Quadloop, Bisquare und DJ4VM-Loop- Einfache und effiziente Antennen für Kurzwelle

von Rolf Schick, DL3AO

Anmerkung: Der Artikel ist publiziert in der Zeitschrift „HB Radio“ des Schweizer Amateurfunkverbandes USKA, Heft 2/2016.

Anfang der 50’er Jahre des letzten Jahrhunderts erschienen auf den höheren KW-Bändern vermehrt Stationen mit beneidenswert starken Signalen. Auf Fragen danach hörte man: „To beam or not to beam that is the question!“. Die Amateure benutzten Drehrichtstrahler. Der in dieser Zeit günstiger werdende Bezug von Aluminiumrohren und Propeller-Pitch Motoren aus War-Surplus Beständen machten einen Selbstbau von „Rotary.Beams“ möglich. Eine Feldstärkezunahme von mehreren S-Stufen gegenüber den damals üblichen 40 m langen Zepp-Antennen quer über die Straße zum Nachbarhaus oder dem Dipol zwischen Bäumen im Garten wurde allgemein berichtet. Einwände von Kennern, auch Yagi-Antennen mit vier Elementen sind höchstens eine gute S-Stufe stärker als die einfache Drahtantenne, entsprachen offenbar nicht den Beobachtungen und wurden mit dem Argument abgeschmettert, der Beam habe halt eine „besonders flache Abstrahlung“. Zwei-oder dreielementige Quad-Antennen erhielten einen besonderen Mythos als unschlagbare Strahler für DX. So wurde in jedem an DX interessierten Amateur der Wunsch wach, zu dem „Club der Rotarier“ zu gehören! (Abb.1)

Abb. 1 . *QSL-Karte von Otto Disteli, HB9DQ, erhalten 1948. Otto in Ste. Croix (Vd) gehörte zu den wenigen Amateuren, die schon in dieser Zeit einen „Rotary Beam“ benutzten. Die QSL war Bestätigung für Hörberichte, die ich HB9DQ zu seinen wöchentlichen Aussendungen des USKA-Rundspruches sendete.*

Dieses Verlangen hat sich nicht geändert. Drehrichtstrahler gehören fast zur Grundausrüstung des DX’ers. Die Hindernisse zum Besitz liegen jedoch nicht mehr in der Materialbeschaffung und dem handwerklichen Können zum Selbstbau. Die heutigen Hürden sind einengende bauliche Vorschriften und der kurze Weg zur Grenze des, oft noch gegenüber „Strahlung“ misstrauischen, Nachbarn.

Gesucht sind deshalb Antennenformen, welche in Anwesenheit und Optik einen verträglichen Kompromiss zwischen nachbarschaftlicher Aktzeptanz und den Anforderungen eines an DX interessierten Amateurs darstellen.

Antennengewinne und Antennenverluste: Eine Bilanz

Warum ist mein Signal in Übersee so schwach? Der Weg zur Antwort führt über einige elementare Betrachtungen.

Die Leistung einer Antenne ergibt sich aus der Bilanz zwischen „Antennengewinn“ und „Antennenverlust“.

Die Abstrahlung elektromagnetischer Wellen beruht auf beschleunigten elektrische Ladungen. In unserem Fall sind es die Elektronen im hochfrequenten Antennenwechselstrom. Zur Berechnung der Abstrahlung werden die aus Drähten oder Rohren bestehenden Antennen zusammengesetzt aus kleinen Hertz’schen Dipolen der Länge Δl, in denen jeweils ein Strom I fließt. Die Feldstärke in einem im Fernfeld gelegenen Punkt P setzt sich aus der amplituden- und phasenrichtig aufsummierten Feldstärke dieser Elementardipole zusammen. Überlagern sich zwei Wellen mit gleicher Amplitude und gleicher Phase verdoppelt sich die Amplitude, bei entgegengesetzter Phase wird die Amplitude Null. Allgemein entsteht ein kompliziertes räumliches Feld von konstruktiven (verstärkenden) und destruktiven (abschwächenden) Interferenzen. Alle Abstrahldiagramme von Antennen setzen sich aus diesen Interferenzfeldern zusammen (Abb. 2)

$$\text{Abstrahlung} \sim \sum_{0}^{L} I*\Delta l$$

$$\rightarrow \int_{0}^{L} I*dl$$

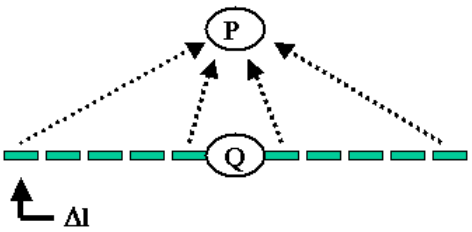

Abb. 2 *Aufsummation der Feldstärke im Fernfeldpunkt P erzeugt durch Elementardipole der Länge Δl und Stromstärke I.*

Da unsere Sendeantennen passive Bauelemente darstellen kann,was als „Gewinn“ bezeichnet wird, nur über die Direktivität der Antennen erfolgen. Als Bezugspunkt für diesen Richtungsgewinn wird allgemein ein „isotroper Strahler“ , d.h. ein infinitissimal kleiner Kugelstrahler angenommen. Die Richtungsgewinne liegen fuer einen Halbwellendipol bei 2.1 dBi, einen 2-Element Yagi bei 5-6 dBi und für einen 4-Element Yagi bei 10 dBi. Nur wenige Amateure werden auf Kurzwelle Antennen mit höheren Gewinnen besitzen. Bei gleicher Leistung müssten die durch verschiedenen Antennen bedingte Lautstärkeunterschiede also innerhalb weniger als 2 Stufen liegen. Dass dies nicht der Praxis entspricht, ist jedem KW-Amateur klar.

Die Abb. 3 zeigt in kartesischen Koordinaten die Abstrahlung eines Halbwellendipols in horizontaler Ebene im Freiraum (also ohne Einfluss der Erde) für den DX-relevanten Elevationsbereich 5-12 Grd. (Elevationswinkel = 90 Grd –Abstrahlwinkel, Koordinatensystem entspricht Abb. 7).

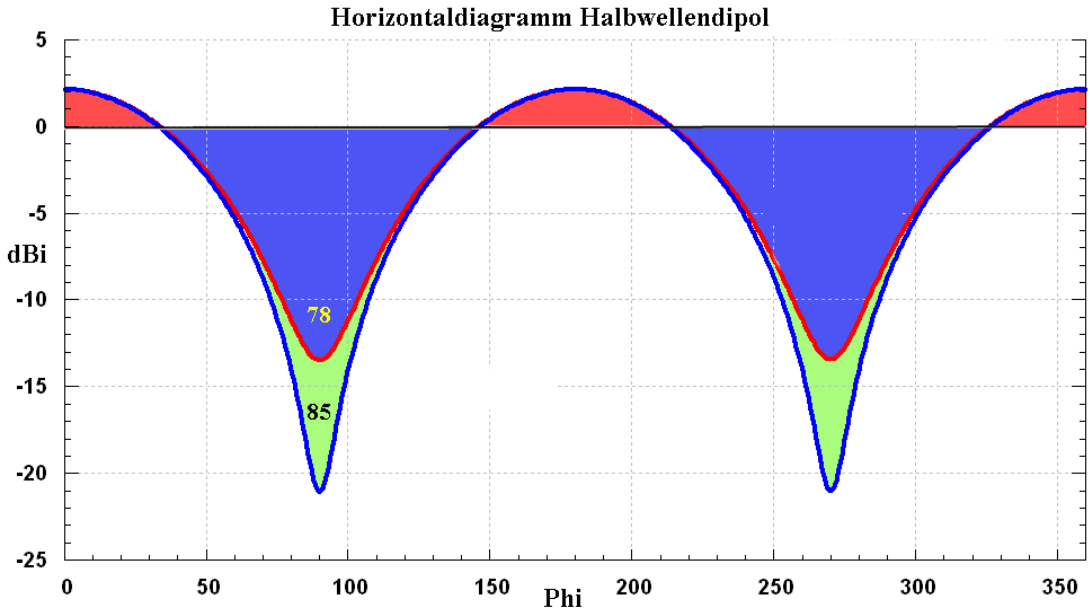

Abb. 3 *Azimutale Verteilung des Richtungsgewinns eines horizontalen Halbwellendipols (Für Abstrahlwinkel Θ= 78 Grd und φ=85 Grd)*

Der Richtungsgewinn eines Halbwellendipols beträgt 2.1 dBi. Der Feldstärkegewinn muss, wegen der Energieerhaltung, mit einer Abschwächung aus einem anderen Raumwinkelbereich verbunden sein. Die Abschwächung ist nicht mit Joule'schen oder Ohm'schen Verlusten zu verwechseln. Man spricht besser von einem negativen Richtungsgewinn.

Der Winkelbereich in Abb. 3 mit dBi>0, d.h. der Bereich mit „positivem Gewinn", erstreckt sich über einen Azimutwinkel von 130 Grd. Der Bereich mit „negativem Gewinn" (dBi<0) dagegen über 230 Grd ! Betrachtet man die Durchschnittswerte über diese Azimutwinkel, so erkauft man sich einen mittleren Gewinn von etwa 1 dBi mit einer mittleren Abschwächung von ca. 5 dBi.

Bei Antennenlängen >λ/2 macht sich die Aufspaltung von Signalverstärkung und Signalunterdrückung noch stärker bemerkbar. Abb. 4 zeigt als Beispiel die Abstrahlung einer G5RV Antenne für 21 Mhz.

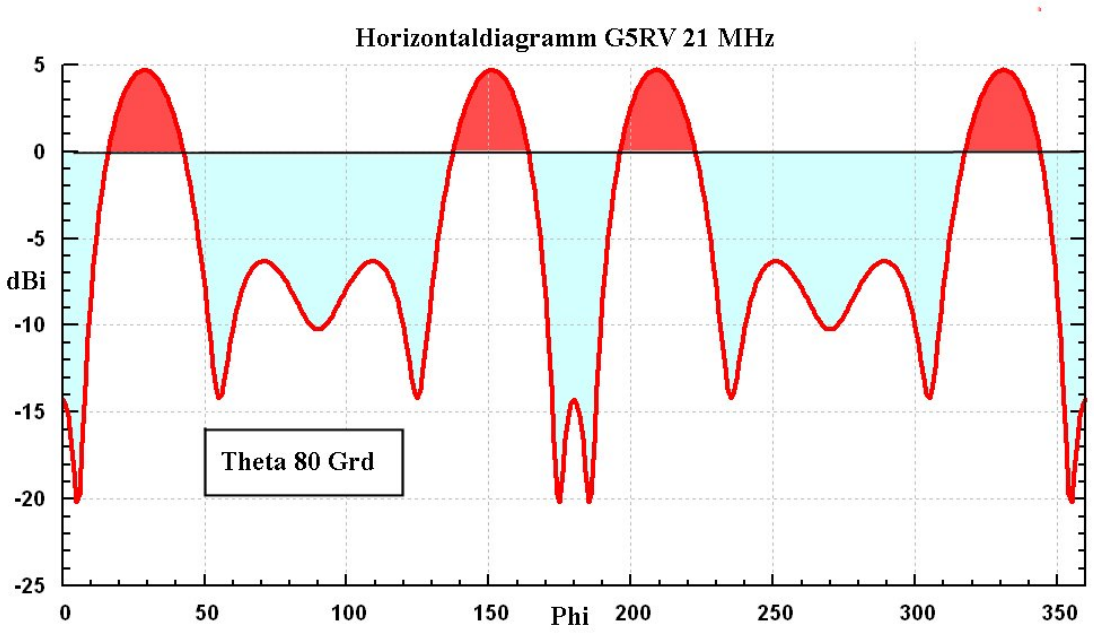

Abb. 4 . *Azimutale Verteilung des Richtungsgewinns einer G5RV- Antenne (Elevationswinkel 10 Grd, entsprechend Abstrahlwinkel $\Theta = 80$ Grd)*

Einer mittleren Feldstärkeerhöhung von ca. 2 dBi (maximal 5 dBi) über einem Azimutwinkel von 110 Grd steht eine mittlere Abschwächung von ca. – 4 dBi (maximum –20 dBi) über 250 Grd gegenüber.

Die Abb. 3,4 zeigen beispielhaft Flächenschnitte von Antennenfeldern im Freiraum. In Wirklichkeit tritt eine Kopplung zwischen Antennen und Erdboden auf. Das ungestörte Quellfeld überlagert sich mit dem Reflexionsfeld von den am Erdboden reflektierten Wellen. Ob in einem Punkt des resultierenden Feldes im Raum konstruktive oder destruktive Interferenz auftritt ergibt sich aus dem Wegunterschied zwischen dem direkten und dem am Erdboden reflektierten Strahl, sowie aus den Reflexionskoeffizienten im Bereich der Fresnelzone. Für flache Abstrahlwinkel kann der Reflexionspunkt weit außerhalb (100 m bis mehrere Kilometer) des Antennenbereichs liegen. Die Abb. 5 zeigt zur Orientierung für horizontal und vertikal orientierte Antennen und für einen tonigen Erdboden über den Elevationsbereich von 5-12 Grad gemittelte Feldstärkeänderungen in Abhängigkeit der Antennenhöhe. Abgesehen von Langyagis, ist die Kopplung zum Erdboden zwischen Yagi, Quad und einfachem Dipol vergleichbar. Für flache Abstrahlwinkel und horizontaler Polarisation ist die Abstrahlung weitgehend unabhängig von der elektrischen Beschaffenheit des Untergrundes. Ein Yagi oder Quad strahlt nicht flacher ab als ein Dipol, er kann nur Steilstrahlung unterdrücken. Für vertikale Polarisation sind die Bodenreflexionen wesentlich komplexer. Dies macht eine Einschätzung zur Effizienz von Vertikalantennen schwierig.

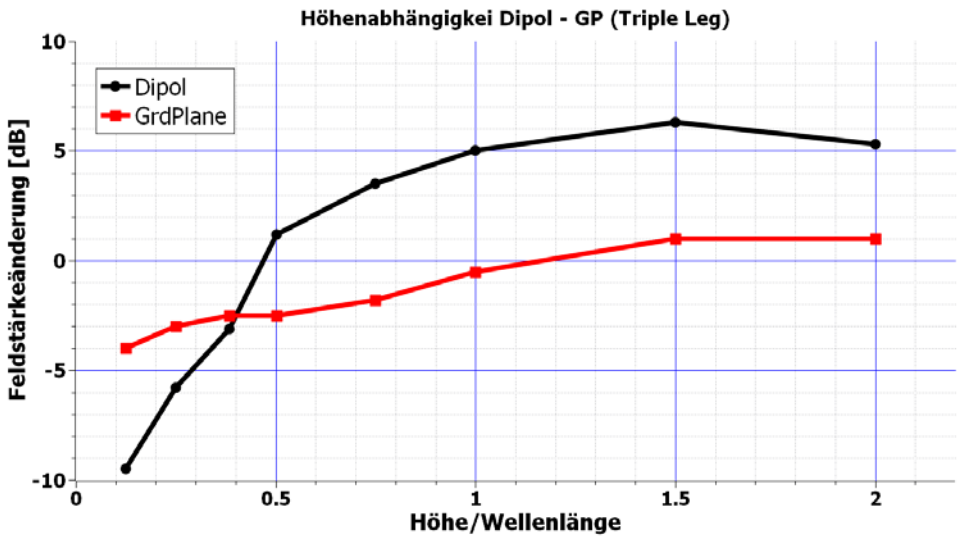

Abb 5. *Feldstärkeänderung in Abhängigkeit der Höhe für Dipol und GP, gemittelt über den Elevationswinkelbereichs 5-12 Grad. Erdbodenparameter entspricht mittleren elektrischen Eigenschaften*.

Betrachten wir in der Gewinn-Verlust Bilanz noch die Joule'schen oder Ohm'schen Verluste. Die Stromstärken in den Antennenleitern sind mit der Ausdehnung der Antenne verbunden (Abb. 2). Außer bei hochverstärkenden Richtantennen sind bei Antennenausdehnungen größer etwa einer halben Wellenlänge die Stromstärken so klein (bzw. die Strahlungswiderstände so groß), dass sich die Antenne aus dünnen (oder auch sehr dünnen) Drähten aufbauen läßt.
Unter dieser Voraussetzung halten sich auch die Anpassverluste, also die Verluste bei Transformation des Speisewiderstands der Antenne auf 50 Ohm, in engen Grenzen. Treten auf der Speiseleitung Stehwellenverhältnisse >2 -3 auf gilt dies auch bei Verwendung hochqualitativer Parallelleitungen („Hühnerleitern").
Für die Abstrahlung sind die niederohmigen, stromführenden Antennenelemente verantwortlich. Solange die Umgebung für die Wellen „durchsichtig" ist (z.B. Dachziegel aus Ton), sind die Antennenelemente weitgehend unempfindlich gegen eintretende Verluste. Ohne Spannung aber kein Strom. Die hochohmigen, spannungsführenden Antennenelemente sind vor allem wegen der kapazitiven Belastung zu Umweltobjekten verlustbehaftet. .

Nach diesen Ausführungen zu Gewinnen und Verlusten können wir die Suche nach einer unseren Verhältnissen und Wünschen angepassten Antenne beginnen:

O Die Antenne muss im Azimut drehbar sein. Ein selbst kleiner Richtungsgewinn wird so voll ausgenutzt und Interferenzlöcher vermieden.

