

Bild 10: Messschaltung mit FA-NWT01

In der ersten Versuchsreihe kamen 8-MHz-Quarze im HC-49U-Gehäuse zum Einsatz. Mit vier Quarzen waren durchaus akzeptable SSB-Filter mit 2,4 kHz Bandbreite realisierbar, wobei mit 450 Ω angepasst wurde (Windungsverhältnis 12:4). Versucht man schmalbandige Telegrafiefilter zu konfigurieren, sollte auf 200 Ω orientiert werden. Trotzdem stieg aber die Einfügedämpfung schnell an, wenn man die 3-dB-Bandbreite schmäler als 750 Hz wählte, während das Filter gleichzeitig immer unsymmetrischer wurde.

Eine große Tradition als Filter haben die 4,952-MHz-Quarze. Wir benutzen bisher in allen unseren Projekten immer solche im rund 13 mm hohen HC-49U-Gehäuse, haben uns aber nie große Gedanken darüber

gemacht. Vor zwei Jahren etwa bekamen wir durch eine Fehllieferung so genannte Low-Profile-Quarze im HC-49US-Gehäuse zugeschickt. Zu unserer Überraschung funktionierten sie in dem 80-m-Fuchsjagdempfänger, den Helmut Seifert, DL2AVH, vor einigen Jahren entwickelte, nicht. Den Grund sah er nach einigen Messungen darin, dass die internen Induktivitäten und Kapazitäten der Low-Profile-Quarze völlig aus dem Rahmen fallen.

Die Erinnerung an dieses Problem brachte mich auf die Idee, diese Quarze in meiner Testschaltung zu probieren. Zu meiner großen Überraschung konnte ich damit CW-Quarzfilter realisieren, von denen ich bisher nicht einmal geträumt hätte. Mich begeisterten die von 100 Hz bis 700 Hz Bandbreite, die sehr geringen und gleichbleibenden Einfügedämpfungen sowie die bereits mit drei Quarzen erreichbaren guten Steilheiten und Symmetrien, s. Tabellen 1 und 2. Ein Filter aus fünf Quarzen stellt alles in den Schatten, was ich bisher an CW-Filtern gesehen hatte. Die Screenshots wurden mit der in [2] beschriebenen Software von Andreas Lindenau, DL4JAL, aufgenommen. Die Daten der Filter sind absolut reproduzierbar. Wenn man die Vorgaben einhält, kann man sie aufbauen, ohne messen zu

Tabelle 1: 3-dB-Bandbreiten

Steuer- spannung/V	Bandbreite/Hz		
	3-polig	4-polig	5-polig
2,0 V	95	70	65
3,3 V	150	135	120
4,5 V	260	235	240

Tabelle 2: Einfügedämpfungen

Steuer- spannung/V	Dämpfung/dB		
	3-polig	4-polig	5-polig
2,0	6,70	8,07	10,02
3,3	4,16	4,94	5,92
4,5	3,96	4,36	5,14

müssen: Cohn-Filter, drei oder besser fünf Quarze, BB112 als Kapazitäten. Das 5-polige Filter mit 4,915-MHz-Quarzen ergibt sogar eine 6-dB-Bandbreite von 285 Hz, bei 60 dB sind es auch nur 805 Hz. Ein Austausch der Kapazitätsdioden gegen entsprechende Festkapazitäten brachte keine Verbesserung mit sich. Man kann also so ruhig ohne Weiteres das Filter variabel gestalten.

dl2fi@qrpproject.de

Literatur

- [1] Graubner, N., DL1SNG; Borchert, G., DF5FC: Netzwerktester FA-NWT. FUNKAMATEUR 55 (2006) H. 10, S. 1154–1157; H. 11, S. 1278–1282
- [2] Lindenau, A., DL4JAL: LinNWT und WinNWT – Software zum FA-Netzwerktester. FUNKAMATEUR 56 (2007) H. 1, S. 38–41

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-

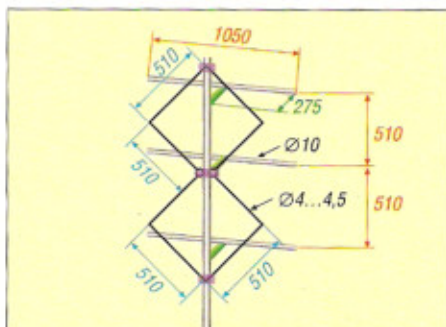


Bild 1: Die herkömmliche Hybrid-Doppelquad nach DL7KM besteht aus einem Doppelrhombus mit Einspeisung in der Mitte und drei Reflektoren.

