

# Ein Multiband Quadloop für KW mit einer Drahtschleife.

Von Rolf Schick, DL3AO

## Inhalt.

Der Bericht beschreibt eine Quadloop-Antenne für die Bänder von 30 m bis 10 m. Der rechteckförmige Loop aus Draht geht von einer Schleife mit einem Seitenumfang von 22 m aus. Auf den Bändern von 30 m bis 15 m ist der Loop galvanisch geschlossen. Für die Bänder 12 m und 10 m unterbricht ein Relais am oberen Ende die Loopschleife. Dies führt zu einer Stromverteilung auf der Schleife, welche im genannten Frequenzbereich zu einer günstigen Abstrahlung senkrecht zur Loopebene erfolgt. Die Abstrahlung ist horizontal polarisiert. Die Berechnungen für Gewinn, auftretende Verluste und Speiseimpedanzen erfolgen für den Freiraum. In der Praxis wird die Loopebene vertikal orientiert aufgestellt. Der Speisepunkt befindet sich am unteren Ende des Loop, was eine günstige Wegführung der Speiseleitung erlaubt.. Dies steht im Gegensatz zu anderen Einschleifen-Quadloops (z.B. DJ4VM Quad), bei welchen der Loop zentral eingespeist wird. Der Bericht zeigt, dass die Einschränkungen in der Abstrahlung gegenüber den zentral gespeisten Loop-Antennen minimal sind. Die gegenüber Dipolantennen geringere horizontale Ausdehnung von Loopantennen ist häufig bei der Installation ein gewichtiger Vorteil. Dies zeigt sich besonders, wenn die Antenne gedreht werden soll.

## Einleitung

Die Verwendung von Quad-Antennen im Amateurfunk geht auf Clarence Moore, W9LZX, zurück. Speziell als 2 Element Cubical Quad mit Strahler und Reflektor war diese Antennenart als Drehrichtstrahler in den 50'er und 60'er Jahren populär. Alurohre waren teuer und oft schwierig zu bekommen. Die Quads konnten dagegen aus billigem Bambusrohr und Draht gefertigt werden. Eine stabile, wind und wetterfeste Konstruktion für das 3-dimensionale Quadgebilde blieb allerdings immer problematisch. Für jedes Band musste eine getrennte Loopschleife eingesetzt werden. Vermutlich zum psychologischen Ausgleich für die Arbeit wurden dem Quad oft mystische Kräfte in Gewinn und „besonders flacher Abstrahlung“ zugeschrieben. Jim Lindsay, W0HTH, heute W7ZQ, hat in einer heftig und kontrovers diskutierten Arbeit (QST, May 1968) die weitgehende Gleichheit zwischen Quad und Yagi, bzw. zwischen Dipol und Quadloop, festgestellt. Die heute auch mit Kleinrechnern möglichen Antennenberechnungen haben seine Arbeit weitgehend bestätigt. Kommerziell hergestellte Yagi Antennen haben den Cubical Quad weitgehend verdrängt. Der folgende Artikel soll zeigen, dass der einfache Quadloop durch seinen unkomplizierten Aufbau, seinen kleinen Radius als Drehantenne und seine effektive Abstrahlung über einen Frequenzbereich von über einer Oktave eine gute Lösung in der immer problematischer werdenden Antenneninstallation darstellt.

Die Arbeit beschreibt im ersten Teil den Richtungsgewinn einer Loop gegenüber einer isotropen Antenne, aufgeteilt in geschlossenen und offenen Loop. Daran schliesst sich ein Vergleich mit dem von DJ4VM konzipierten Einschleifenloop mit Zentralspeisung an. Im letzten Teil wird die Speisung des Loops unter verschiedenen Möglichkeiten diskutiert.

## **Kurzer Exkurs zur Abstrahlung von Antennen.**

Eine Beschleunigung elektrischer Ladungen führt zu einer Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen. Wechselströme beruhen auf der (meist periodisch und sinusförmigen) Beschleunigung von Elektronen in elektrischen Leitern. Setzt man eine Antenne aus lauter kleinen Drahtelementen der Länge  $\Delta l$  [Meter] zusammen, in denen jeweils ein Strom  $I$  mit der Stärke  $A$  [Ampere] fließt, dann ergibt sich im Fernfeld die abgestrahlte Leistung aus einer Summation über das Produkt aus (Stromstärke)\*(Länge Drahtlement), mit der Dimension Ampere\*Meter. Um denselben Leistungswert abzustrahlen muss demnach bei einer kurzen Antenne die Stromstärke entsprechend höher sein. Da die Leistung mit dem Quadrat der Stromstärke ansteigt, steigen entsprechend dem Produkt  $I^2 \cdot R$  die durch den ohm'schen Leitungswiderstand entstehenden Verluste für kurze Antennen an. Strebt die Elementlänge gegen Null wird der Strom bei einem Widerstand von Null unendlich groß. Diese nicht realisierbare punktförmige Antenne hat für den Vergleich mit realen Antennen eine Bedeutung als Bezugsgröße. Die Abstrahlung ist in alle Richtungen gleich, „isotrop“, daher auch der Name „isotrope Antenne“ oder „Kugelstrahler“. Als passives Element kann der „Gewinn“ einer Antenne nur über eine Energiebündelung in verschiedenen Richtungen erfolgen. Jede räumlich ausgedehnte Antenne lässt sich in einer Zusammensetzung von Elementarantennen mit unterschiedlichen Stromstärken und Phasen darstellen. Eingeschlossen sind Sekundärstrahler welche nicht galvanisch mit dem Sender verbunden sind, wie z.B. parasitäre Elemente, Bodenreflexionen und ganz allgemein Umwelteinflüsse. Antennendiagramme in 2D oder 3D Darstellung zeigen die Richtungsabhängigkeit. Ausgangspunkt aller Berechnungen ist die Abstrahlung im Freiraum. Die Angabe der Feldstärke im betrachteten Raumwinkel in bezug auf den Isotropstrahler erfolgt in der Einheit [dBi]

## **Aufbau der Loop-Antenne**

Die Abb. 1 und Abb.2 zeigen Loopantennen bei der Station von DL3AO. Abb. 1 ist ein „Geschlossener Loop“ mit einem Umfang von 18 m, aufgeteilt in horizontal und vertikal ausgedehnte Drähte von 3 m und 6 m Länge. Die Speisung erfolgt in der unteren Mitte mit Parallelleitung von 450 Ohm Wellenwiderstand („Hühnerleiter“). Der Drehradius von nur 1.5 m lässt den Antennenbau auch bei schmalen Reihenhäusern zu. Die Antenne wurde auf den Bändern 20 bis 12m mit gutem DX-Erfolg benützt.

Die Abb. 2 zeigt eine quadratische Loopausführung in „Diamond-Shape“. Die Diamond Shape, also Spitze des Quadrats oben und unten, wurde gewählt, weil so eine einfache Befestigung eines (Vakuum-) Relais am oberen Ende des Tragerohres möglich wird. Mit dem Relais wird der Loop „geschlossen“ (Bänder 30 m bis 15 m) und „offen“ (Bänder 12 m und 10 m) betrieben. Speisung über Hühnerleiter.