O Bei der Gewinnoptimierung sind Gewicht und Größe der Antenne gegenüber ihrer maximal möglichen Bauhöhe abzuwägen. Eine einfache und im Gewicht leichtere Antenne kann über eine Installation in größerer Höhe vorteilhaft sein.

O Die Antenne soll ohne große Abgleicharbeiten montierbar sein und wenig Wartung benötigen.

O Eine Minimierung von Verlusten kann mehr zur Effizienz der Antenne beitragen als eine Optimierung auf Richtungsgewinne.

O Ein Speisewiderstand von 50 Ohm ist keine unabdingbare Forderung

Der vertikale Loop - ein Vorschlag zur Lösung

Die vorgestellte Antenne besteht aus einer vertikal aufgehängten Schleife (Loop) mit 22.40 m Umfang. Die Form des Loop ist quadratisch mit einer Seitenlänge von 5.60 m. Die quadratische Fläche stellt im Bau einen guten Kompromiss dar in der Forderung nach einer möglichst großen abstrahlenden Schleifenfläche bei vorgegebenem Umfang. Das gewählte Maß ergibt für die Bänder von 20 m bis 10 m eine günstige Abstrahlung. Eine Abweichung von dieser Länge um bis zu 50 cm ändert die hier beschriebenen Ergebnisse unwesentlich. Unter Berücksichtigung des Verhältnisses Umfang zu Wellenlänge sind die Resultate skalierbar auf andere Frequenzbereiche.

Die Beschreibung ist nach Geometrie und Speisung in drei Bauformen unterteilt: (Abb. 6):

--- Die Loop mit einem galvanisch geschlossenen Drahtumfang (geschlossene Loop oder Quadloop)
--- Die Loop mit einem gegenüber dem Speisepunkt unterbrochenen Drahtumfang (offene Loop oder Bisquare)
---- Die Loop nach dem DJ4VM Prinzip

Die zwei erstgenannten Loops können in einer Schleife zusammen gefasst werden.

Zusätzlich wird eine Loop in rechteckiger Form mit (6m vertikal und 3 m horizontal) beschrieben (Rechteckloop). Sie weist einen besonders kleinen Drehradius von 1.5 m auf.

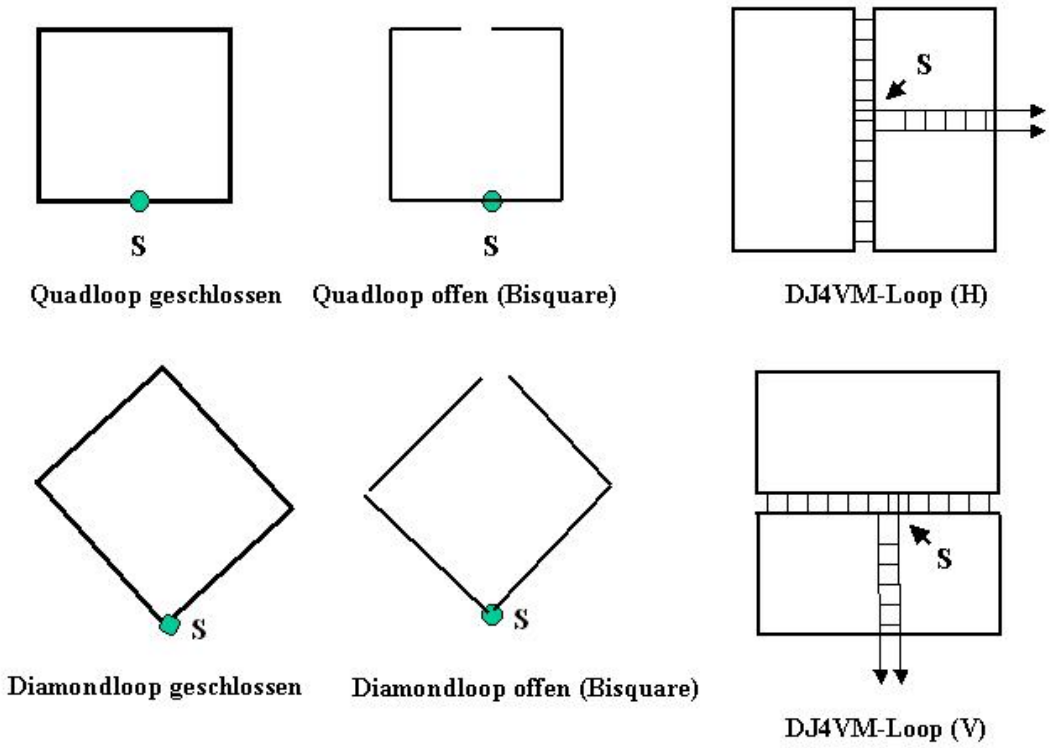

Abb. 6 *Geometrie und Speisung von Quadloop, Diamondloop und DJ4VM-Loop*

Elektrisch ist es unbedeutend, ob der Aufbau der Loop mit den Seiten parallel und senkrecht zum Erdboden oder um 45 Grad geneigt (Diamondloop) erfolgt.

Die Rechnungen zu Abstrahlung und Speiseimpedanzen erfolgten mit dem Simulationsprogramm 4NEC2 von Arie Voors. Ein Teil der Horizontaldiagramme wurde mit Hilfe geeichter Messempfänger durchgemessen.

Abb.7 zeigt das den Rechnungen und Messungen zu Grunde liegende kartesische und polare Koordinatensystem, zusammen mit den äußeren Abmessungen der Loop. Die Loop liegt in der Fläche YZ. Die Koordinate Z steht senkrecht zur Erdoberfläche. (Dies gilt virtuell auch für die Freiraumdiagramme). Für den Azimutwinkel $\varphi=0$ strahlt die Antenne senkrecht zur Loopebene. In Anlehnung an das Programm 4NEC2 entspricht $\Theta=0$ einer Abstrahlung senkrecht nach oben. Für die vertikale Abstrahlung einer Antenne wird im Text auch der für die Ausbreitung anschaulichere komplementäre Elevationswinkel Θ- 90 Grad verwendet..

Die Begriffe „Broadside“- und „Endfire“ beziehen sich auf die Abstrahlungen senkrecht (φ =0 Grd) und parallel (φ =90 Grd) zur Loopebene

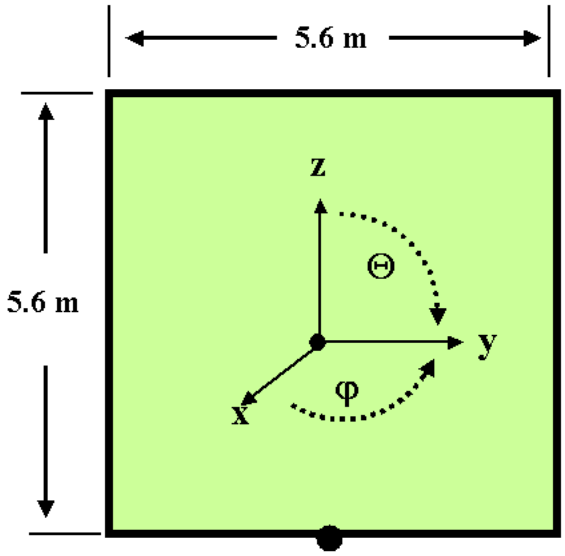

Abb. 7 *Abmessungen und Koordinatensystem*

Quadloop

In Abb.8 ist die totale Feldstärke [dBi] einer galvanisch geschlossenen Loop (Quadloop) für den Freiraum in Abhängigkeit der Raumwinkelkoordinaten φ und Θ dargestellt. Die „Totale Feldstärke“ ist eine Addition aus den Beträgen der horizontalen und vertikalen Polarisation.

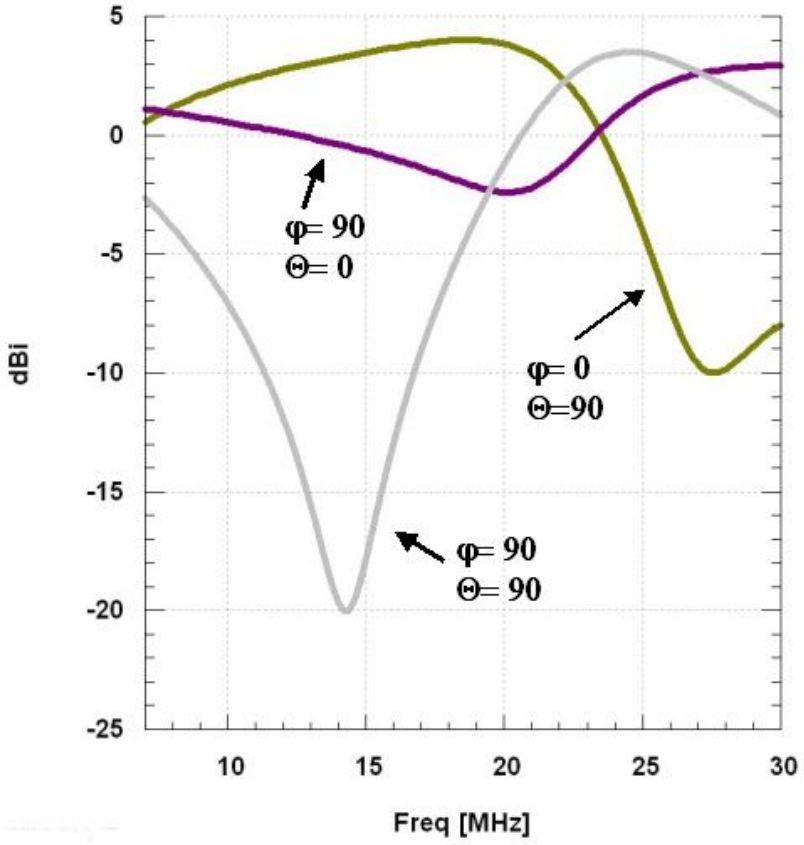

Abb. 8 *Maximaler Gewinn beim Quadloop [dBi] im Freiraum für die angegebenen Raumwinkel im Frequenzbereich 7-30 MHz.*

Die Flachstrahlung zeigt sich in den Kurven für Θ =90 Grd. Für φ=0 Grd (Broadside-Abstrahlung) beträgt der Gewinn 2.1 (3.2, 4, 3.5) dBi für die Bänder 10 (14,18,21) MHz. Der leichte Anstieg bis 20 MHz ist eine Folge der in Bezug auf die Wellenlänge erhöhten collinearen Wirkung der horizontalen Loopsegmente und ihrer größeren vertikalen Abstände (Stacking). Oberhalb von 21 MHz erfolgt eine Signalabschwächung für diese Raumwinkel. Bei 14 MHz addieren sich wegen der gleichsinnigen Stromverteilung die von den horizontalen Loopsegmenten senkrecht zur Loopebene abgestrahlten Felder (Broadside-Abstrahlung). In der Loopebene tritt eine Abschwächung auf. Die Abb. 9,10 zeigen Abstrahlung und Stromverteilung

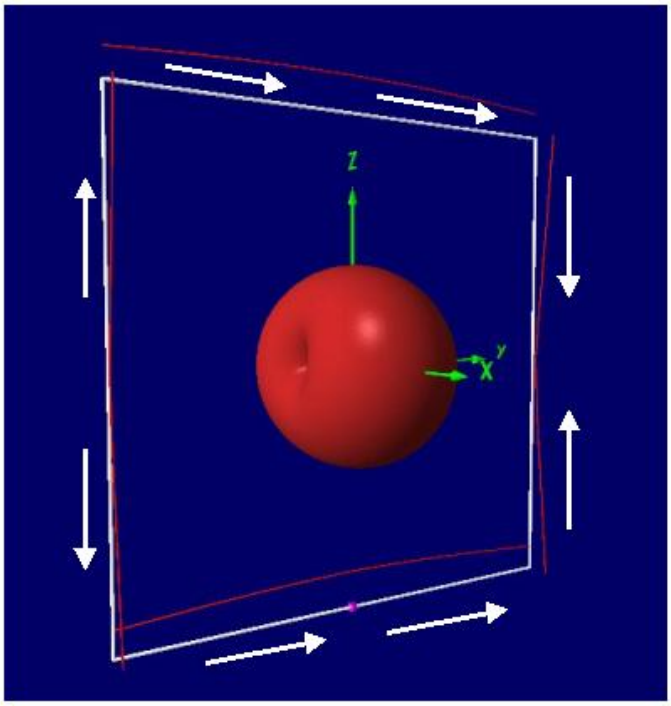

Abb. 9 *Verteilung der Stromrichtungen und Abstrahlung des Quadloop bei 14 MHz. Die Abstrahlung im Fernfeld entspricht weitgehend einem horizontalen Halbwellendipol.*

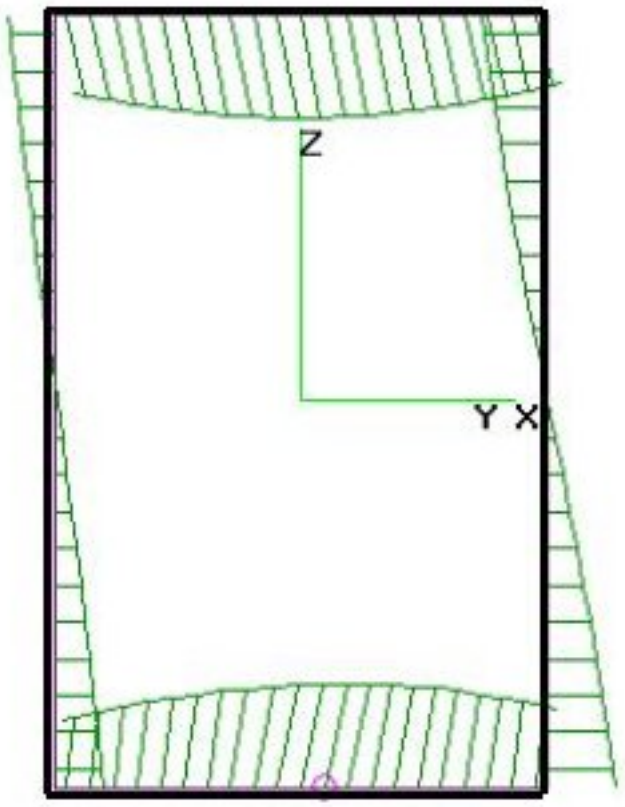

Abb.10 *Stromstärken und Stromphasen, Quadloop, 14 MHz.*

Die Abb. 11,12 zeigen Abstrahldiagramme in horizontaler und vertikaler Ebene im Freiraum bei 14 MHz.. Die Polarisation ist horizontal

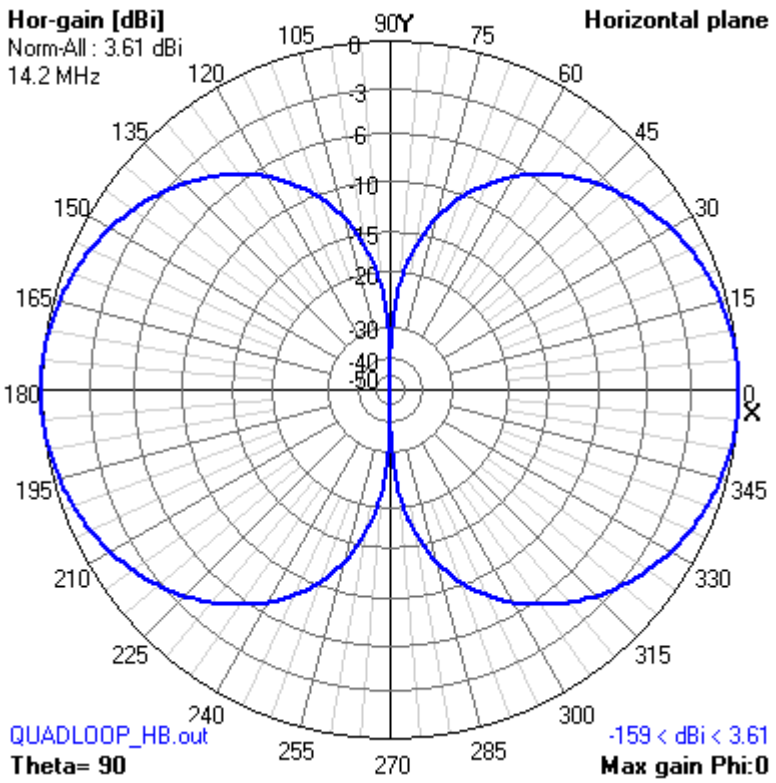

Abb. 11 *Horizontaldiagramm Quadloop, 14 MHz, Freiraum*

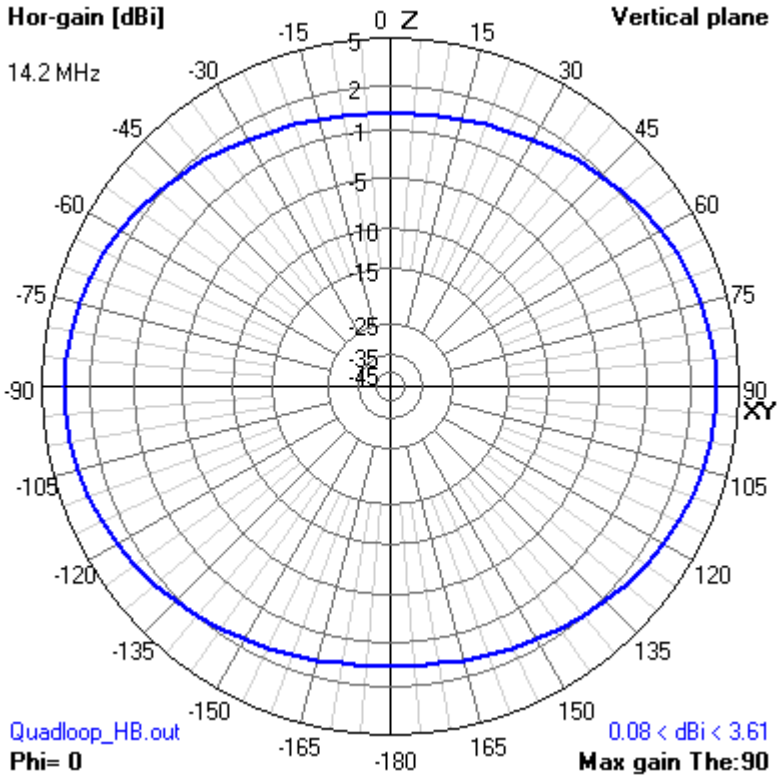

Abb. 12 *Vertikaldiagramm Quadloop, 14 MHz, Freiraum.*

Abb. 13 vergleicht das in Abb. 11 mit NEC (4NEC2) berechnete Abstrahldiagramm mit präzise vorgenommenen Messungen.. Aus Gründen der Anschaulichkeit für den Öffnungswinkel (80 Grd) wurde die Feldstärke (Spannung) linear aufgetragen. Die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung ist überzeugend. Die kleinen Abweichungen folgen vorwiegend Ungenauigkeiten bei der Azimutbestimmung über die Rotoranzeige.