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.

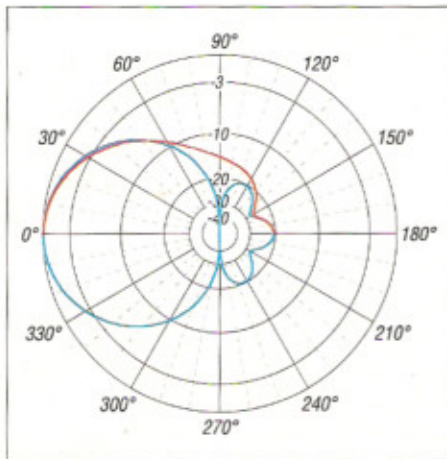


Bild 2: Freiraum-Strahlungsdiagramm der herkömmlichen Hybrid-Doppelquad nach DL7KM in der azimutalen (blau) und vertikalen (rot) Ebene; 0 dB = 6,77 dBd, $f = 145$ MHz

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-

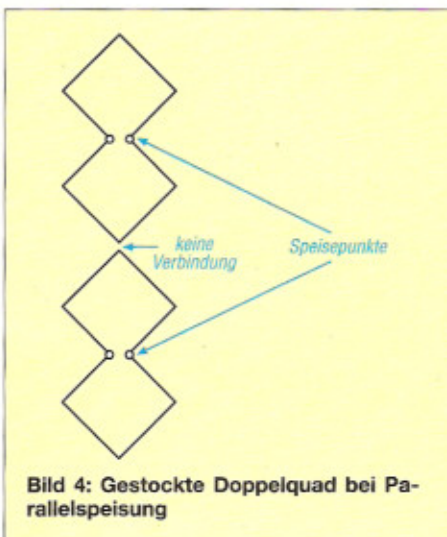


Bild 4: Gestockte Doppelquad bei Parallelspeisung

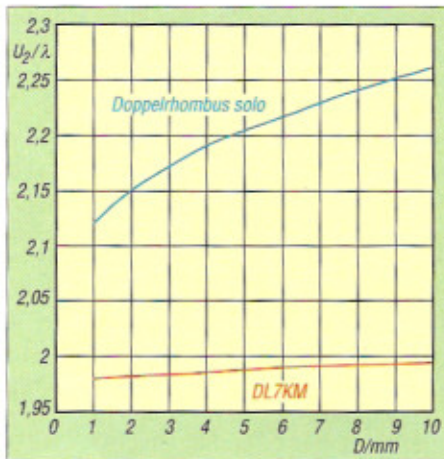


Bild 3: Der Einfluss des Strahlerdurchmessers auf den Umfang der Strahlerschleife ist bei der Hybrid-Doppelquad geringer als bei einem Doppelrhombus ohne Reflektoren.