Ob der Loop einer „echten“ Schleifenantenne entspricht ist Diskussionssache. Statt „Loop“ kann man genau so von 2 gestockten Dipolen mit abgeknickten Enden ausgehen.

In der vorliegenden Arbeit ist die räumliche Orientierung der Loopebene immer so dargestellt, dass die Seiten des Quadrats horizontal und senkrecht zur Erdoberfläche gerichtet sind. Die Abstrahlung wird für das Freifeld gerechnet. Dies reicht aus, da die Erde einen weitgehend gleichen (und deshalb hier nicht diskutierten) Einfluss auf Dipol und Quad ausübt. Die Unterschiede zwischen der Aufhängung des Quadloops in „Diamond-Shape“ (wie in Abb. 2) oder um 45 Grad gedreht, mit Seiten parallel zur Erdoberfläche, ist minimal.

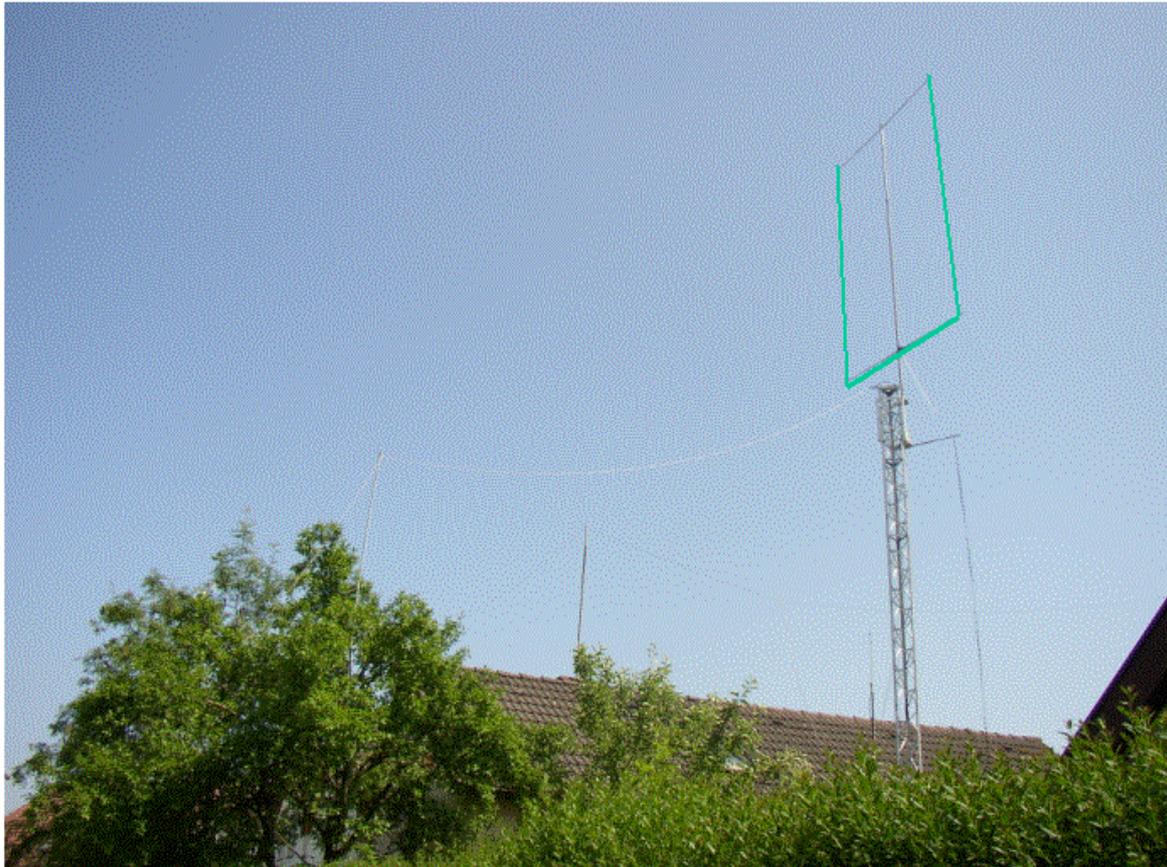


Abb. 1. Loopantenne mit rechteckförmiger (3\*6 m) Strahlfläche. Der Drehradius von 1.5 m erlaubt auch bei kleinen Grundstücken, dass die Antenne über eigenem Terrain bleibt.