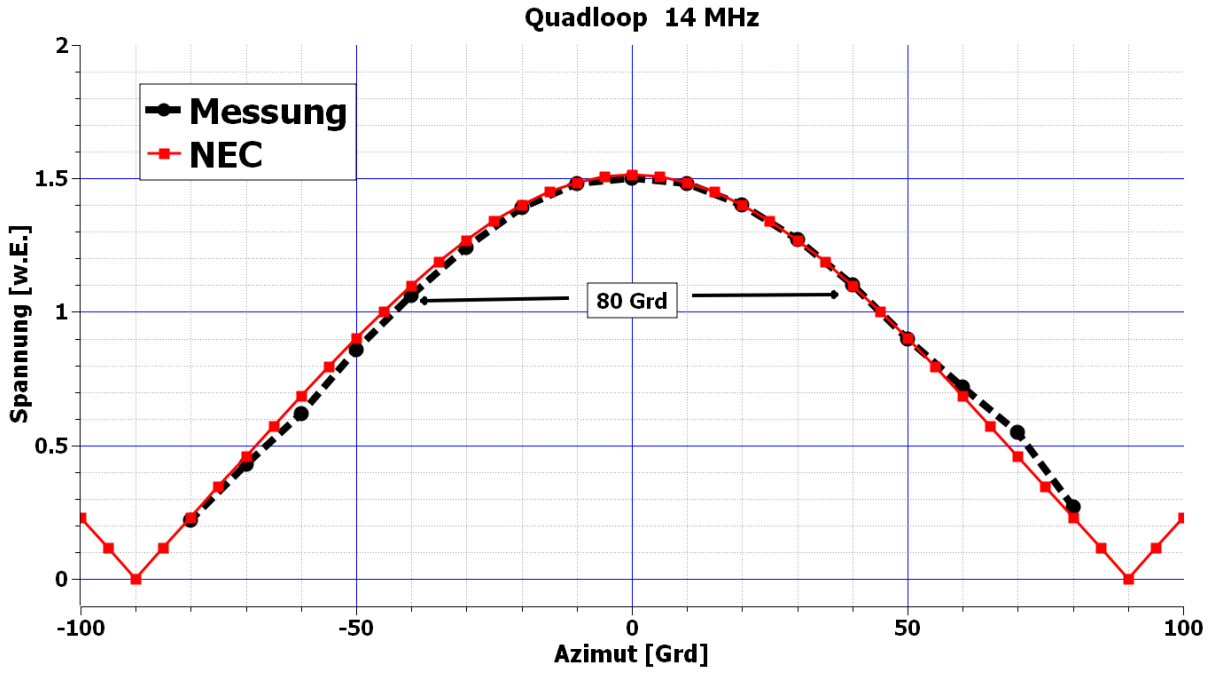

Abb. 13 *Vergleich des mit 4NEC2 berechneten horizontalen Abstrahldiagramms mit einer Messreihe. Quadloop 14 MHz. Die Messspannung ist linear aufgetragen (willkürliche Einheiten)*

Die bidirektionale Broadside-Abstrahlung erreicht bei 23 Mhz ihr Maximum mit einem Richtungsgewinn von 3.5 dBi. Für höhere Frequenzen führt die Stromverteilung auf den Segmenten der geschlossenen Loop zu einer komplexeren räumlichen Abstrahlung. Die Stromrichtungen auf den parallelen Loopsegmenten sind gegenläufig und führen zu dem in Abb. 14 dargestellten Interferenzfeld.

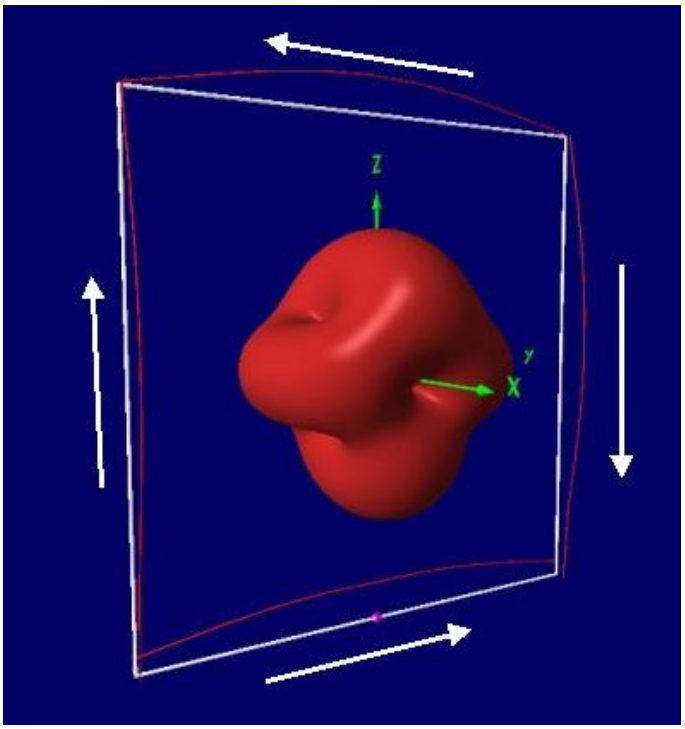

Abb. 14 *Stromrichtungen und Abstrahlung der Quadloop für 28 MHz*.

Die Abb.15,16 zeigen in zwei Flächenschnitten zu der dreidimensionalen Darstellung in Abb.14 die horizontal polarisierte Abstrahlung in einer horizontalen und einer vertikalen Ebene. Wie die Abb. 14 schon zeigt, treten die Abstrahlmaxima in den räumlichen Winkelhalbierenden mit kräftigen Amplituden in senkrechter Richtung auf.
Das Abstrahldiagramm kann für Verbindungen über sporadische E-Ionisation durchaus interessant sein

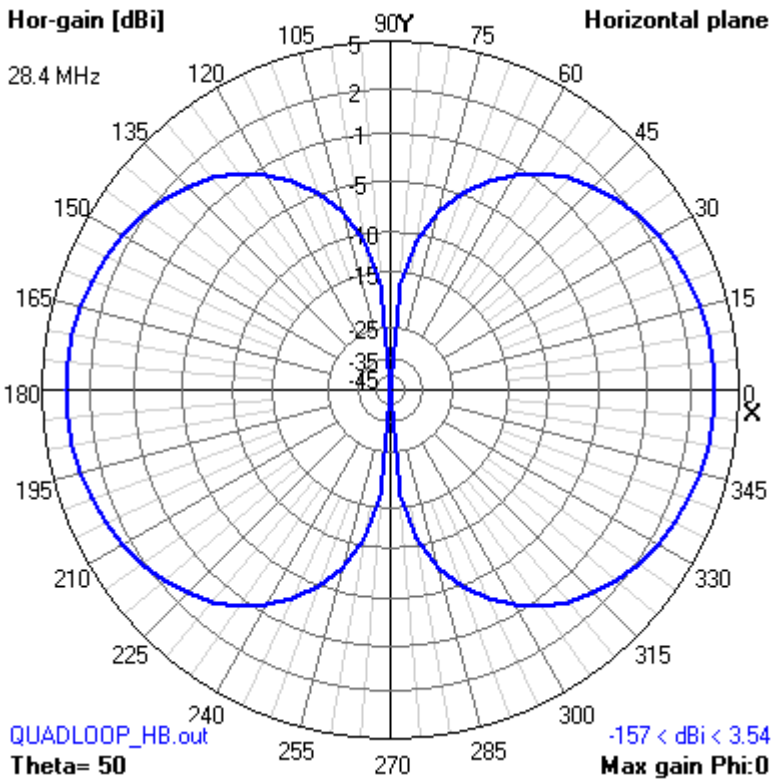

Abb. 15 *Horizontaldiagramm Quadloop, 28 MHz, Freiraum*

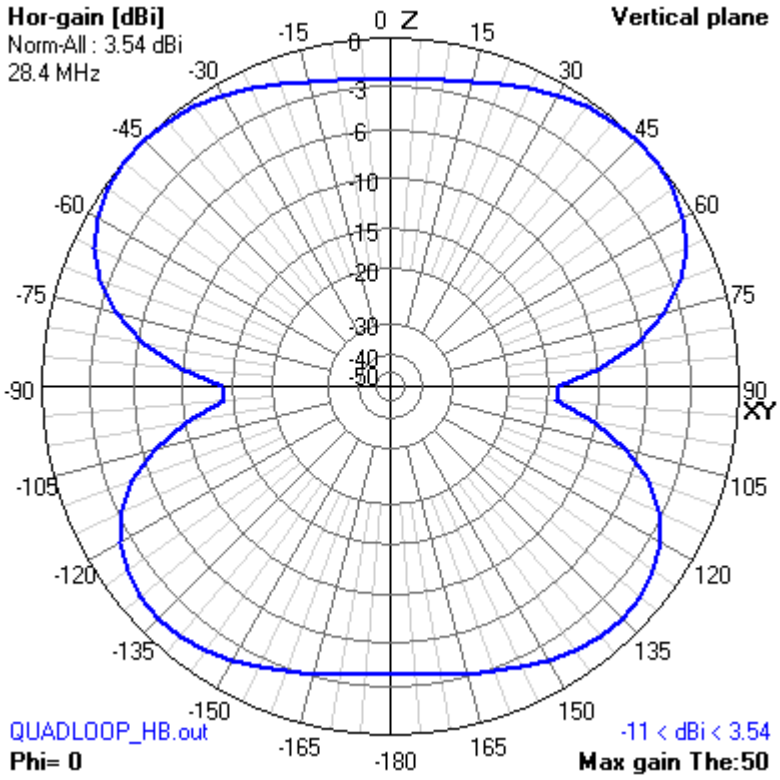

Abb.16 *Vertikaldiagramm Quadloop, 14 MHz, Freiraum*

Rechteckloop

Unter beengten Bauverhältnissen, und besonders wenn ein kleiner Drehradius erforderlich ist, lässt sich die quadratische Form der Antenne zu einem Rechteck („Oblong“) strecken.. Ein günstiges Seitenverhältnis von vertikaler zu horizontaler Seitenlänge ist 2:1. Durch den gegenüber der quadratischen Form kleineren Flächeninhalt wird die Antenne schmalbandiger. Der maximale Richtungsgewinn ändert sich jedoch kaum. Alle Loopantennen lassen sich als gestockte Dipole mit abgeknickten Elementenden darstellen. Beim Rechteckloop sind die abgeknickten und nichts zum Fernfeld beitragenden Elemente länger als beim quadratischen Loop. Doch das „stacking“ der horizontalen Segmente ist größer und trägt so zu einem kleinen plus in der Broadside Abstrahlung bei.

Die beschriebene Rechteckloop hat sich im Betrieb auf den Bändern von 20 m bis 10 m gut bewährt. Die vertikale Seitenlänge beträgt 6 m, die horizontale Seitenlänge 3m, was einen Drehradius von 1.5 m ergibt. Das Koordinatensystem entspricht Abb. 7.
Die Abb.17 zeigt für diese Dimensionen den Richtungsgewinn für die Broadside- und die Endfire- Abstrahlung im Frequenzbereich 14-30 MHz (Freiraum).

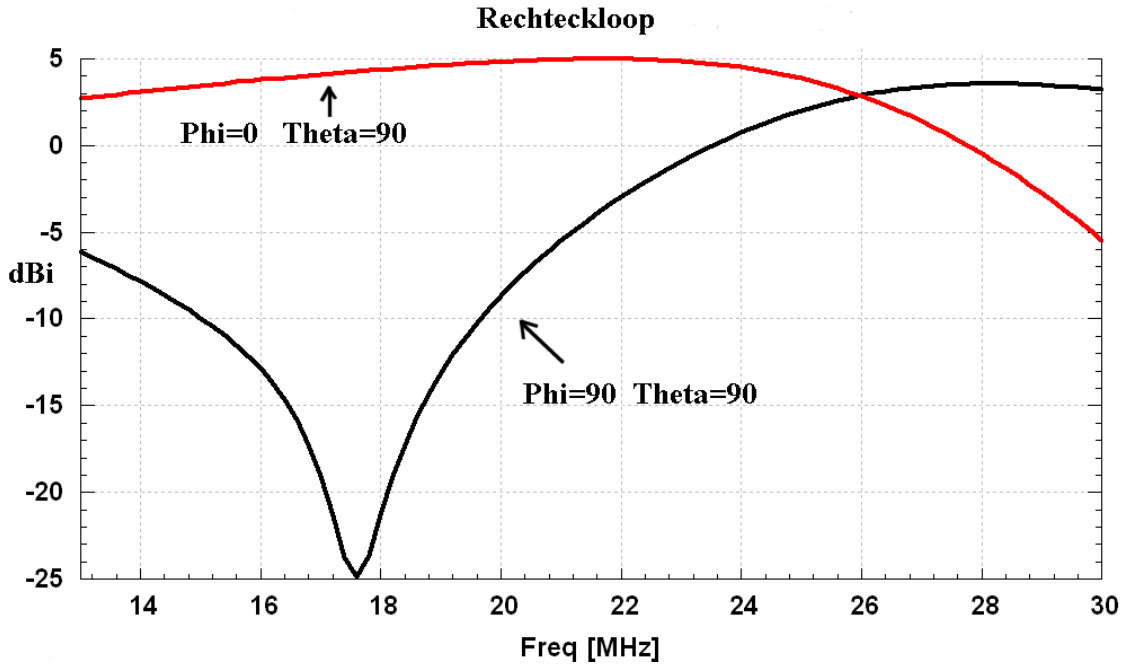

Abb. 17 *Richtungsgewinn in Broadside- (φ =0 Grd) und Endfire (φ =90 Grd) Abstrahlung für einen Rechteckloop unter Θ =90 Grd (Freiraum).*

Der Rechteckloop weist von 14 Mhz bis etwa 22 MHz einen von 3 dBi auf 5 dBi ansteigenden Gewinn bei horizontaler Polarisation auf. Das Abstrahlmaximum steht senkrecht zur Loopfläche (Broadside). Ab etwa 22 MHz verstärkt sich der Anteil der vertikalen Polarisation zu einem 3 dBi Maximum in Loopebene. (Endfire). Die Diagramme in den Abb. 18-21 zeigen diesen Übergang.

Abb. 22 vergleicht ein mit NEC für 14 MHz gerechnetes horizontales Abstrahldiagramm des Rechteckloop von DL1SEH mit Messwerten. Die Geometrie des Loop entspricht den genannten Abmessungen. Der Öffnungswinkel ergibt sich zu 80 Grd.

