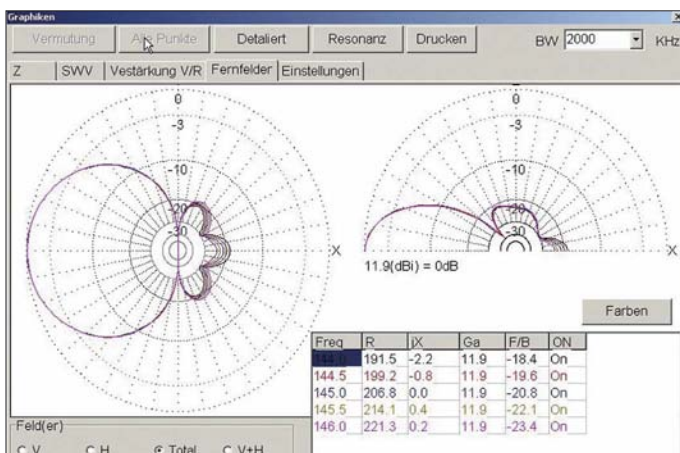


Bild 10: MMAna-Screenshot: Variation der Parameter Vorwärts-gewinn G_a [dBi], Vor-Rück-Verhältnis F/B [dB], Realteil R [Ω] und Imaginärteil jX [Ω] sowie Freiraumdiagramme in azimuthaler bzw. vertikaler Ebene über die Frequenz im Bereich von 144 bis 146 MHz

Fotos: DL7KM, Screenshots: DL1RPG

Teilen oder Vielfachen der Wellenlänge, um Tendenzen besser sichtbar zu machen und um Umrechnungen auch auf frequenznahe Bereiche des 2-m-Bandes zu ermöglichen. Für den Nachbau erscheint uns eine Dimensionierung in der Einheit Millimeter günstiger.

Die aus Bild 11 hervorgehende Konstruktions-skizze ist Grundlage der von Dietrich, DL7KM, aufgebauten und in Bild 6 gezeigten Antenne, deren Resonanzfrequenz etwa 144,5 MHz beträgt.

Die weiteren Fotos zeigen die aufgebaute Antenne in mehreren Ansichten, sodass die konstruktiven Lösungen für den Einspeisepunkt (Bild 12), den Kreuzungspunkt der Strahlerdrähte (Bild 13) sowie die Befestigung der Reflektoren an den Auslegern (Bild 14) deutlich werden.

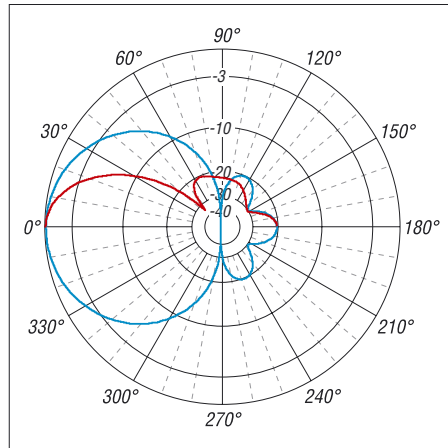


Bild 9: Freiraum-Strahlungsdiagramm der gestockten Doppelquad in der azimuthalen (blau) und vertikalen (rot) Ebene; 0 dB = 9,73 dBd, $f = 145$ MHz

Der Strahlerdraht, hier ein abisolierter Elektro-Installationsdraht 16 mm^2 , ist als eine durchgehende Schleife ausgeführt, die im rechten Winkel am unteren Ende der Antenne hart mit Silberlot verlötet wurde. Bei der Befestigung der Abstandshalter in den Kreuzungspunkten wie auch der Reflektoren in den Auslegern haben wir im wahren Sinne des Wortes heiß geklebt.

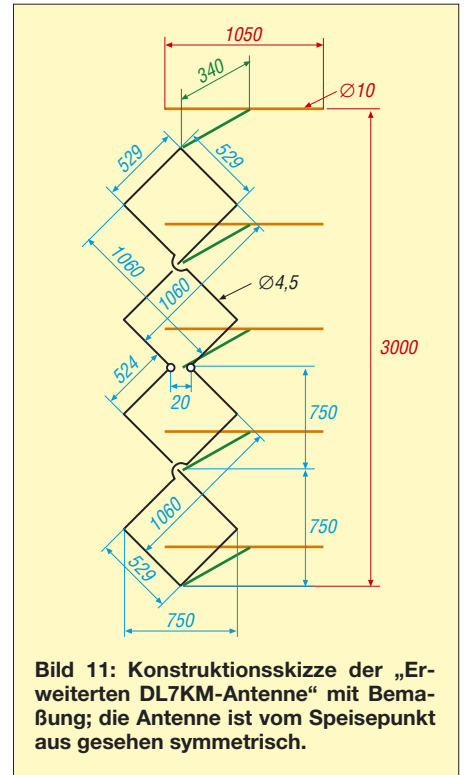


Bild 11: Konstruktions-skizze der „Erweiterten DL7KM-Antenne“ mit Bemaßung; die Antenne ist vom Speisepunkt aus gesehen symmetrisch.