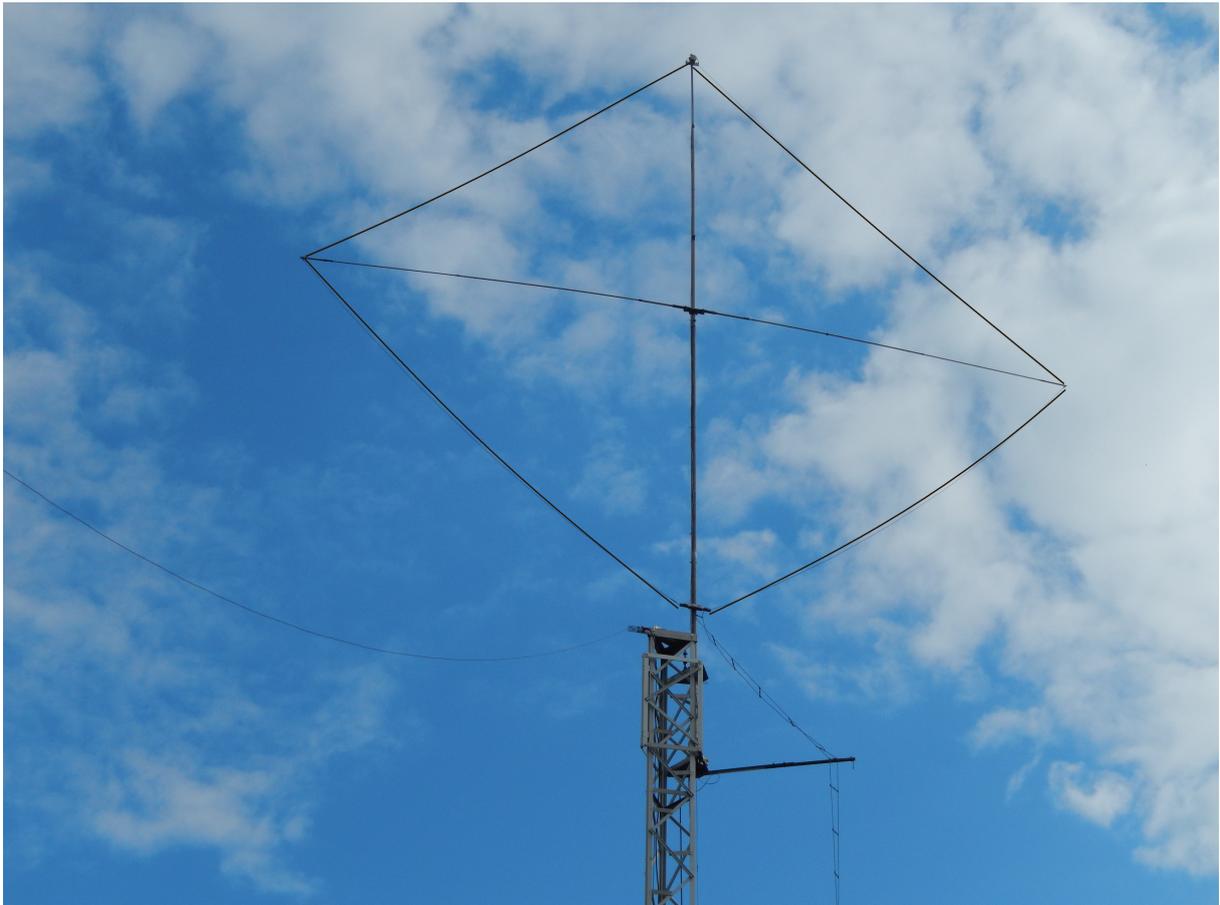


Abb. 2: Quadratischer Loop in „Diamond Shape“, Umfang etwa 22 m. Am oberen Ende befindet sich ein Schalter, mit dem der Draht unterbrochen werden kann. Speisung am unteren Ende mit Hühnerleiter. Die Looporientierung mit Spitze oben und unten wurde gewählt, weil das Relais zur Umschaltung zwischen Loop „geschlossen“ und „offen“ an der Standrohrspitze leicht zu befestigen ist. Dasselbe gilt für die Befestigung der Hühnerleiter am unteren Ende des Standrohrs.

## Der „Geschlossene Loop“

Abb. 3 zeigt einen „Geschlossenen Loop“ in quadratischer Ausführung, Seitemumfang 22,4 m. Speisepunkt bei S. Obwohl im Freiraum gerechnet wird, ist das Koordinatensystem zur Verdeutlichung ausgerichtet. In bezug auf die Erdoberfläche ist die Koordinate z senkrecht zur Erdoberfläche, die Winkel Phi und Theta entsprechen Azimut- und Elevationswinkel. Für die Abstrahlung ist es auch über der Erde nahezu ohne Bedeutung, ob die Seiten des Loops parallel zur Erdoberfläche montiert werden oder in „Diamond Shape“. Der Drehradius bei horizontal aufgebauten Seiten beträgt 2,8 m. Alle Rechnungen in der Arbeit basieren auf diesen Abmessungen. Sie sind willkürlich gewählt, stellen aber einen guten Kompromiss dar für die Abstrahlung zwischen 30 m und 10 m.

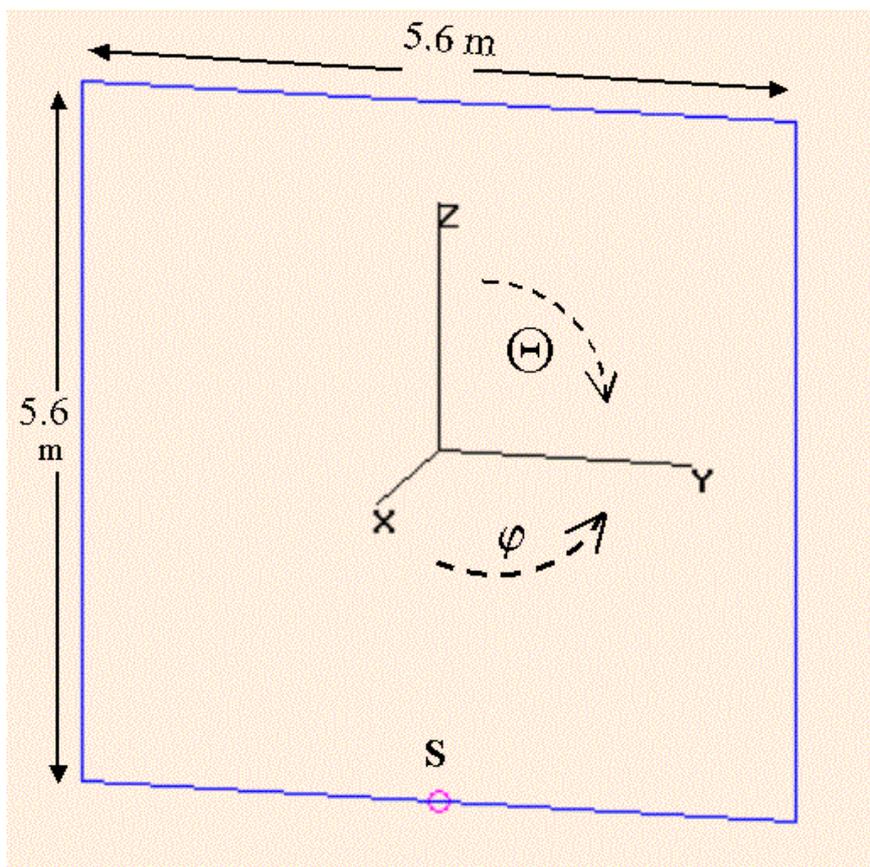


Abb. 3: Koordinatensystem und Abmessungen für den in den Rechnungen verwendeten Loop.