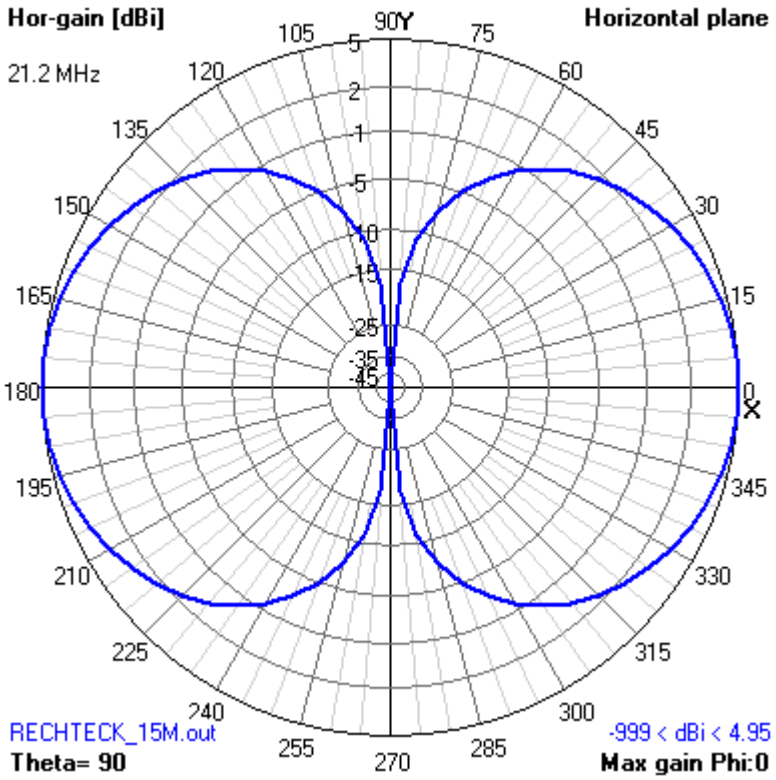

Abb. 18 *Horizontaldiagramm Rechteckloop, 21 MHz, Freiraum, horizontale Polarisation*

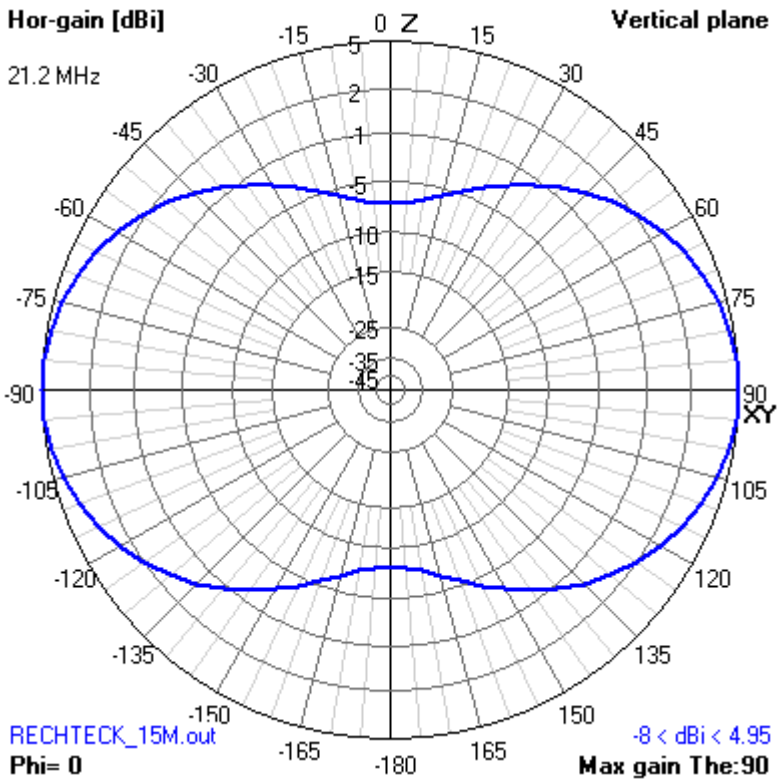

Abb. 19 *Vertikaldiagramm Rechteckloop, 21 MHz, Freiraum, horizontale Polarisation*

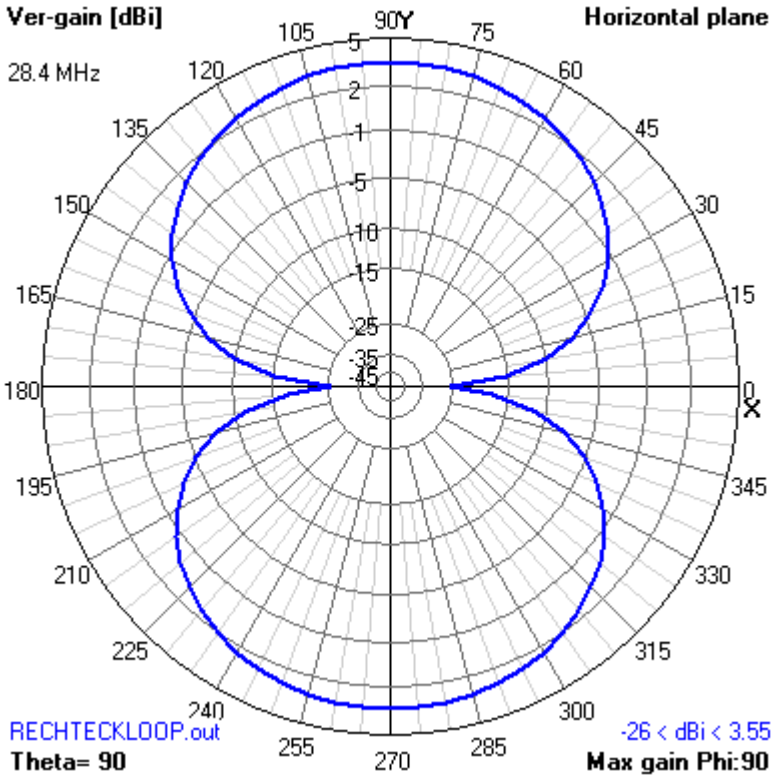

Abb. 20 *Horizontaldiagramm Rechteckloop, 28 MHz, Freiraum, vertikale Polarisation*

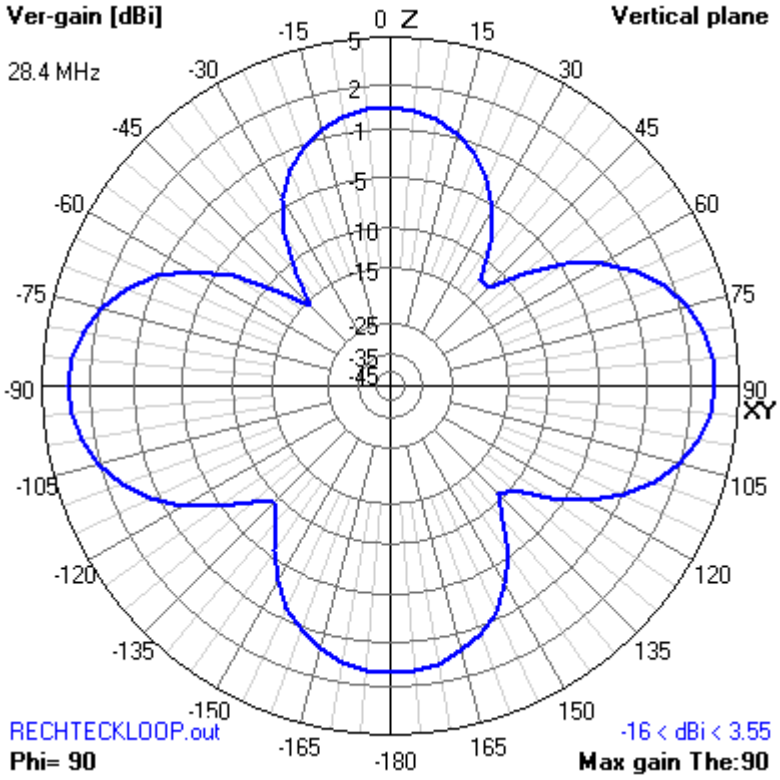

Abb. 21 *Vertikaldiagramm Rechteckloop, 28 MHz, Freiraum, vertikale Polarisation*

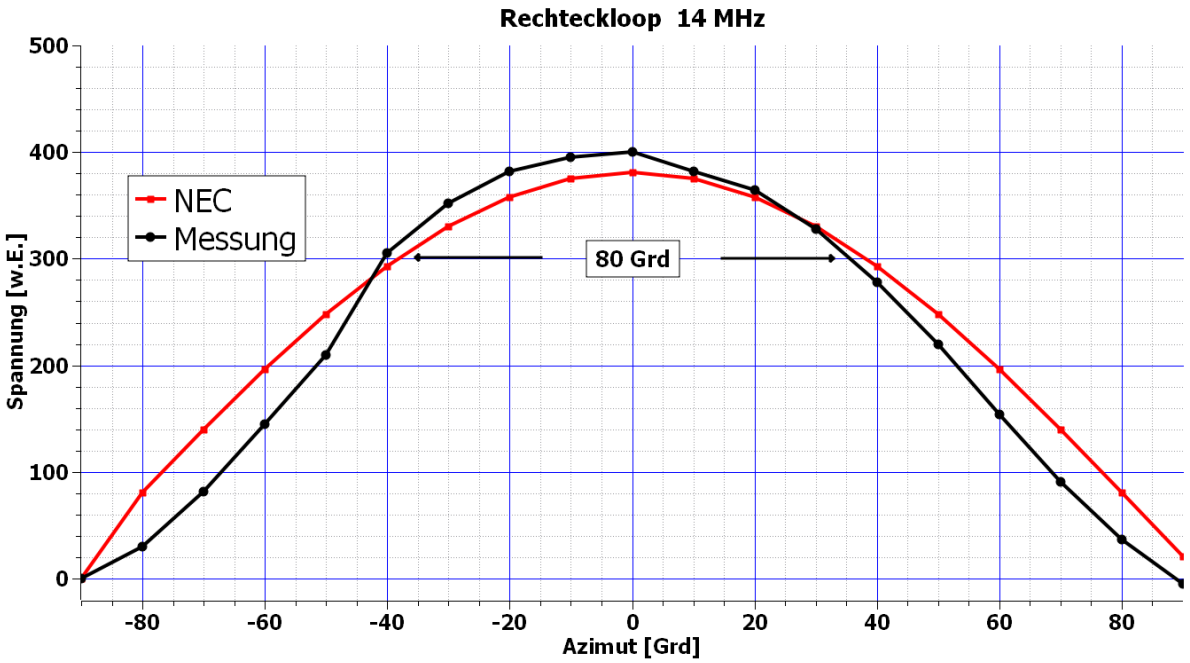

Abb. 22 *Vergleich der mit NEC gerechneten horizontalen Abstrahlung mit am Rechteckloop von DL1SEH vorgenommenen Messungen. Horizontale Polarisation, 14 MHz.*

Bisquare - Antenne

In den 30'er Jahren des letzten Jh. war die Bisquare Antenne populär. Sie wird noch im Antennenbuch der ARRL von 1956 als effektive Antenne speziell für die Bänder 20 m und 10 m erwähnt. Es handelt sich um eine quadratische, gegenüber dem Speisepunkt galvanisch unterbrochene Loop mit zwei Wellenlängen Umfang für das höhere Band. Die Konstruktion war einfach. Es genügte ein einzelner Mast, der zur Aufhängung von einem, oder zwei orthogonal zueinander stehender Bisquare Antennen diente (Abb. 23)

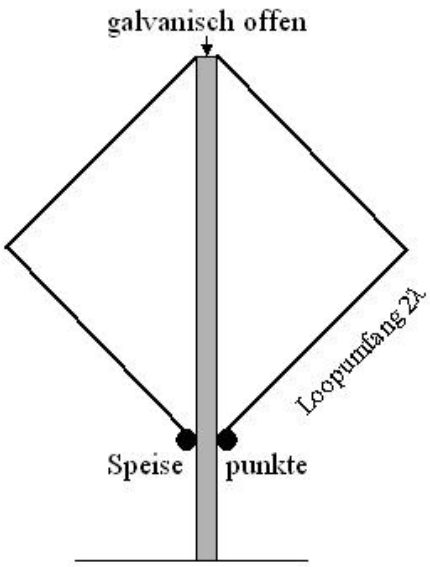

Abb. 23 *Die Bisquare Antenne.*

Es lag nahe, die Quadloop für die Bänder oberhalb von 15 m entsprechend der Bisquare zu öffnen. Die durch das Spannungsmaximum an der Unterbrechung erzwungenen Stromverteilungen auf den Loopsegmenten zeigt für 28 MHz die Abb. 24.

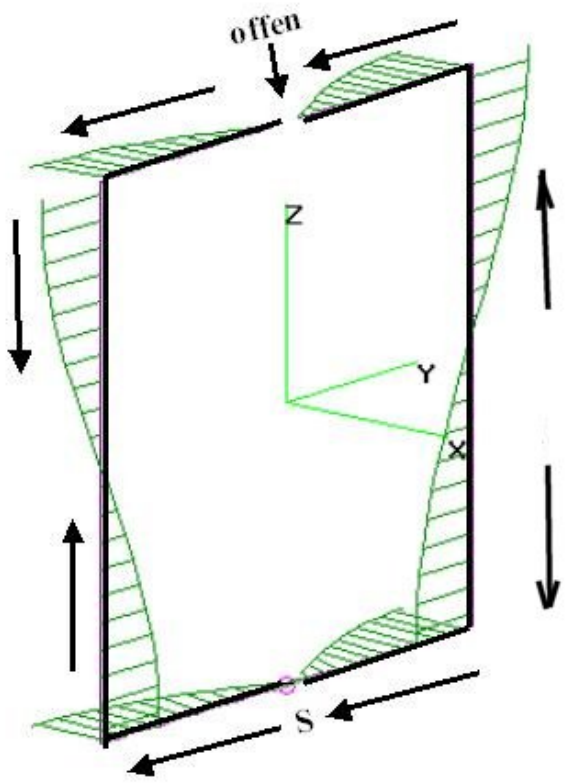

Abb.24 *Stromstärken und Stromphasenverteilung für Bisquare 28 MHz. Speisepunkt S*

Bei zwei Wellenlängen Umfang (28 MHz) sind die Ströme in den horizontalen Segmenten gleichsinnig gerichtet. Die horizontal polarisierten Signale addieren sich phasenrichtig in Punkten senkrecht zur Loopebene um ca. 3 dB.

Die Abb.25 zeigt für die Bisquare die totale Feldstärke für Flachstrahlung (Θ = 90 Grd) und für die Azimutwinkel φ = 0 Grd (Broadside) und φ = 90 Grd (Endfire). Für die Bänder 12 m und 10 m ergeben sich Gewinne von 5- 6 dBi bei horizontaler Polarisation senkrecht zur Loopebene. Die Abstrahldiagramme in horizontaler und vertikaler Ebene zeigen die Diagramme in Abb. 26,27

Die Abb. 28 vergleicht das für 28 MHz mit NEC berechnete horizontale Abstrahldiagramm mit an der Bisquare von DL3AO vorgenommenen Messungen. Wie beim Quadloop ist auch hier die Übereinstimmung sehr gut. Der Öffnungswinkel von 60 Grd entspricht einer 2-El. Yagi-Antenne.

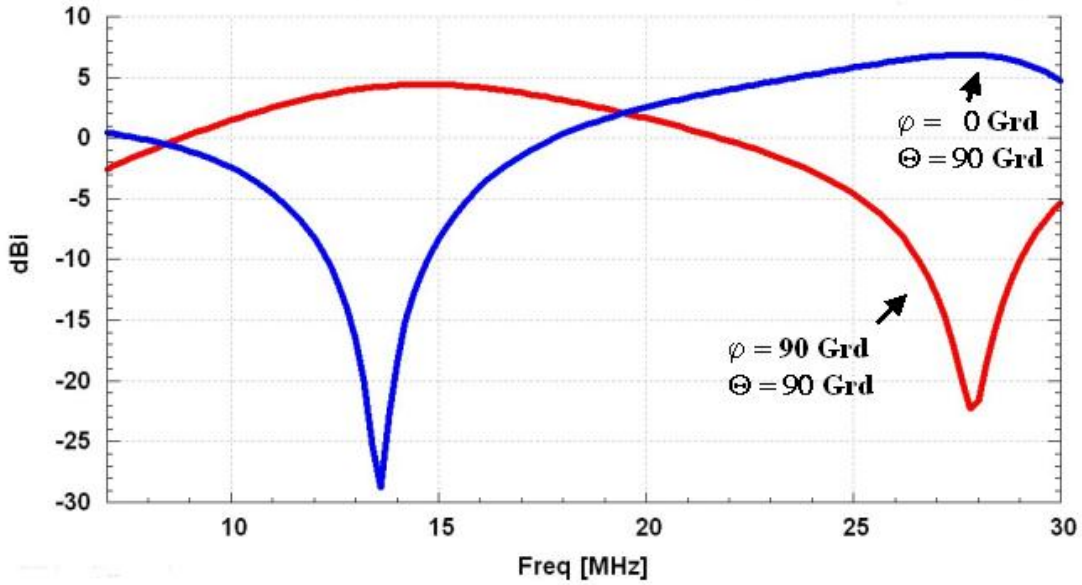

Abb. 25 *Totale Feldstärke [dBi] für die Bisquare im Frequenzbereich 10 bis 30 MHz - (Freiraum).*