Um eine gute Haftung des Klebers (hochwertige Sorte verwenden!) auf Metall erreichen zu können, sind die Teile vor dem Kontakt mit dem Heißkleber sehr stark zu erwärmen. Diese Technologie sichert eine sehr stabile und dauerhafte Verbindung, die sich sogar notfalls wieder durch Erwärmung trennen ließe.

Die Abstandshalter der Reflektoren dürfen auch aus Metall sein. Beim Musteraufbau fand Aluminium-Vierkantmaterial $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ Verwendung, das am Ende zur Aufnahme der Reflektorelemente jeweils U-förmig ausgespart wurde. Dadurch liegt der aus 10-mm-Aluminiumrohr bestehende Reflektor nur an den Kanten des U auf und wird nicht radial vom Metall des Abstandshalters umschlossen, wie Bild 12 erkennen lässt.

■ Toleranzempfindlichkeit

So wichtig der Parameter einer großen Bandbreite für ein kleines SWV auch sein mag – von gleicher Bedeutung bei Antennen mit Reflektoren bzw. Direktoren ist die relative Stabilität des Strahlungsdiagramms im beabsichtigten Arbeitsbereich. Beide Ziele haben wir im Zuge der Entwicklung erreichen können, vgl. Bilder 9 und 10.

Das Gebilde weist im Vergleich zu der im Jahre 1999 von Karl Weiner, DJ9HO, veröffentlichten Doppelacht-Antenne [2] ein besseres Vor-Rück-Verhältnis bei anderem Fußpunktwiderstand auf, ist außerordentlich breitbandig (Bild 15) und daher ohne besondere Messmittel nachbausicher.

Mit der Variation des Reflektorabstands zum Strahler kann ein geringfügig abwei-



Bild 12: Detailbild des Einspeisepunkts mit Halbwellenumwegleitung; der lichte Abstand beider Speisepunkte beträgt 20 mm.



Bild 13: Konstruktive Lösung der Leitungskreuzung durch einen Abstandshalter aus einem geschlitzten Kunststoff-Rohrstück



Bild 14: Reflektorbefestigung im am Ende U-förmig aufgeschlitzten Ausleger zur Vermeidung einer Kurzschlusswindung; zur Fixierung dient Heißkleber.

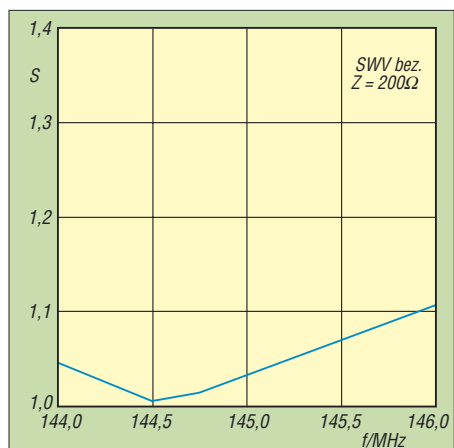


Bild 15: Verlauf des Stehwellenverhältnisses s der „Erweiterten DL7KM“, bezogen auf $Z = 200 \Omega$, in Abhängigkeit von der Frequenz

chendes SWV leicht auf den Wert $s = 1$ gebracht werden. Die Annäherung der Reflektorenwand an das Strahlerelement verringert den Wert des Realteils von Z . Der hauptsächlich durch die Länge der Strahlerschleife bestimmte Imaginärteil verändert sich nur unwesentlich, wobei das Vor-Rück-Verhältnis von etwa 20 dB erhalten bleibt.

Simulation und Realität

Ergebnisse einer Simulation sind grundsätzlich auf ihren Wahrheitsgehalt hin in der Praxis zu überprüfen. Neben dem Aufbau einer gut funktionierenden Antenne war die uns eigentlich interessierende Frage: Gelingt die Beschreibung realer Verhältnisse mit einem vergleichsweise einfachen Modell?

Die prognostizierten Strahlungsdiagramme auch bei geringer Aufbauhöhe über realem Boden sowie der errechnete Fußpunktwidestand von $Z = 200 \Omega$ bis hin zum SWV-Verlauf bestätigten sich experimentell. Somit erwies sich das von uns verwendete Antennensimulationsprogramm MMAna [4], [5] trotz seines abgespeckten Rechenkerns (im Gegensatz zu EZNEC, 4NEC2 u. a. verwendet MMAna statt des NEC2-Kerns den für langsame PCs optimierten MiniNEC-Kern) als ziemlich leistungsfähiges Werkzeug bei der Konzeption derartiger Strahler. Abweichungen sind in erster Linie dort zu erwarten, wo der Einfluss des Erdbodens eine große Rolle spielt, z. B. bei Vertikalantennen im KW-Bereich. Hinsichtlich Bedienerfreundlichkeit, Zuverlässigkeit und Innovationsrate sind bei einem solchen Hobby-Produkt gegenüber kommerziellen Pendanten wie EZNEC freilich Einschränkungen hinzunehmen.