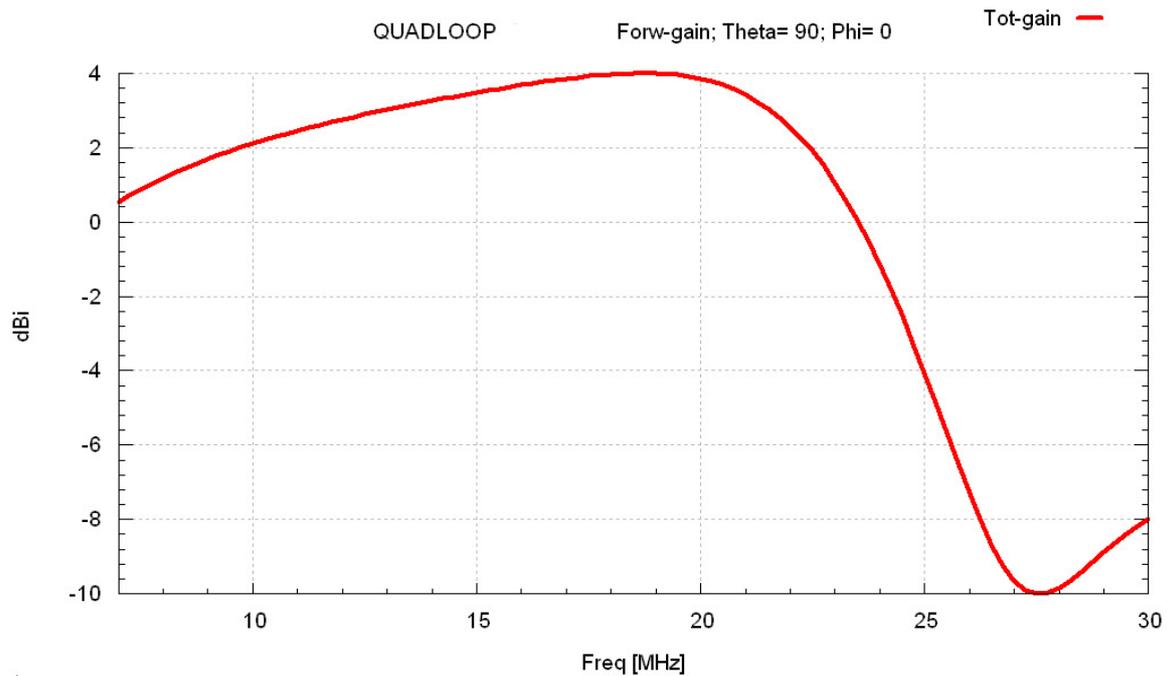


Abb 4.: Maximaler Gewinn für den Loop aus Abb.3 in [dBi] zwischen 7 und 30 MHz.

Der Umfang des Loop aus Abb. 3 beträgt 22,60 m, etwas über eine Wellenlänge für das 20 m Band. Der maximale Gewinn beträgt ca. 3 dBi bei 14 MHz, 4 dBi bei 18 MHz und 3.5 dBi bei 21 MHz (Abb. 4). Dies gilt für die Abstrahlung senkrecht zur Fläche (yz) des Loop,  $\Phi=0$ ,  $\Theta=90$  Grad.. Oberhalb von 21 MHz tritt eine wesentliche Änderung der Stromverteilung auf den Loopsegmenten ein, was sich in der stark reduzierten Abstrahlung senkrecht zur Loopfläche bemerkbar macht.

Abb. 5 zeigt in einer 3D-Darstellung die Loop-Abstrahlung für 14 MHz (Umfang eine Wellenlänge) und die dazugehörige Stromverteilung. Die übereinanderliegenden, horizontalen Loopsegmente sind in Phase, die vertikalen Segmente außer Phase. Daraus resultiert die dominierende „Broadside-Abstrahlung“ senkrecht zur Loopebene, die bis etwa 21 MHz erhalten bleibt.

Die Abb. 6 und Abb. 6a zeigen zweidimensionale Azimutal- und Elevationsschnitte für die Frequenz 18.1 MHz.

Die Gewinnangaben gelten für die „Totale Feldstärke“, d.h. für den Betrag aus der Summation von horizontaler und vertikaler Polarisation. Wenn nicht anders vermerkt, ist in allen Fällen die vertikale Polarisation wesentlich geringer als die horizontale Polarisation.

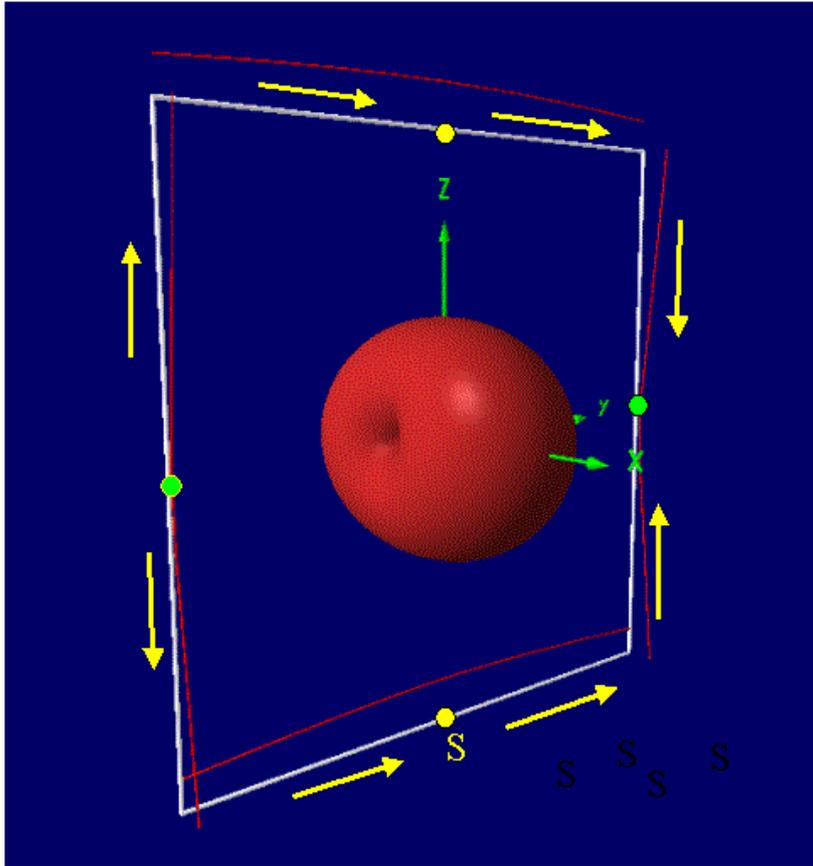


Abb. 5: Geschlossener Loop, 3D-Abstrahlung und Stromverteilung auf den Loopdrähten für 14 MHz, entsprechend einer Wellenlänge Umfang.