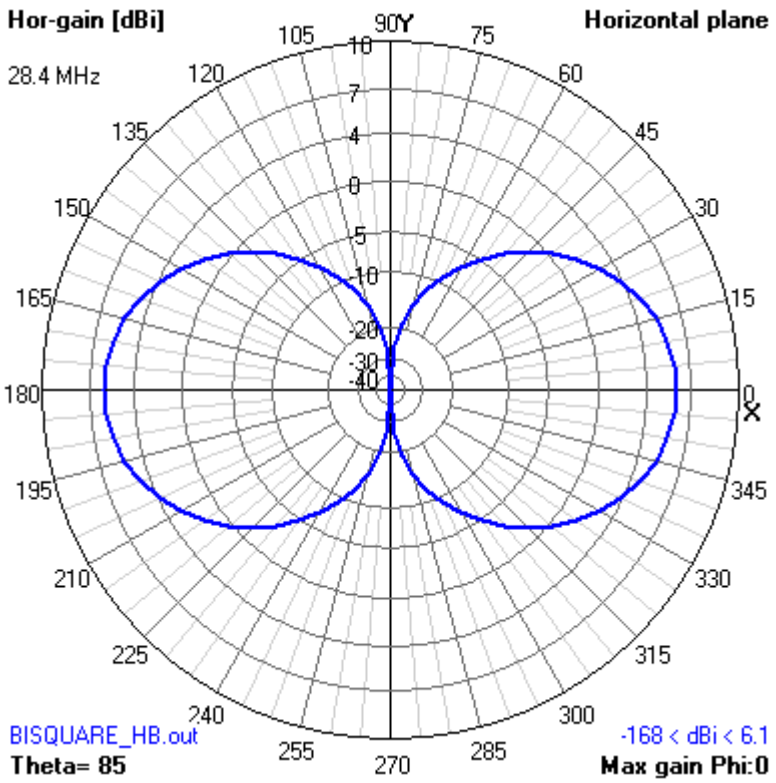

Abb. 26 *Horizontales Abstrahldiagramm Bisquare, 28 MHz, Freiraum*

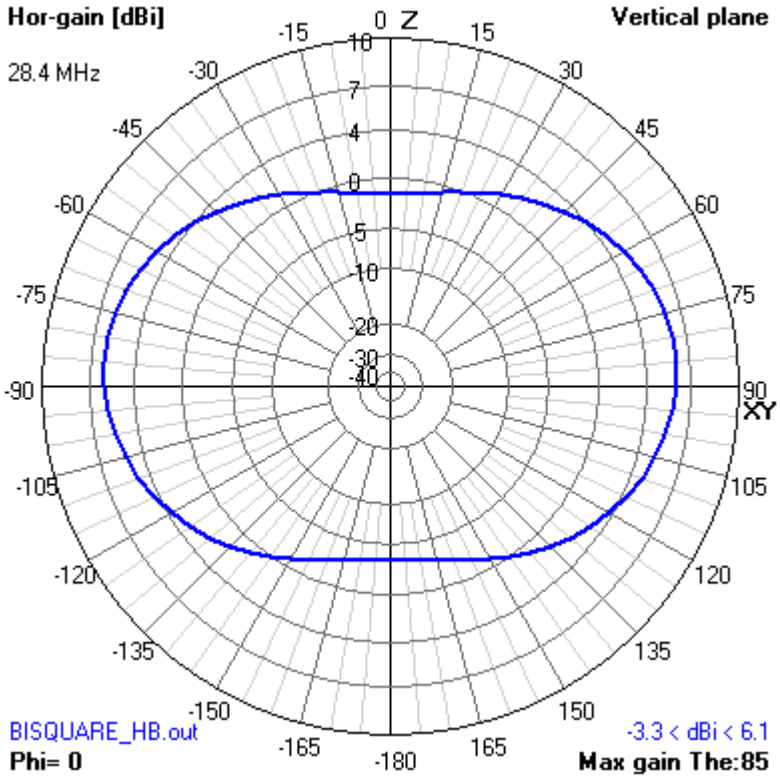

Abb. *27 Vertikales Abstrahldiagramm Bisquare, 28 MHz, Freiraum*

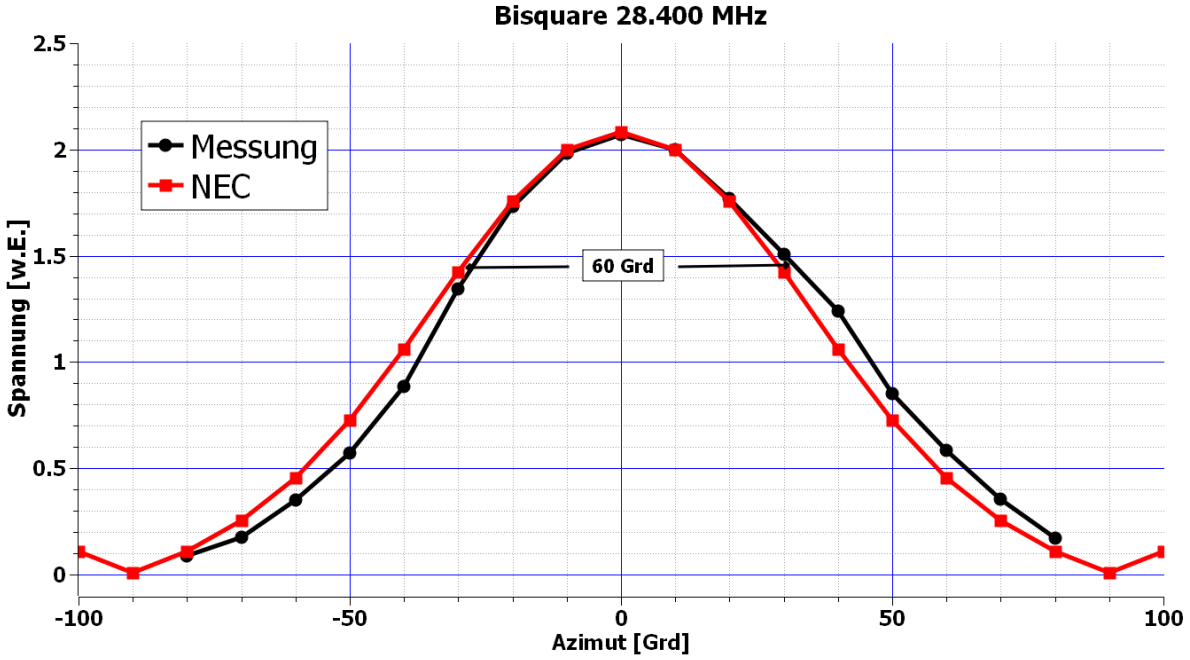

Abb. 28 *Vergleich des mit 4NEC2 berechneten horizontalen Abstrahldiagramms mit einer Messreihe. Bisquare DL3AO, 28 MHz. Die Messspannung ist linear aufgetragen (willkürliche Einheiten)*

Bei 14 MHz treten bei der Bisquare –Antenne in den übereinander liegenden horizontalen Segmenten gegengerichtete Ströme auf. Die Abstrahlung senkrecht zur Loopfläche wird unterdrückt. Die gegenphasigen Stromrichtungen in den vertikalen Loopsegmenten bei einem horizontalen Abstand von einer viertel Wellenlänge ergeben eine bidirektionale vertikal polarisierte Abstrahlung in Loopebene (Endfire). Das Maximum liegt bei 4 dBi. Die Abb. 29 zeigt die Strom- und Phasenverteilung entlang dem Loopumfang, die Abb. 30,31 die dazu gehörigen Abstrahldiagramme für den Freiraum.

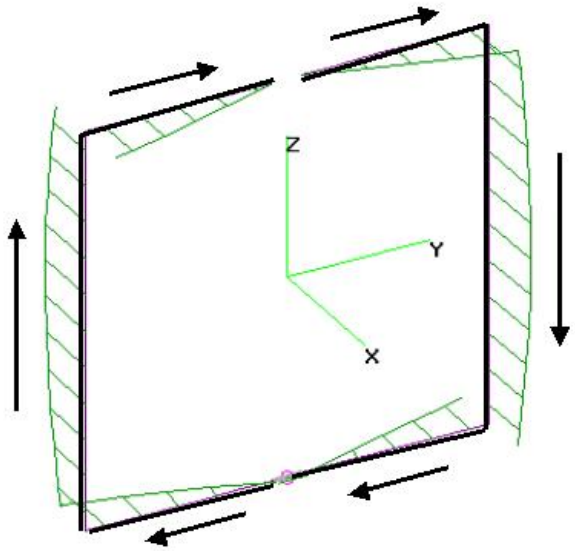

Abb. 29 *Stromstärken und Stromphasenverteilung für Bisquare 14 MHz*

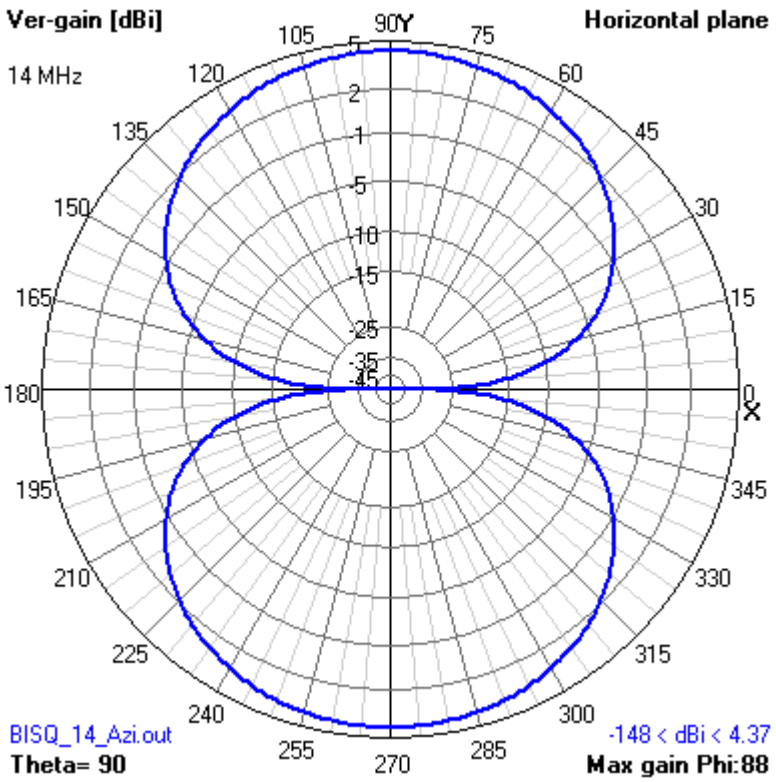

Abb. 30 *Horizontales Abstrahldiagramm, Bisquare, 14 MHz, ,vertikale Polarisation, Freiraum*

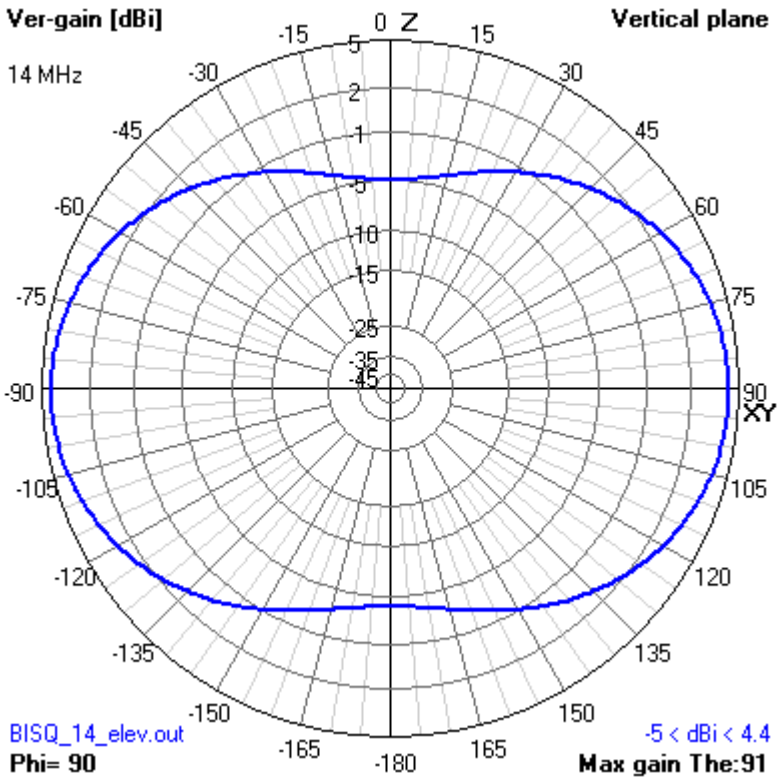

Abb. 31 *Vertikales Abstrahldiagramm, Bisquare, 14 MHz, vertikale Polarisation, Freiraum*

DJ4VM-Loop

Ähnlich der Bisquare Antenne war in den Zeiten teurer Aluminiumrohre und erzwungenem Selbstbau von Antennenrotoren die Lazy-H Antenne („Fauler Heinrich“) bei DX-Amateuren populär (Abb. 32). Mit dem fest aufgehängten Lazy-H war das Azimut in der Abstrahlung allerdings festgelegt.

.

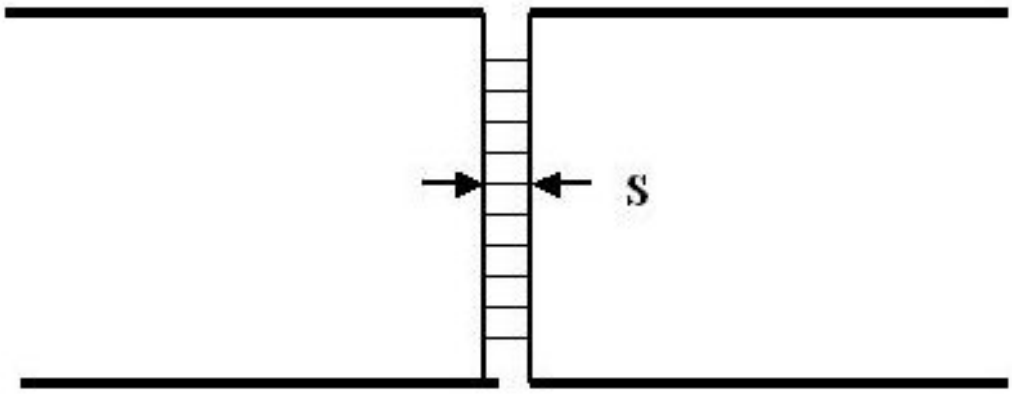

Abb.32 *Lazy-H Antenne. Bestehend aus zwei gestockten Dipolen. Speisepunkt bei S.*

Aus der Lazy-H entwickelte DJ4VM im Jahre 1969 durch Abknicken der Dipolenden die DJ4VM-Quad Antenne. Sie besteht aus einem Loop für den Strahler und aus einem identischen, parasitären oder aktiv gespeisten zweiten Loop als Direktor oder Reflektor. Die Speisung erfolgt über Netzwerke, welche Strom und Phasenlage in den zwei Loopscheiben vorgeben. Die Antenne kann als reiner Broadside- Strahler lückenlos einen Frequenzbereich mit dem Faktor zwei abdecken. Die DJ4VM-Quad wurde nach Erscheinen in Europa und Übersee erfolgreich eingesetzt, jedoch von den in den folgenden Jahren auf den Markt drängenden kommerziellen Yagis mit ihrer größeren baulichen Robustheit verdrängt. Bei Verwendung mit nur einer Loopscheibe ist das System aber durchaus einer Betrachtung wert.

Die Abb. 33,34 zeigen das Prinzip der DJ4VM-Loop in Form zum Boden paralleler und senkrechter Loopsegmente. Die DJ4VM- Loop ist, wie der Quadloop, gleichwertig in Diamondform aufzubauen.