Korrekte Absolutmessungen der Strahlungsleistung von Antennen sind für Amateure meist nur eingeschränkt möglich; Aussagen zum tatsächlichen Wirkungsgrad verbieten sich daher. Im Vergleich zu kommerziell gefertigten Antennen bestätigten sich unsere hochgesteckten Erwartungen an diesem Aufbau jedoch in vollem Umfang. In regelmäßigen Skeds von Dietrich, DL7KM, aus Berlin mit seinen Freunden in der Nähe von Hamburg konnten beiderseits keine merklichen Unterschiede in der Feldstärke zwischen einer kommerziellen Yagi mit einer Boomlänge von 5 m und dieser Konstruktion festgestellt werden. Bei der Beobachtung der Bakensignale von u. a. SK7VHF wurde immer wieder deutlich, dass die Yagi im Gegensatz zu dieser Antenne einen sehr kleinen horizontalen Öffnungswinkel aufweist.

Schlusswort

Das Grundkonzept der „DL7KM“ ist eine gestockte Schleifenstruktur vor einer Re-

Parameter der „Erweiterten DL7KM“

Gewinn (Freiraum)	9,73 dBd (6,7 dB)
Vor-Rück-Verhältnis	20,8 dB (20,3 dB)
hor. Öffnungswinkel α_E	70° (70°)
vert. Öffnungswinkel α_H	33° (60°)
Fußpunktimpedanz	$\approx 200 \Omega$ (50 Ω)
Bandbreite für $s = 1,5$	13,2 MHz
Bandbreite für $s = 2,0$	26,4 MHz
Anschluss	über $\lambda/2$ -Umwegleitung an 50 Ω
Abmessungen	1,05 m \times 3 (1,5) m
B \times H \times T	$\times 0,35$ (0,27) m
Material Boom	20 \times 20 mm ² \times 1,5 mm
Strahler	4,5 mm Cu (16 mm ²)
Reflektoren	10 mm \varnothing \times 1 mm

Alle Werte simuliert mit MMAna GAL 1.1.0.10; Antennengewinn G und Öffnungswinkel α_E , α_H im Freiraum; horizontaler bzw. vertikaler Öffnungswinkel bezogen auf horizontal polarisierte Montage; blaue Klammerwerte: herkömmliche Hybrid-Doppelquad nach DL7KM

flektorenwand aus einzelnen Parasitärelementen der Länge von etwas mehr als $\lambda/2$. Dabei kann die gestockte Schleife höchst unterschiedlich aussehen. Neben Doppelringen und doppelten Rechtecken haben wir auch doppelte Dreiecke auf ihre Eignung hin untersucht und gleichfalls brauchbare Lösungen gefunden. Hierüber wird vielleicht später zu berichten sein.

Unser Dank gilt Makoto Mori, JE3HHT, dem Entwickler des für nichtkommerzielle Nutzung kostenfreien Antennensimulationsprogramms MMAna. Nicht unerwähnt bleiben sollen ferner Alexander Schewelew, DL1PBD, und Igor Gontcharenko, DL2KQ, die das Programm mit einer deutschen Benutzeroberfläche versehen haben [4].

Allen Interessierten wünschen wir viel Spaß und Erfolg beim Aufbau von Antennen und beim Umgang mit der Software, durch deren Einsatz viel Aluminiumverschrottung entfallen kann. Unsere QSOs im Zusammenhang mit der Erweiterung bestehender Lösungen haben uns beiden viel Freude bereitet und uns an einen Amateurfunk erinnert, der vor dem Hintergrund ständig zunehmender Kommerzialisierung immer seltener zu beobachten ist.

goepel@web.de

Literatur

- [1] Roggensack, D., DL7KM: Hybrid-Doppelquad-Antenne für VHF/UHF. Funk-Technik 29 (1974) H. 9, S. 326–328
- [2] Weiner, K., DJ9HO: Die Cubical-Quad und ihre Sonderformen. DARC-Verlag, Baunatal 1999; auch in [3], Abschnitt 25.3.5
- [3] Kirschke, A., DJ0TR (Bearb.): Rothammels Antennenbuch. 12. Auflage, DARC-Verlag, Baunatal 2001, Abschnitt 25.3.4, und vorige Auflagen (dort andere Abschnittsnummer)
- [4] Schewelew, A., DL1PBD; Gontcharenko, I., DL2KQ: Deutsche Version von MMAna-GAL, Ein Programm zur Antennenanalyse. <http://dl2kq.de/mmana/4-7.htm>
- [5] Barthels, E., DM3ML: Antennen simulieren mit MMANA – der einfache Weg. FUNKAMATEUR 51 (2002) H. 4 S. 392–393