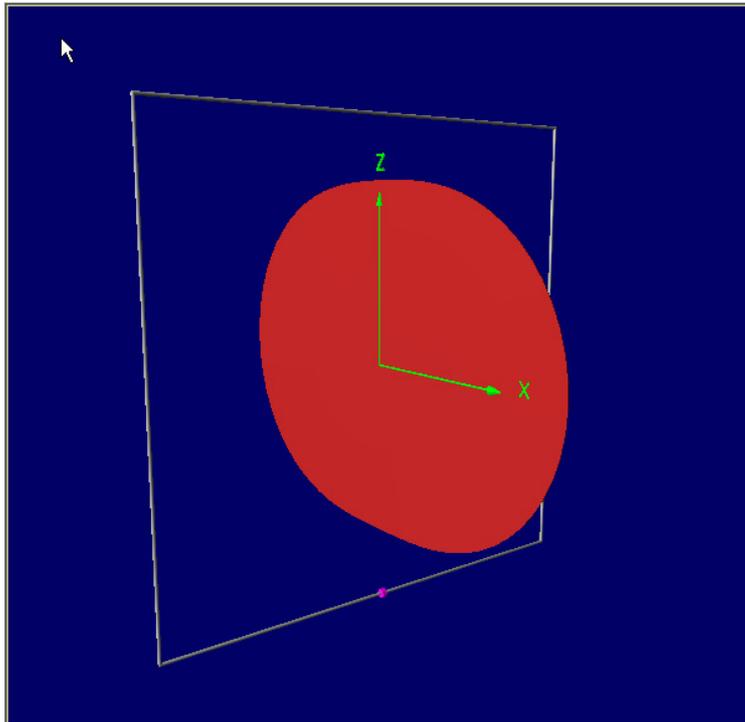


Abb. 6: Vertikale Abstrahlung für geschlossenen Loop (Abb. 3), 18 MHz

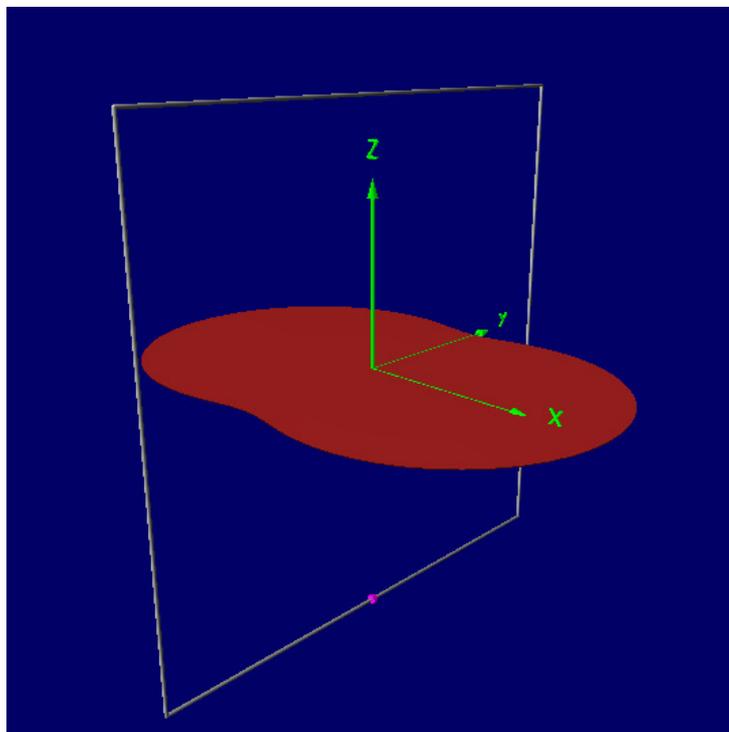


Abb. 6a: Azimutale Abstrahlung für geschlossenen Loop (Abb. 3), 18 MHz

Oberhalb von 21 MHz splittet die Abstrahlung in verschiedene Richtungen auf. Es führt zu einem Rückgang der gerichteten Verstärkung. Trotzdem wird der Loop auch für das 12 m und 10 m Band nicht unbrauchbar. Abb. 7 zeigt wieder in 3D-Darstellung Abstrahlung und Stromverteilung für 28.5 MHz. Die Kurve maximaler Verstärkung zeigt Abb. 8, für  $\Phi=90$  Grad und  $\Theta=90$  Grad. Vertikal- und Horizontalschnitte zeigen die Abb. 9 und 10.

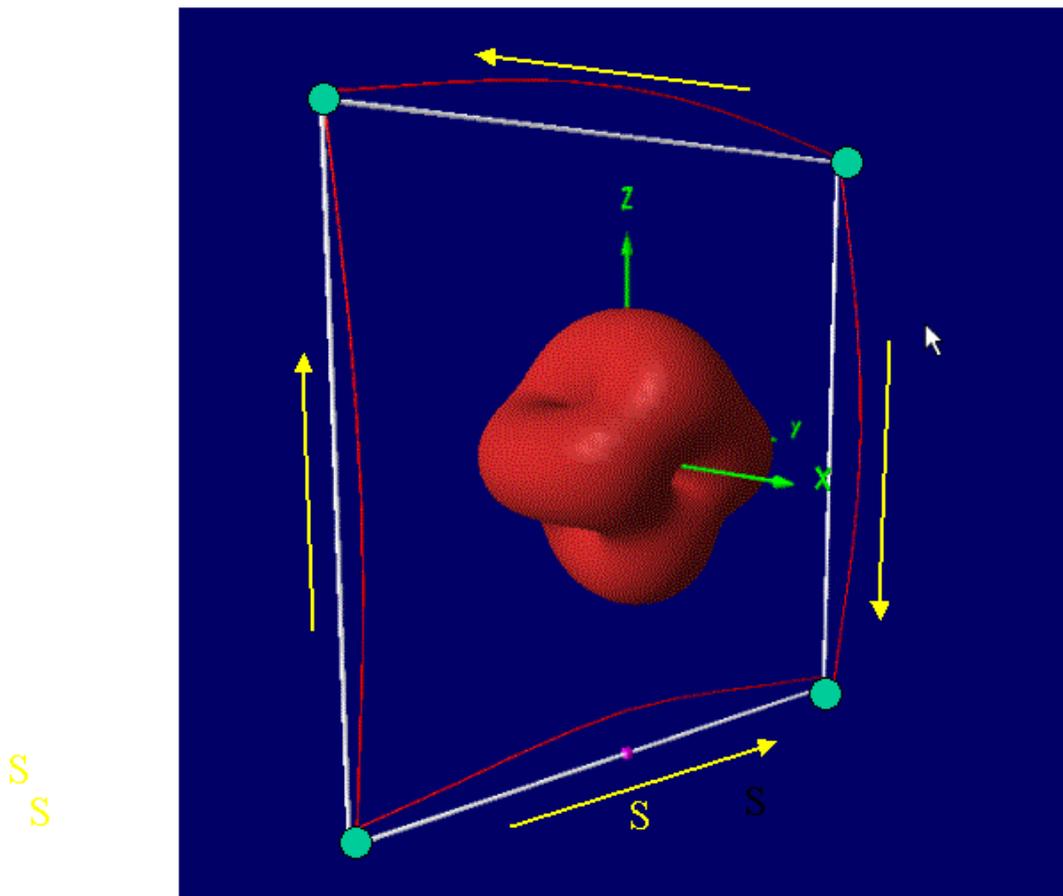


Abb. 7.: Abstrahlung für geschlossenen Loop (Abb.3) für 28.5 MHz.