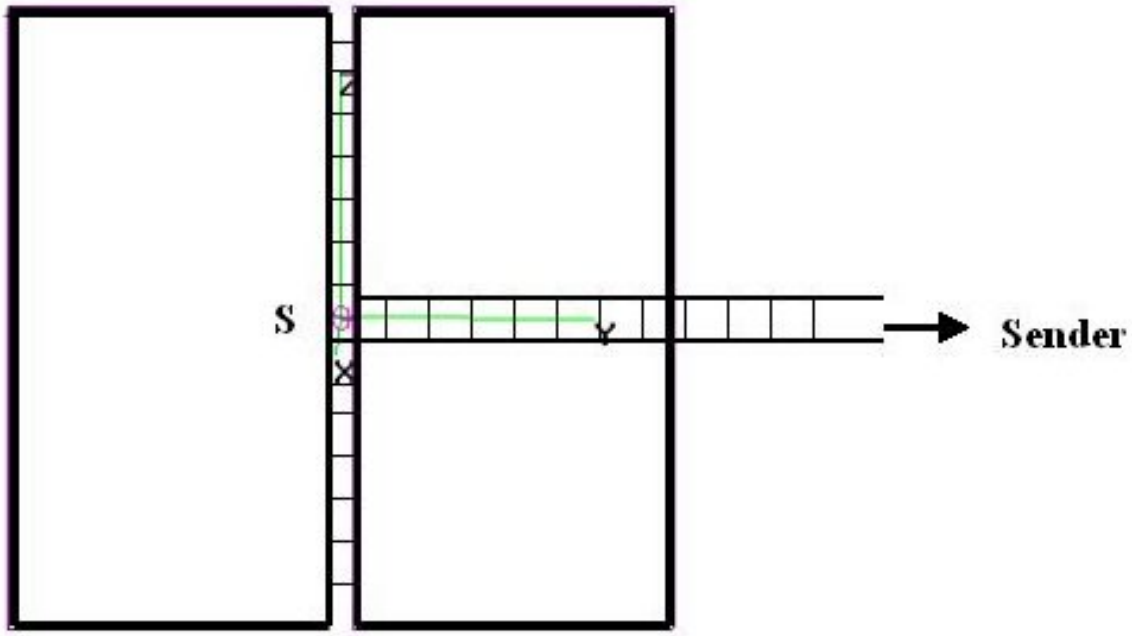

Abb. 33 *DJ4VM-Loop. Speisung ergibt horizontale Polarisation*

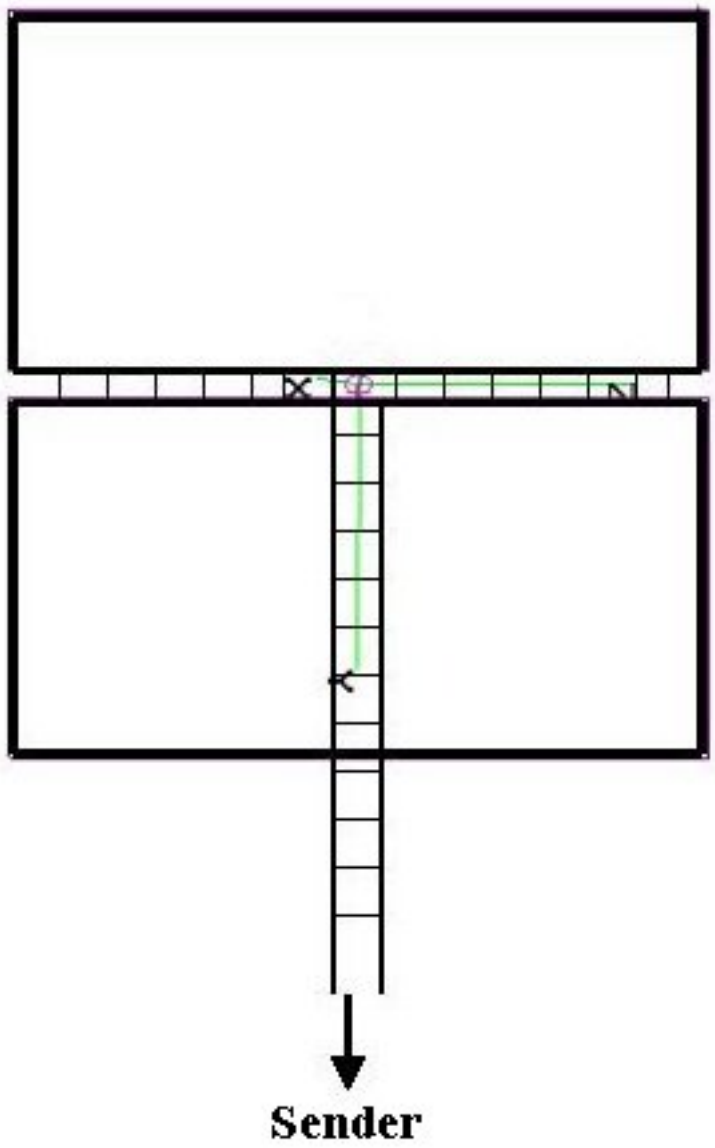

Abb. 34 *DJ4VM-Loop. Speisung ergibt vertikale Polarisation*

Die in Bezug zur Erdoberfläche unterschiedlich gerichtete Phasenleitung zur Elementspeisung ergibt in der Abstrahlung horizontale Polarisation (Abb. 33) oder vertikale Polarisation (Abb.34). Die zu den Loopsegmenten symmetrische, „zentrale“ Lage des Speisepunkts (sog. Zentralspeisung) erreicht über einen weiten Frequenzbereich eine unveränderte Stromverteilung mit vorwiegend horizontal polarisierter Broadside-Abstrahlung. (Abb. 35) In der Mitte der vertikalen Loopsegmente tritt ein Stromknoten auf. Infolge des räumlichen Abstandes der gegenphasigen Stromelemente entsteht eine geringe vertikal polarisierte

Endfire –Abstrahlung in Z-Richtung (φ =90 Grd, Θ = 0 Grd). Diese reduziert den Richtungsgewinn der Broadside-Abstrahlung um ca. 1 dB.

Die Abb. 36a-d zeigen Messwerte zur horizontalen Abstrahlung der DJ4VM-Loop am QTH von DL6JH. Die äußeren Abmessungen der Loop entsprechen Abb.7. Aufgetragen ist die Empfangsspannung in dB bei DL3AO in Abhängigkeit der Antennenrichtung. Die Messstrecke beträgt 8 km.
Abb. 36a vergleicht für 15m eine mit NEC berechnete Modellkurve mit Messwerten. Das Maximum entspricht dem geographischen Azimut zwischen DL6JH und DL3AO. Die Kurven zeigen eine sehr zufriedenstellende Übereinstimmung.
Die Diagramme in den Abb. 36b-d veranschaulichen die Änderung des Öffnungswinkels von 10 m bis 20m. Der Öffnungswinkel von etwa 85 Grd bei 20m verkleinert sich durch die collineare Richtungsbündelung auf 65 Grd bei 10 m.

Abb. 37 und Tab. 1 sind Zusammenstellungen der maximalen Abstrahlungen von Quadloop, Bisquare und DJ4VM-Loop im Freiraum.

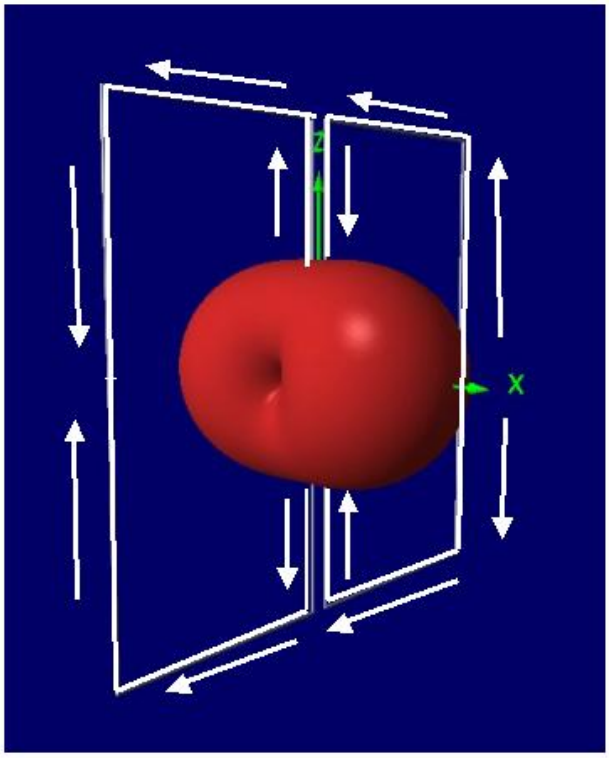

Abb. 35 *DJ4VM-Loop. Stromverteilung und Abstrahlung zwischen 14 MHz und 30 MHz.*

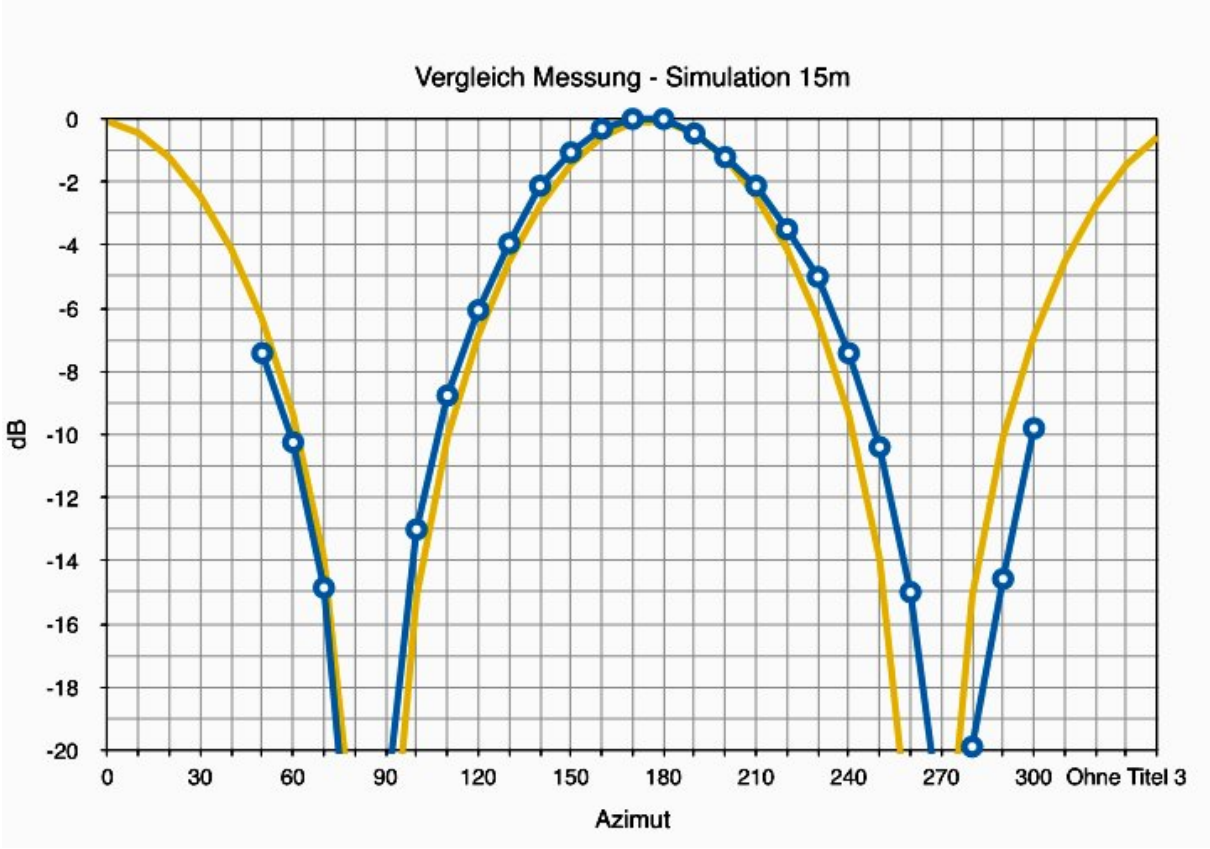

Abb. 36a *Vergleich einer mit NEC berechneten Modellkurve (durchgehende Kurve) mit gemittelten Messungen am DJ4VM-Loop, 21 MHz (Kurve mit Messpunkten) . Die Skalierung der vertikalen Achse ist in dB bezogen auf die Spannung. Der Öffnungswinkel (-3 dB) ergibt sich zu 80 Grd. (Abb. von DL6JH)*

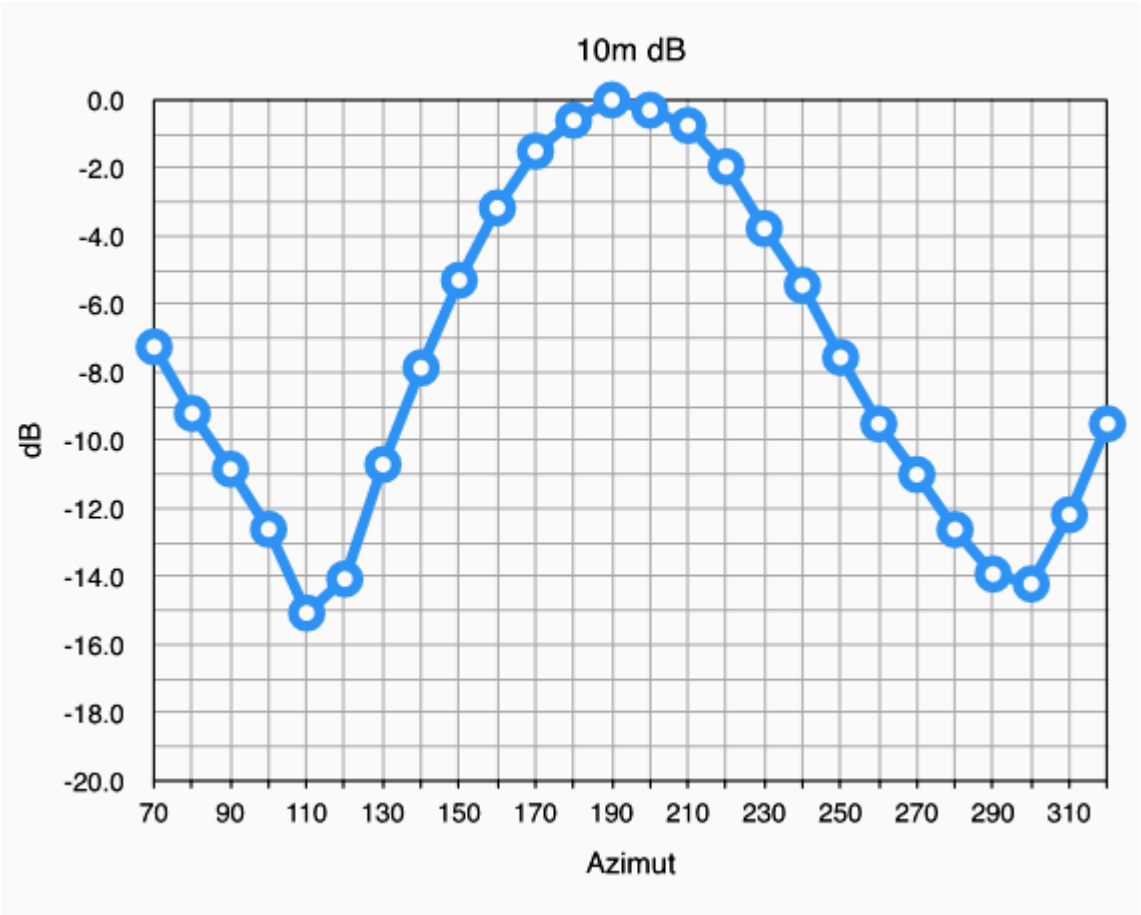

Abb. 36b. Messpunkte zur *Richtungsabhängikeit der Feldstärke [dB] der DJ4VM Loop für 10 m.*

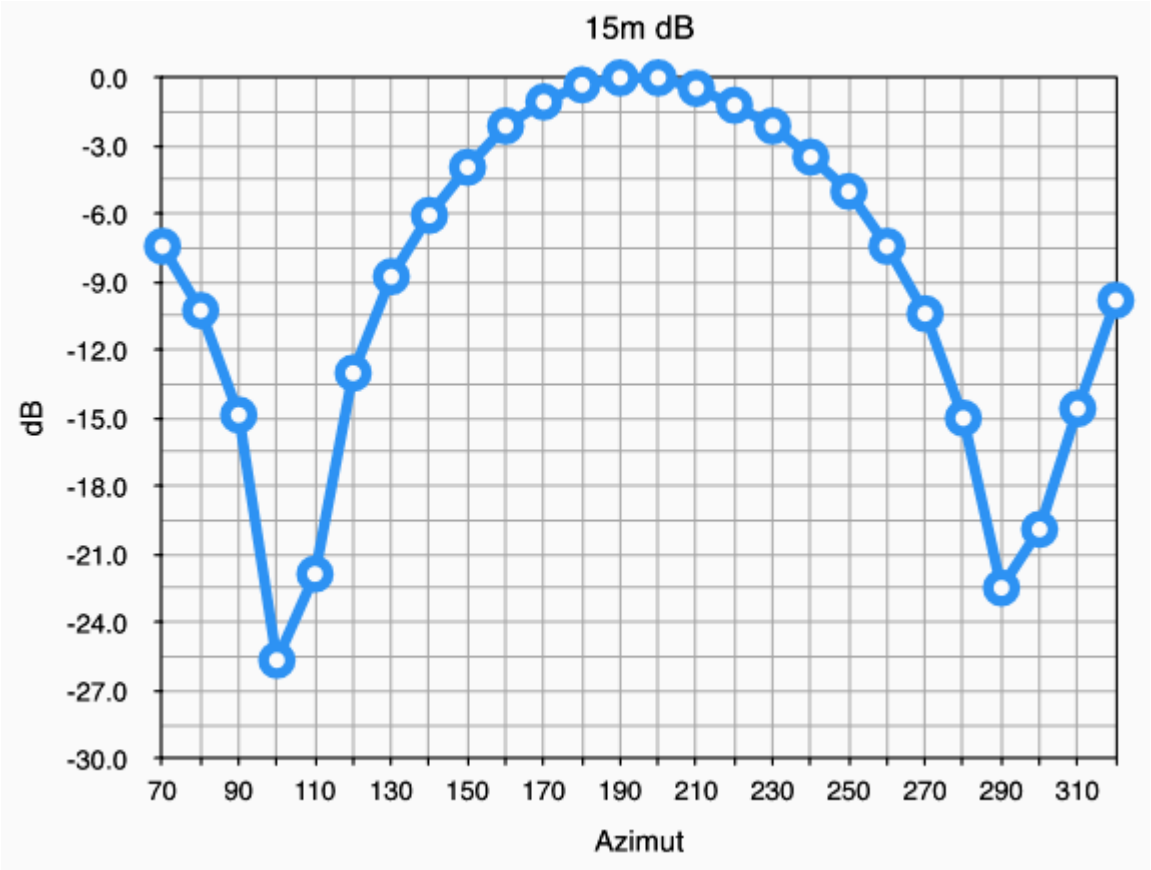

Abb. 36c Messpunkte zur *Richtungsabhängikeit der Feldstärke [dB] der DJ4VM Loop für 15 m.*