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

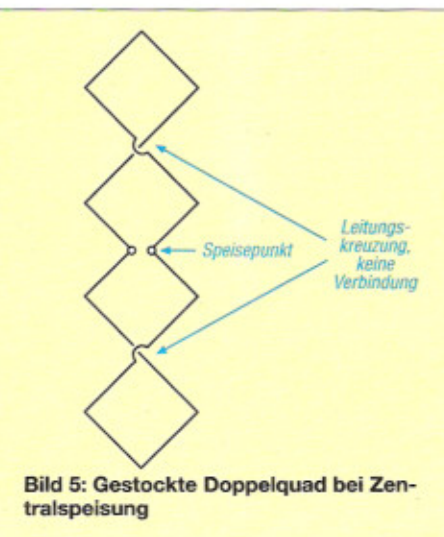


Bild 5: Gestockte Doppelquad bei Zentralspeisung

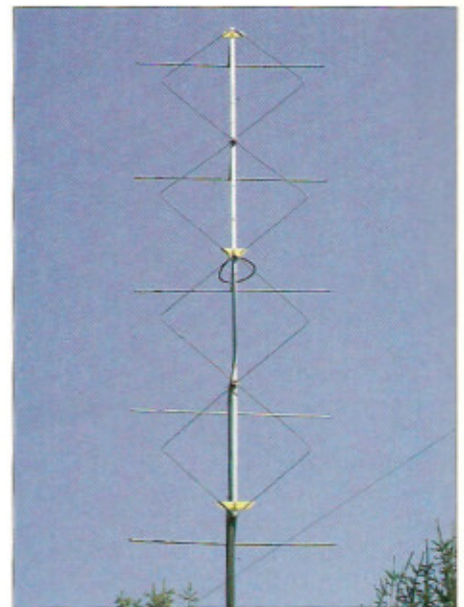


Bild 6: Technische Realisierung der Konstruktion bei DL7KM

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.

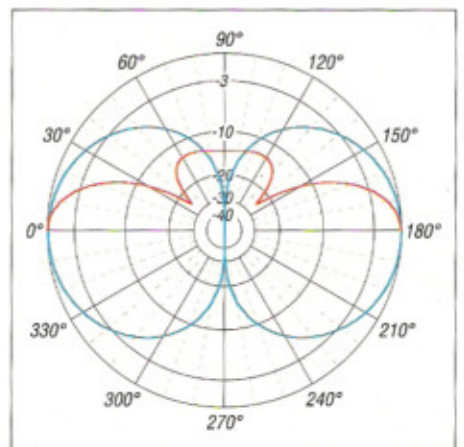


Bild 7: Freiraum-Strahlungsdiagramm der gestockten Doppelquad ohne Reflektoren in der azimutalen (blau) und vertikalen (rot) Ebene; 0 dB = 6,25 dBd, $f = 145$ MHz

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-

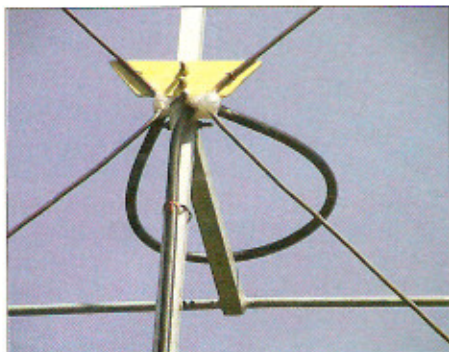


Bild 12: Detailbild des Einspeisepunkts mit Halbwellenumwegleitung; der lichte Abstand beider Speisepunkte beträgt 20 mm.



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

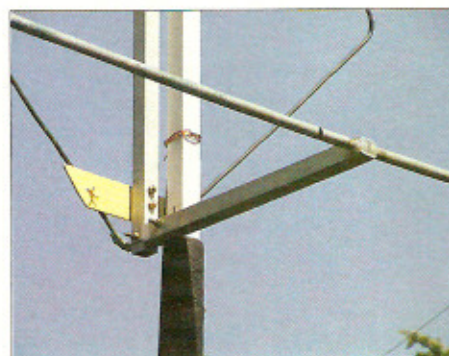


Bild 14: Reflektorbefestigung im am Ende U-förmig aufgeschlitzten Ausleger zur Vermeidung einer Kurzschlusswindung; zur Fixierung dient Heißkleber.

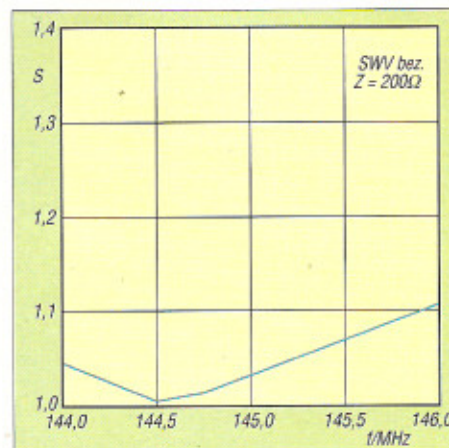


Bild 15: Verlauf des Stehwellenverhältnisses s der „Erweiterten DL7KM“, bezogen auf $Z = 200 \Omega$, in Abhängigkeit von der Frequenz

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 Fußpunktverstand von $Z = 200 \Omega$ bis hin zum SWV-Verlauf bestätigen 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 bestätigen 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_{H}	70° (70°)
vert. Öffnungswinkel α_{V}	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_{H} , α_{V} 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] Krischke, 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