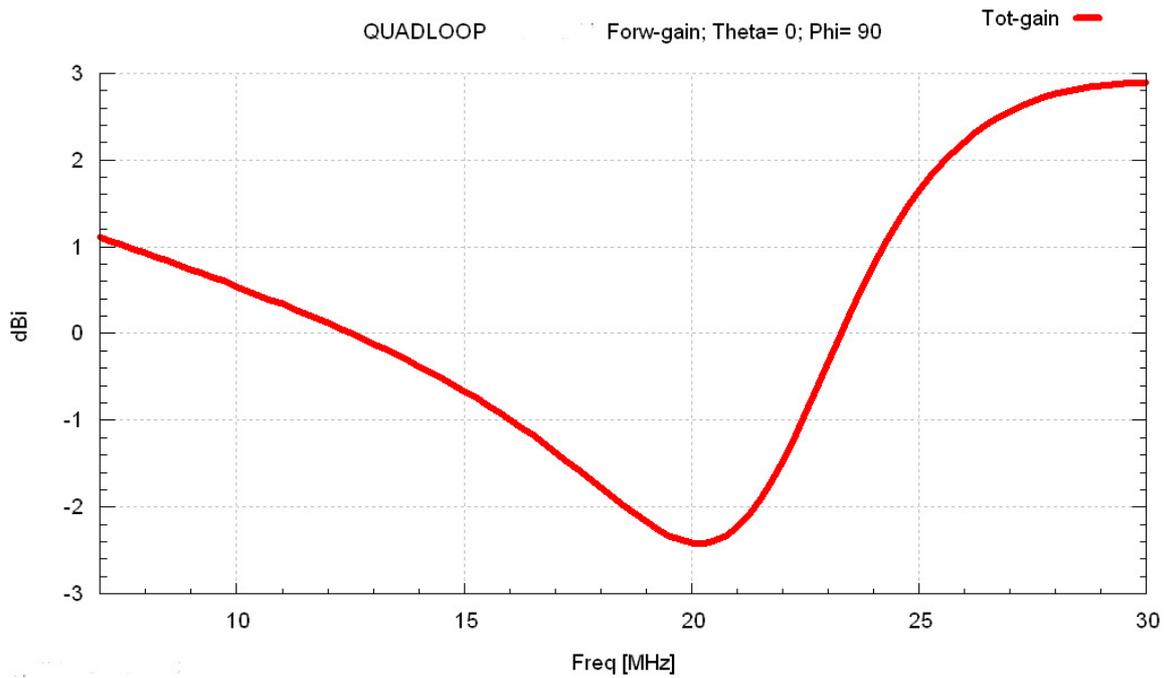


Abb. 8: Gewinn für einen geschlossenen Loop (Abb. 3) für 28.5 MHz, für Phi=90 Grad und Theta=90 Grad (also Abstrahlung in Loopebene bei Senkrechtstrahlung)

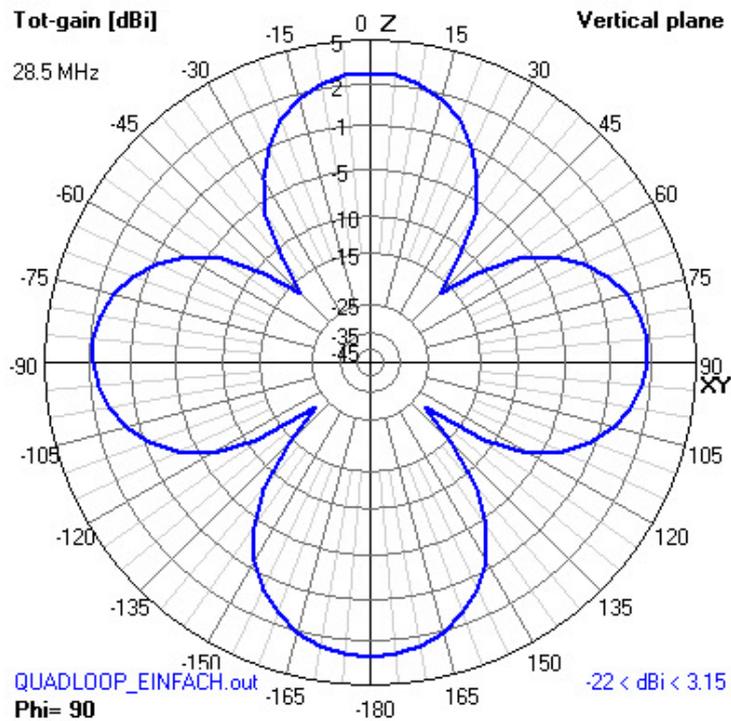


Abb. 9: Vertikale Abstrahlung für geschlossenen Loop (Abb.3), 28.5 MHz, Phi= 90 Grad (also Abstrahlung in Loopeebene). Die maximale Abstrahlung ist senkrecht nach oben gerichtet (3.15 dBi). Die Flachstrahlung unter Theta=90 Grad ist etwa ein dB geringer.

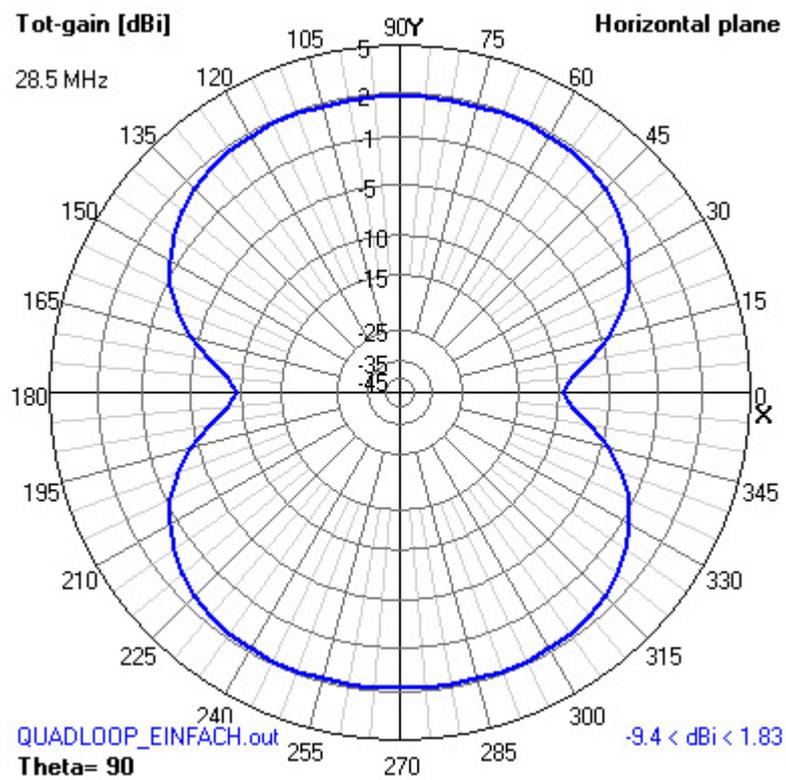


Abb. 10.: Horizontalschnitt für geschlossenen Loop (Abb. 3), 28.5 MHz, für Theta=90 Grad (Horizontale). Die Flachstrahlung in Loopebene („endfire“) ist somit in bezug auf Gewinn immer noch mit einem Dipol vergleichbar.

## Der „Offene Loop“ oder „Bisquare“

Der geschlossene Loop mit den Abmessungen und dem Speisepunkt aus Abb.3 führt oberhalb von etwa 21 MHz zu einer Stromverteilungen auf den Elementen, welche zu einem etwas diffusen Abstrahldiagramm führen (Abb. 7). Klare („Broadside“) Abstrahlung kann jedoch wieder erzielt werden, wenn das Drahtstück gegenüber dem Speisepunkt in der Mitte geöffnet wird: „Offener Loop“

Abb. 11 zeigt Geometrie und Stromverteilung für 28 MHz. Die Konfiguration wird in der Literatur auch „Bisquare“ genannt.