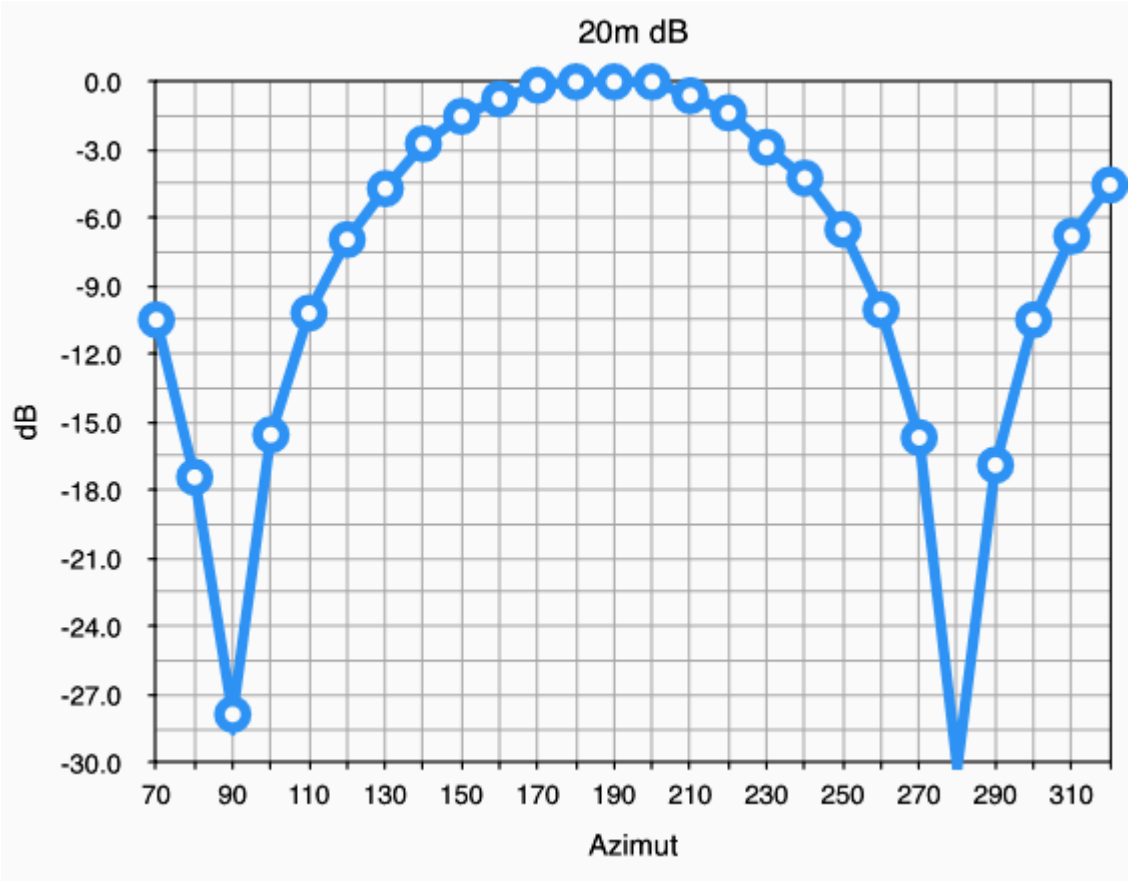

Abb. 36d Messpunkte zur *Richtungsabhängikeit der Feldstärke [dB] der DJ4VM Loop für 20 m.*

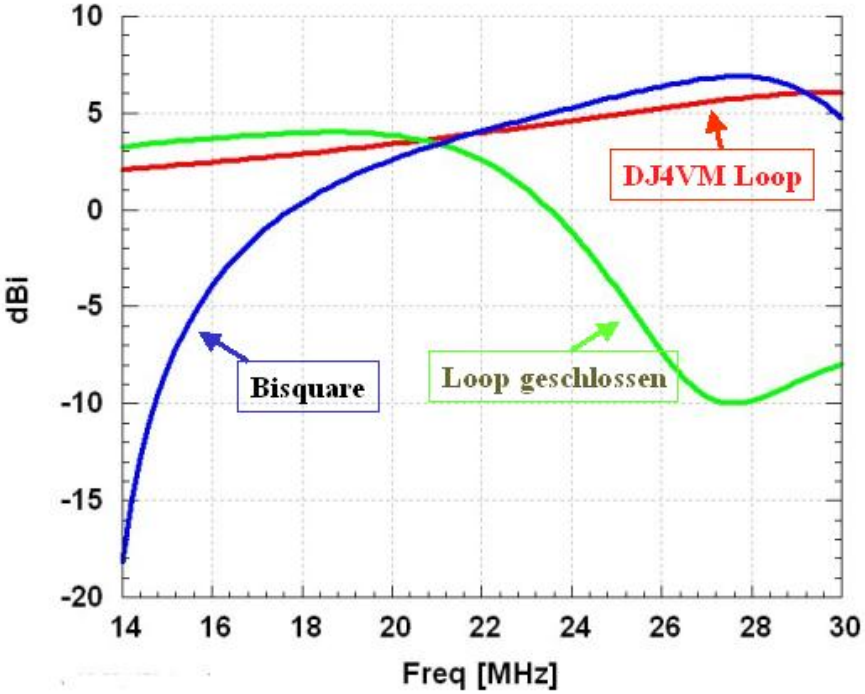

Abb.37 *Vergleich der Freiraumgewinne der Broadside- Abstrahlung für DJ4VM-Loop, geschlossene Loop (Quadloop) und offene Loop (Bisquare*).

Band	40m [dBi]	30m [dBi]	20m [dBi]	17m [dBi]	15m [dBi]	12m [dBi]	10m [dBi]
Quadloop	1.4	2.1	3.3	4	3.8		
Bisquare					3.6	6	6
DJ4VM-Loop		1.5	2.2	2.9	3.8	5	6

Tab. 1 *Maximale Freiraumgewinne für Quadloop, Bisquare und DJ4VM-Loop.*

Anpassung der Antenne an 50 Ohm

Eine oft gestellte Frage zu Antennen ist die nach dem „SWR“. Gemeint ist damit das Stehwellenverhältnis auf der Speiseleitung bei Verwendung eines 50 Ohm Koaxkabels. Ein SWR deutlich unter dem Wert zwei, welches sich wenig innerhalb eines Amateurfunkbandes ändert, wird als gut angesehen. Dies hat dazu geführt, dass manchmal in der Konstruktion von Antennen der Annäherung an einen reellen Speisewiderstand von 50 Ohm mehr Beachtung geschenkt wird als der Abstrahlungseffizienz der Antenne. Es ist ein Zugeständnis an die einfache Verlegung von Koaxkabel. Gegenüber Speiseleitungen aus Paralleldraht („Hühnerleiter“) können bei Koax und höherem SWR die Verluste jedoch stark ansteigen.

Der gegenüber Erde (oder Masse) symmetrische Speisewiderstand der beschriebenen Loops weicht auf allen Bändern deutlich von 50 Ohm ab. Real- und Imaginärteile sind jedoch in einem Wertebereich, in welchem mit herkömmlichen Abstimmgeräten die Impedanz verlustarm auf 50 Ohm transformierbar ist. Komfortabel zur Abstimmung sind symmetrisch aufgebaute, automatisch oder fernbedienbare Anpassgeräte. Normalerweise liegt zwischen dem Speisepunkt der Antenne und dem Anpassgerät eine Speiseleitung von baulich vorgegebener Länge. In einem der Witterung ausgesetzten Bereich ist die klassische „Hühnerleiter“ nahezu zwingend zu verwenden. Im Innenbereich ist für Leistungen bis etwa 500 W auch Wireman-Twinlead einsatzfähig. Falls durch ungünstige Eingangswiderstände am Leitungsende Transformationsschwierigkeiten mit dem Koppler auftreten hilft oft eine kleine Längenänderung der Speiseleitung. Es bleibt Versuchen überlassen, ob mit einem asymmetrisch aufgebauten Koppler eine genügende Symmetrie auf der Antenne zu erzielen ist. Baluns zur Übertragung von einer symmetrischen Speiseleitung zu einem asymmetrischen Kopplereingang sind wegen evtl. hoher Blindkomponenten in Strom und Spannung mit Vorsicht zu behandeln. In der Praxis ist es oft besser, auf der Koaxseite des Kopplers mit einer kräftigen Mantelwellensperre Symmetrie auf der Antennenseite zu erreichen. Mit einfachen Messmöglichkeiten kann die Symmetrie auf der „Hühnerleiter“ überprüft werden.

Ein gewisses konstruktives Problem tritt bei der Speisung der, vornehmlich verwendeten, DJ4VM-Loop mit horizontaler Polarisation auf. Wie Abb. 33 zeigt, trennt sich die Speiseleitung zu zwei in Loopebene liegenden Phasenleitungen, wobei die Speiseleitung senkrecht zur Loopebene weggehen soll. Da in der Praxis die Speiseleitung meist senkrecht

zum Speisepunkt der Antenne führt, müsste so die Speiseleitung bis zur Höhe des Speisepunkts in einem gewissen Abstand zum Loop geführt werden (z.B. 1m) , um dann horizontal den Speisepunkt zu erreichen. Die Konstruktion ist jedoch mit einem unerwünscht auf das Standrohr der Loop wirkenden mechanischen Drehmoment verbunden. DL6JH hat das Problem elegant gelöst, indem er den Teil der Phasenleitung unterhalb des Speisepunktes zusammen mit der Speiseleitung in einer Viererleitung, d.h. mit zwei senkrecht zueinander stehenden, offenen Parallelleitungen, nach unten wegführt. (Abb. 44). Die im Handel erhältlichen Feederspreizer haben häufig eine Bohrung in der Mitte, so dass mit zwei orthogonal zusammengeschraubten Spreizern eine Viererleitung einfach zu bauen ist. Anfängliche Bedenken über unerwünschte Kopplungen zwischen Phasenleitung und Speiseleitung haben sich, den guten Messergebnissen zu Folge (Abb. 36a-d), nicht bestätigt.

Die Loops im Aufbau.

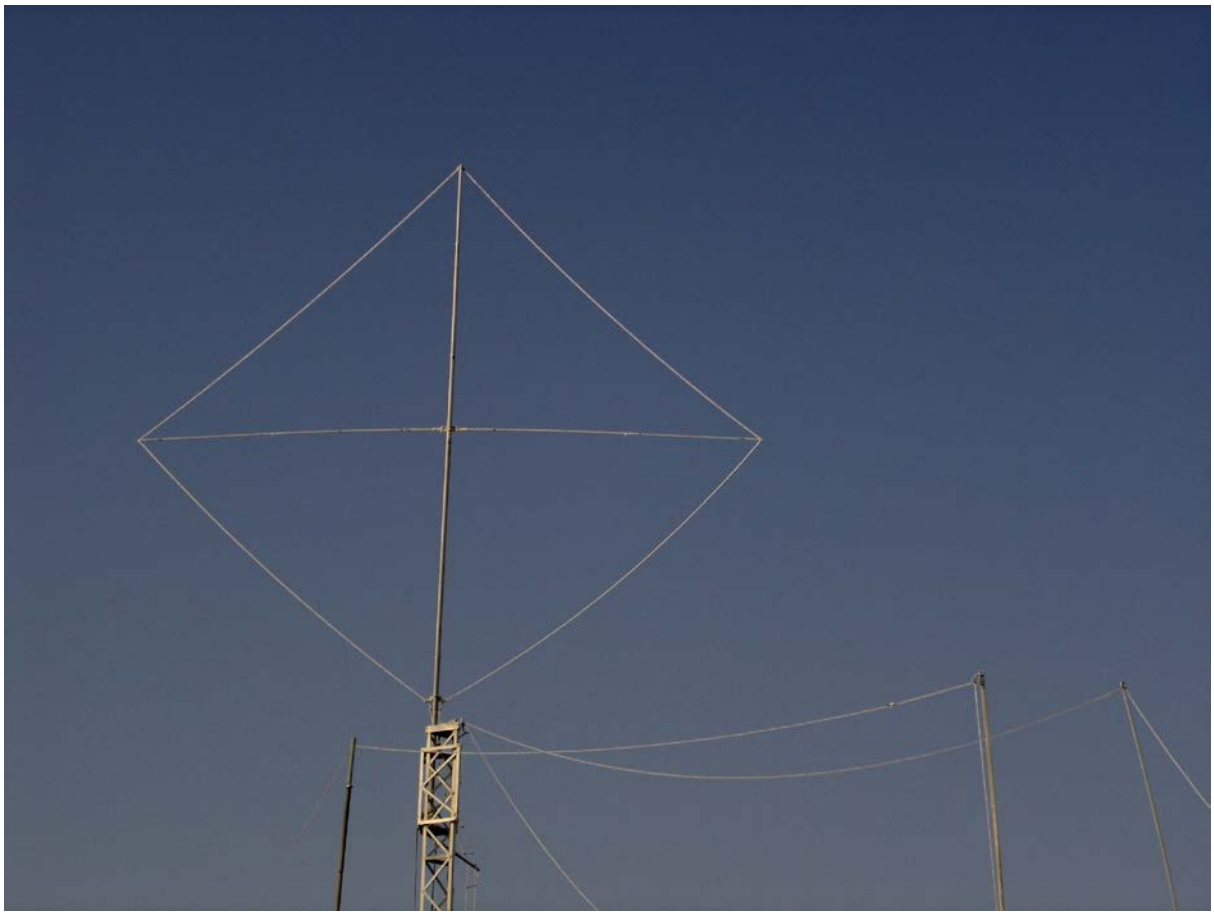

Abb.38 *Quadloop bei DL3AO*

Abb. 39 *Auf Bisquare umschaltbare Quadloop bei DL3AO*

Abb. 40 *Rechteckloop bei DL1SEH (Bild DL1SEH)*

Abb. 41 *DL3AO beim Portabelbetrieb, Loopumfang 15 m.*

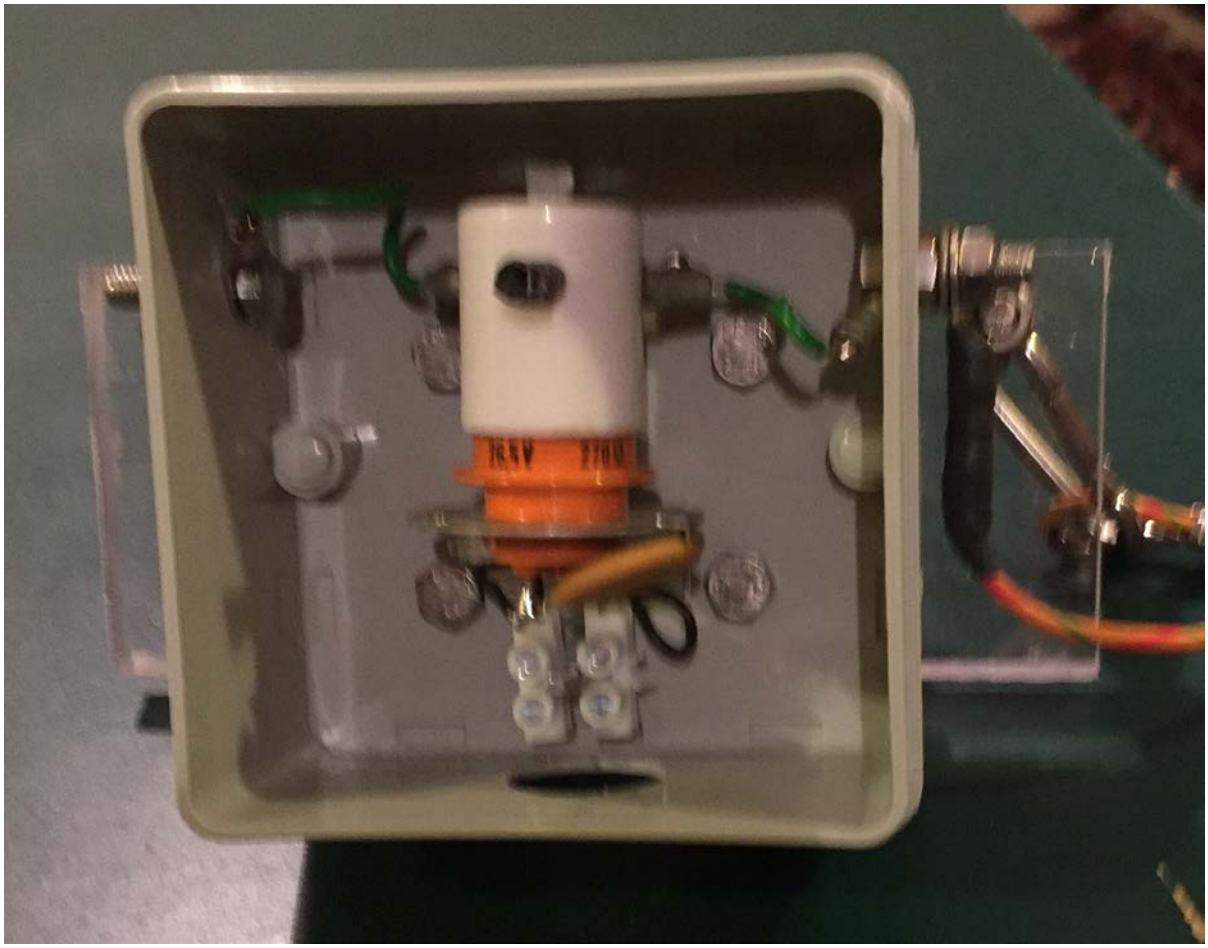

Abb. 42 *Relaisbox mit Vakuumrelais zum Öffnen der Loopschleife*

Abb. 43 *DJ4VM-Loop bei DL6JH (Foto DL6JH)*

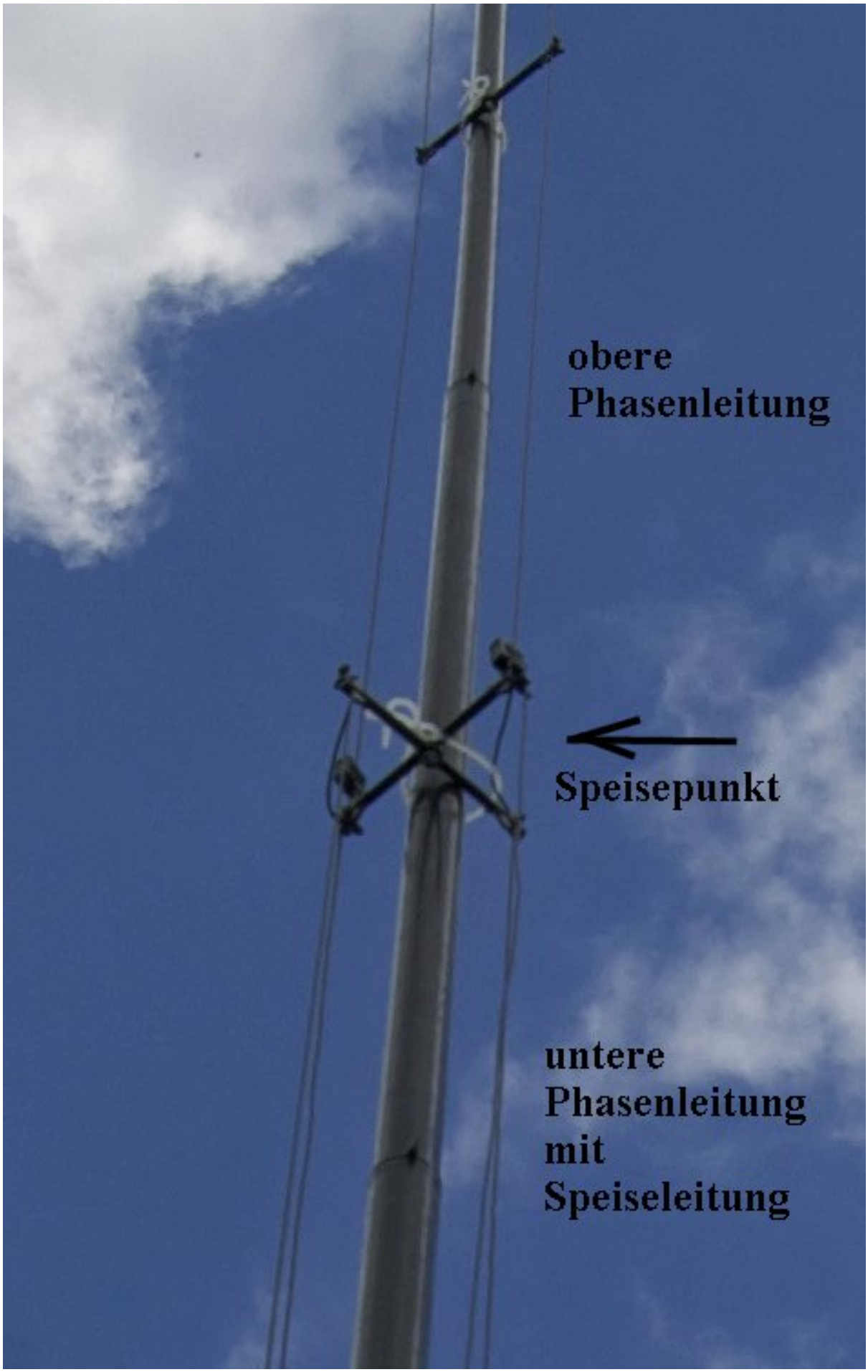
obere
Phasenleitung
Speisepunkt
untere
Phasenleitung
mit
Speiseleitung

Abb. 44 *Speisepunkt, Phasen-und Speiseleitungen am DJ4VM-Loop.*

Die Abb. 38,39 zeigen Ausführungen der Loops bei DL3AO.
Abb 38 ist eine Quadloop ohne das Relais zur Bisquare- Öffnung. Der Stromknoten an der Loopspitze erlaubt in diesem Fall eine galvanische Verbindung zum elektrisch leitenden Tragrohr. Es ist vorteilhaft gegenüber elektrostatischen Aufladungen.

Bei der Konstruktion in Abb.39 wurde die horizontale Mittelstange durch vom Speisepunkt unter 45 Grd nach oben gerichtete Fiberglasrohre ersetzt. Diese Tragekonstruktion für die horizontalen Eckpunkte der Diamondloop ermöglicht einen einfachen Auf- und Abbau der Antenne. An der Loopspitze befindet sich das Relais zum galvanischen Öffnen der Schleife Die geöffnete Relaisbox zeigt Abb. 42 . Auf einen möglichst kleinen kapazitiven Nebenschluss zum Relaisschalter ist wegen der Hochohmigkeit bei 28 MHz zu achten.

Abb. 40 zeigt den Rechteckloop von DL1SEH,. mit den Abmessungen 6m*3m. Seine Loop ersetzte eine kommerzielle Trap-Vertikalantenne an gleicher Stelle. Die Rechteckloop ist optisch eher weniger auffällig als die früher installierte Vertikalantenne. Die Befestigung des oberen horizontalen Loopsegments mit dem Alu-Schiebemast ist galvanisch leitend.

Wenn der Wind nicht zu stark bläst, macht Portabelbetrieb mit dem Loop Spass. Bei Abb. 41 handelt es sich um eine Quadloop mit (unkritischen) 15 m Umfang. Mit einer Wireman 300 Ohm Speiseleitung und einem kleinen symmetrischen L-Tuner ist die Antenne von 20 m bis 10 m leicht abstimmbar.

Eine DJ4VM-Loop am QTH von DL6JH zeigt Abb. 43. Alle Tragerohre der Loop bestehen aus leichten, zusammenschiebbaren Fiberglasrohren. Vom Speispunkt im Zentrum der Loopfläche gehen die Phasenleitungen nach oben und unten weg. Wie beschrieben ist die untere Phasenleitung mit der Speiseleitung in einer Viererleitung zusammengefasst (Abb. 44).

Untergrundverluste und Bauhöhen

Wie gravierend ist die elektrische Belastung der Antenne durch Hausdach oder Erdboden ? Die Abb. 45 stellt die Ohm'schen Verluste von Dipol, Yagi und Loop in Abhängigkeit der mittleren Höhen über einem Untergrund dar, welcher im 4NEC2 Programm den Angaben einer „durchschnittlicher elektrischen Leitfähigkeit" entspricht. Dieser angenommene Untergrundswert stammt aus einem „best fit", den ich aus der gemessenen Speiseimpedanz eines über dem Giebeldach meines Hauses hängenden Dipols für 40 m ermittelt habe. Diese ohm'schen Verluste sind Nahbereichseffekte und haben nichts mit der durch Interferenz verursachten höhenabhängigen Verteilung des vertikalen Abstrahlwinkels zu tun.
Für das Diagramm wurde ein Loop mit zum Boden parallelen und senkrechten Seiten angenommen. Bei gleicher mittlerer Antennenhöhe kommt beim Loop ein Horizontalsegment näher an den Untergrund und bedingt so die leicht erhöhten Verluste. Die im Vergleich zum einfachen Dipol höheren Nahbereichsverluste der Yagi- Antenne sind eine Folge der stärkeren Antennenströme im Yagi. Ganz allgemein wirkt sich beim Loop der gegenüber dem Dipol um ca. 60% erhöhte Strahlungswiderstand günstig auf Umgebungseinflüsse auf.
Die Angaben sind Orientierungswerte. Bei einem Diamondloop mit einer Fusspunkthöhe von bereits 1.5m bis 2 m über Hausdach kann man aber davon ausgehen, dass die Joule'schen Untergrundsverluste sich in vertretbaren, bzw. zu Dipol oder Yagi-Antennen vergleichbaren Größen bewegen. Verkürzte Antennen, z.B. Mini-Beams, sind bei einer geringen Bauhöhe verlustreicher und im Abgleich kritisch. Der theoretische Mehrgewinn von ein oder zwei Dezibel zur Loop geht so leicht verloren.

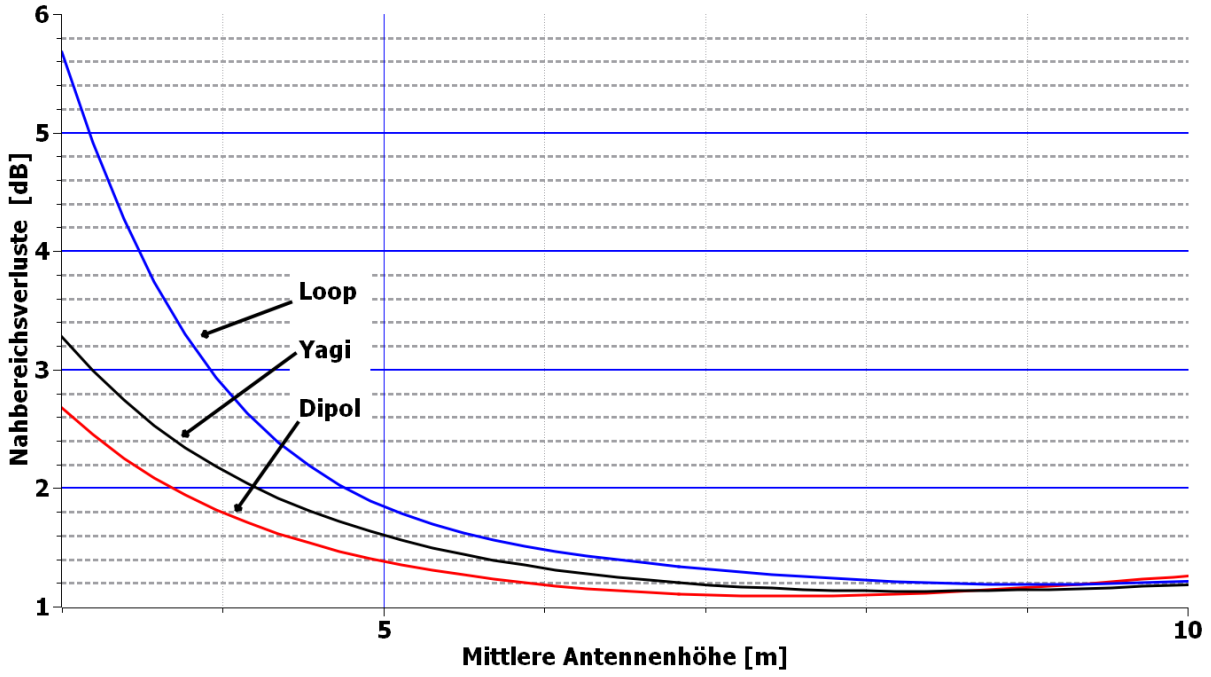

Abb. 45 *Nahbereichsverluste für mittlere Antennenhöhen zwischen 3m und 10 m bei Untergrund von durchschnittlicher elektrischer Leitfähigkeit.*

Erfahrungsbericht.

Manchmal kommt die Frage auf: Ist die Loop eine „gute Antenne“? Die Antwort ist leicht zu geben. Jede verlustarme Antenne mit verlustarmer Leistungszufuhr ist eine gute Antenne. Ob, und wie ein Richtungsgewinn in azimutaler und vertikaler Richtung angestrebt wird, und auch möglich gemacht werden kann, ist eine andere Sache.

Die Abstrahlung der beschriebenen Loops ähnelt weitgehend der eines Halbwellendipols. Auf der Grundfrequenz (hier 14 MHz) weist der Loop gegenüber dem Dipol einen Richtungsgewinn von etwa 1 dB auf. Dies ändert sich auch bei der ersten Harmonischen nicht (hier 28 MHz). Das Ganzwellendipol zeigt 3 dB Richtungsgewinn gegenüber dem Halbwellendipol, bei Bisquare und DJ4VM-Loop sind es 4 dB. Manchmal wird berichtet, Schleifenantennen seien weniger empfindlich gegenüber atmosphärischen Störungen oder man-made noise. Vielleicht gilt die Aussage für Magnetische Loops. Die hier beschriebenen Loops sind aber Elektrische Loops (der Übergang liegt etwa bei 0.5 λ Umfangslänge). In meinem QTH ist der Unterschied zwischen Loop und Dipol in der Aufnahme von

atmosphärischem QRN oder Umgebungsnoise minimal. Im Vergleich zu Vertikalantennen ist jedoch allgemein das „noise“ beim Empfang mit horizontal polarisierten Antennen günstiger.

Ein Vorteil der Loops besteht darin, dass sie in horizontaler Richtung weniger ausladend sind. Damit kann ohne Elementverkürzung gegenüber den eindimensionalen Antennen der Drehradius bis zu 50% verringert werden. Der Umstand wirkt sich zudem günstig auf eine Leichtbauweise aus und erlaubt eine größere Höhe und freiere Installation.

Empfangsrapporte in QSOs geben einen ersten Eindruck von der Güte einer neuen Antenne. Selbst beim Vergleich mit einer anderen Antenne ist jedoch Vorsicht geboten. Wer es nachprüfen möchte, soll ohne weitere Angaben seine Ausgangsleistung, um z.B. den Faktor 10, ändern und um Lautstärkeunterschiede bitten.
Ein für mich in der Praxis aussagefähiger Antennentest ist die Kontrolle des eigenen Signals über WebSDR- oder Remote Stationen (z.B. Remote Hams, RCForb). Geeignet sind auch Rückmeldungen über das Reverse Beacon Network (RBN). Die RBN- Meldungen sind jedoch Momentanwerte und können kurzzeitig ausbreitungsbedingt starke Variationen aufweisen. Für zuverlässige Aussagen sind geduldige Beobachtungen über einen längeren Zeitraum nötig.
Der Vergleich zwischen den mit NEC berechneten Abstrahldiagrammen und den Messdaten (Quadloop Abb.13 , Bisquare Abb. 28 , Rechteckloop Abb. 22, DJ4VM-Loop Abb. 36a-d) ist sehr zufrieden stellend. So ist zu erwarten, dass auch die Aussagen aus den messtechnisch nicht überprüften NEC Rechnungen der Wirklichkeit nahe kommen.
Im DX – QSO Vergleich mit benachbarten Stationen kann meine Kombination aus Quadloop-Bisquare mit zwei- und dreielementigen Richtstrahlern, bei vergleichbarer Lage und ähnlicher Leistung, gut mithalten. Verlässliche Rapporte schwanken zwischen keinem Unterschied bis zu etwas stärkerem Signal bei den Richtstrahlantennen. Dabei ist zu beachten, dass der mit 4-6 dB höhere Richtungsgewinn der Beams nur mit einem sorgfältigen Elementabgleich bei beschränkter Bandbreite erzielt wird. Nicht immer erzielen Antennen mit parasitären Elementen den theoretischen Richtungsgewinn. Die Loopantenne ist auf keinen Feinabgleich angewiesen.
DL1SEH hat an seinem QTH (Abb. 40) eine handelsübliche Mehrband-Vertikalantenne durch den abgebildeten Rechteckloop ersetzt. Nach seinen Aussagen hat sich für ihn eine „Neue DX-Welt“ aufgetan. Dies muss aber so nicht überall der Fall sein. Vertikalantennen sind sehr vom Standort und der umgebenden Topographie abhängig.

In einem Feldversuch haben DJ3VV und DL3AO den Portabelloop (Abb. 41) mit einem daneben stehenden, portablen HEX-Beam über einige Stunden an einer fernbedienbaren Station in Südafrika verglichen. Auf 21 MHz war der HEX-Beam im Mittel gerade vernehmbar stärker. Dagegen hatte der Loop auf 24 MHz einen deutlichen Vorteil. Als Grund dafür vermuteten wir einen nicht optimalen Abgleich auf diesem Band. Auch hier zeigt sich ein Vorteil der Loopantenne: Der Richtungsgewinn ist kleiner als bei den klassischen Beams. Doch ist er ohne mühsames „cut and try“ zu erreichen.
Der Vergleich auf 20 m zwischen der Broadside-Abstrahlung mit horizontaler Polarisation und Endfire-Abstrahlung mit vertikaler Polarisation fällt bei mir in 90% der Fälle zu Gunsten „Broadside“ aus. Nur in wenigen Fällen habe ich Stationen in Endfire- Abstimmung deutlich lauter empfangen. Ob die vertikale Polarisation dafür verantwortlich ist kann ich nicht sagen.

Mein Loop leistet mir auch auf dem 30 m Band gute Dienste. Die Umfanglänge der Loop beträgt 75 % in Bezug auf die Solllänge. Im Vergleich mit meinem 2*10m langen Dipol, welches etwas tiefer als der Loop hängt, sind beide Antennen in ihrer Hauptstrahlrichtung gleichwertig. Die drehbare Loop füllt mir aber die azimutalen Abstrahllöcher des fest stehenden Dipols sehr gut aus. In Richtung Japan oder Südamerika sind dies bei mir teilweise 10 dB und mehr.

Nachtrag

Die Messungen zur Abstrahlung an den Loops wurden zusammen mit Jochen, DL6JH, und Norbert, DL1SEH, durchgeführt. Die Abb. 36a-d stammen von DL6JH. Beiden OM möchte ich für die Zusammenarbeit und für viele Diskussionen über die Loops danken.

xx-X-xx