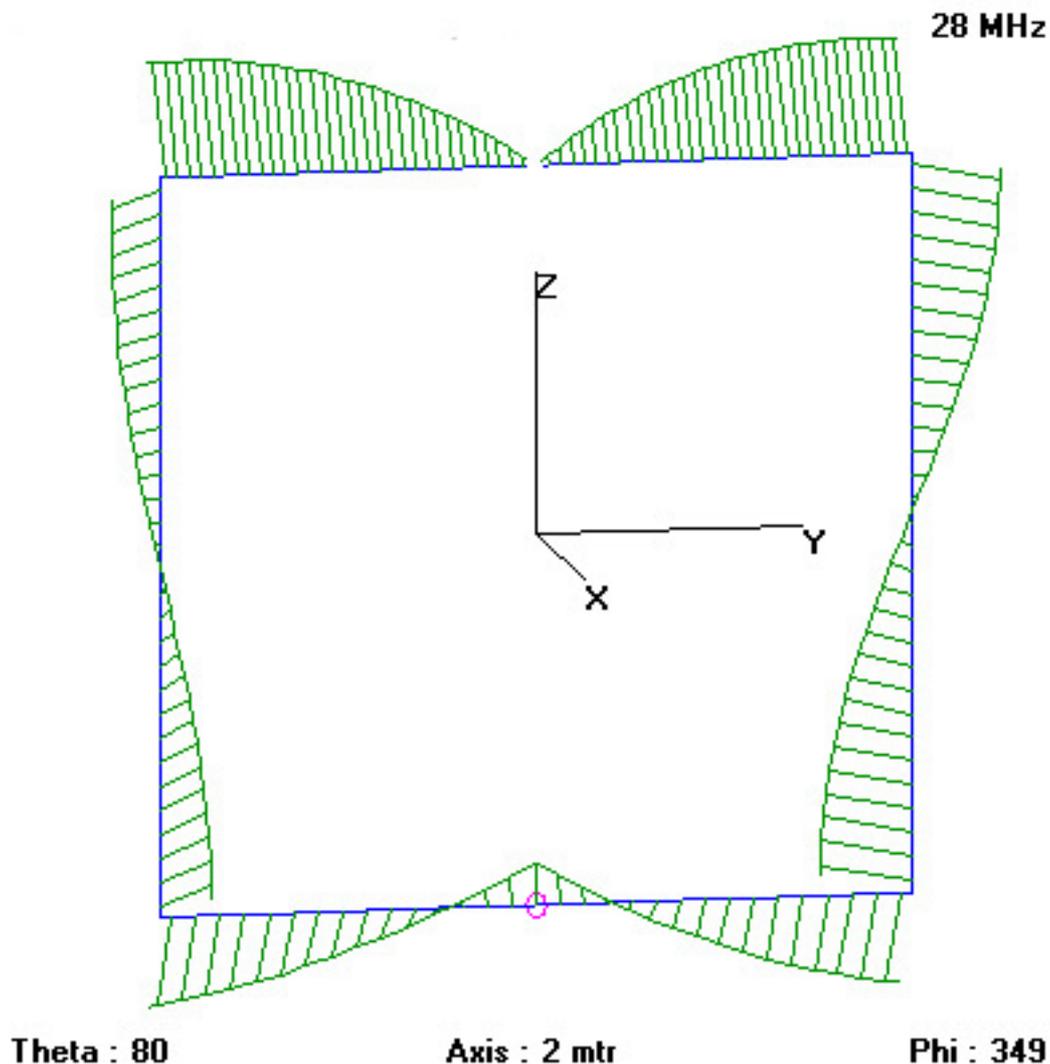


Abb. 11: Geometrie und Stromverteilung für ein Bisquare. Das Drahtsegment gegenüber dem Speisepunkt ist in der Mitte unterbrochen. Abmessungen wie in Abb. 3, Frequenz 28 MHz. Weitgehende Phasengleichheit im oberen und unteren Drahtstück.

In einem relativ schmalen Frequenzband von 24-28 MHz zeigt die Bisquare Antenne eine schöne Richtwirkung senkrecht zur Loopebene. Abb. 12 zeigt den Gewinn in dBi im Bereich 20-30 MHz für  $\Phi=0$  und  $\Theta=90$  Grad. Der Maximalgewinn beträgt fast 7 dBi. Abb. 13 und Abb. 14 geben den Gewinn dieser Bisquare im Frequenzbereich 7-30 MHz für die Winkel  $\Phi=0$ ,  $\Theta=90$  Grad (senkrecht Bisquare-Ebene) und  $\Phi=90$  Grad,  $\Theta=90$  Grad (in Bisquare- Ebene).

(Anmerkung: Zur Überstreichung des Gewinns im 10m Band können die Abmessungen des Loop (Abb. 3) um wenige Prozent, und ohne merkbare Einschränkung für die Abstrahlung im „Geschlossenen Loop Bereich“ reduziert werden).

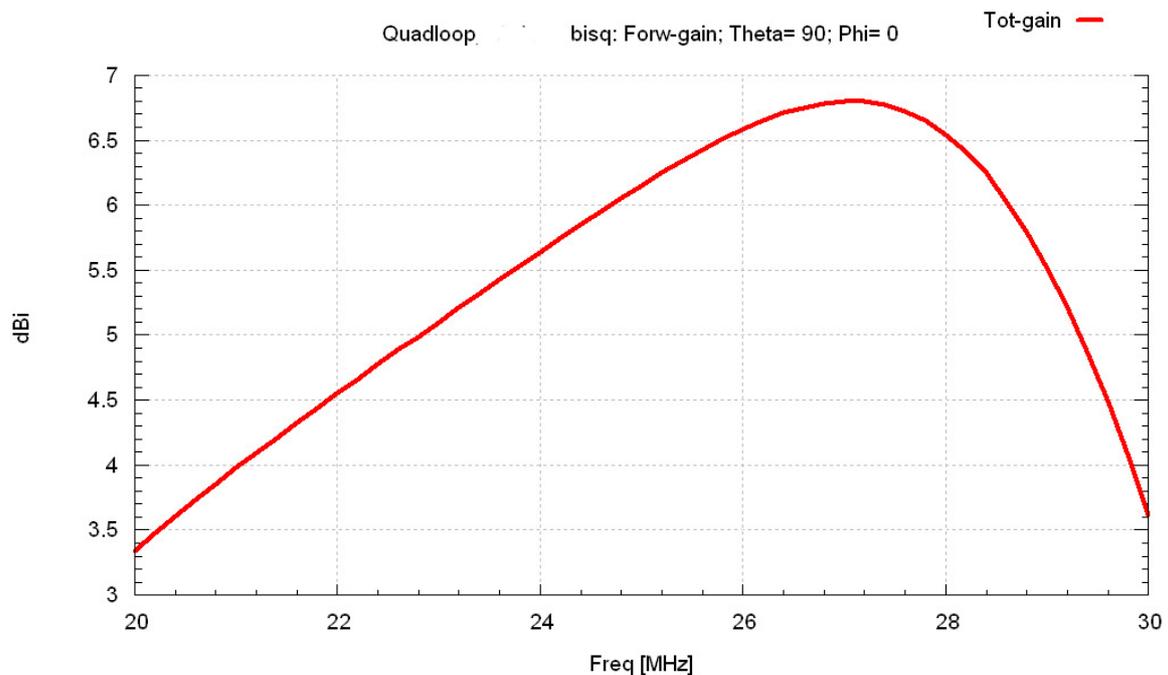


Abb. 12: Gewinn in dBi für Bisquare, 20-30 MHz, senkrecht Loopebene, Flachstrahlung

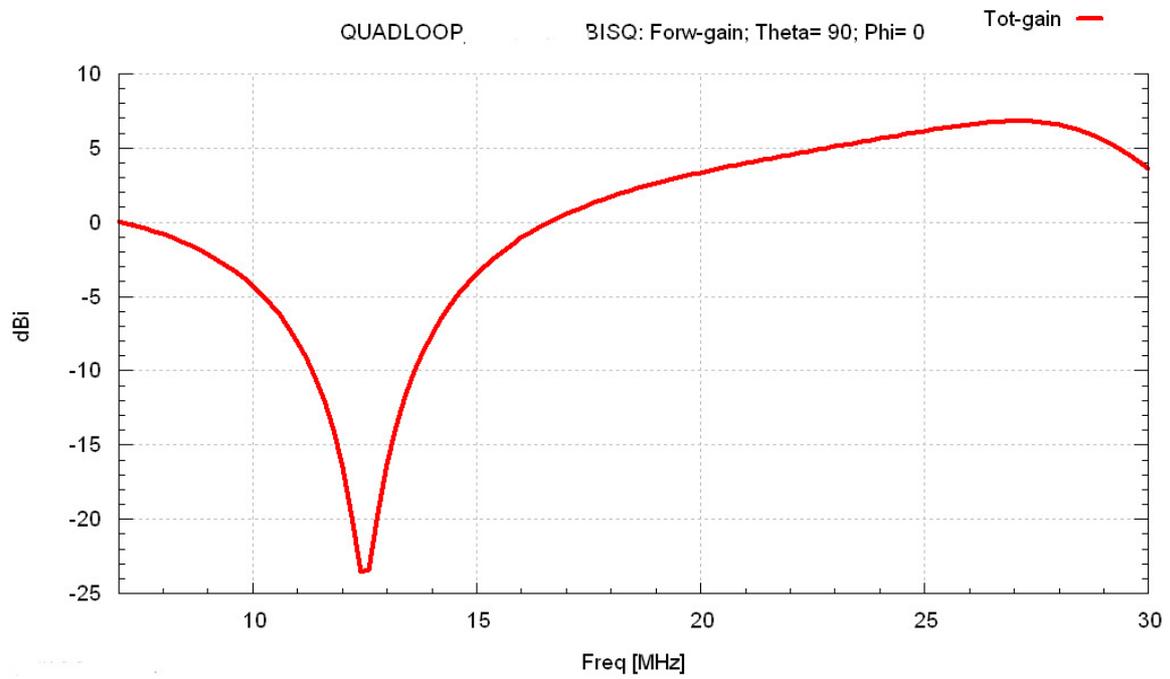


Abb. 13: Gewinn in dBi für Bisquare, 7-30 MHz, senkrecht Loopebene, Flachstrahlung

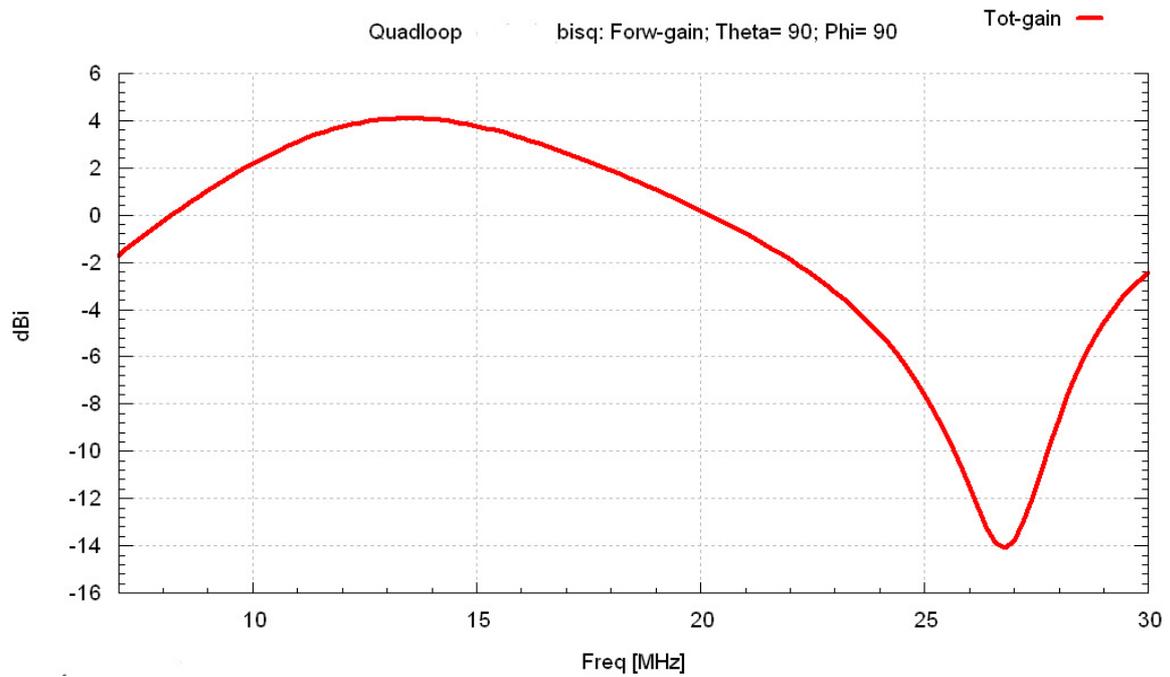


Abb. 14: Gewinn in dBi für Bisquare, 7-30 MHz, in Loopebene, Flachstrahlung

## Der DJ4VM-Loop

DJ4VM propagierte 1968 eine neue Mehrband Cubical Quad Anordnung welche auf einem zentral und symmetrisch gespeisten Loop Element basiert. Der Quad wurde mit Erfolg zahlreich nachgebaut, im Esslinger Raum u.a. von DL3AO, DK1UJ und DJ1SE. Das Loop Element entspricht der früher bekannten „Lazy H“ Antenne mit an den Enden abgewinkelten Dipolhälften. Die Struktur der Antenne, mit Speisung im Mittelpunkt, zeigt Abb. 15. Die zu den Loop Elementen symmetrische Speisung besitzt den Vorteil, dass in einem großen Frequenzbereich die in Abb5 dargestellte Stromverteilung mit Broadside-Abstrahlung erhalten bleibt.

Wird nur eine Loop Scheibe verwendet (Abb.15), so tritt in der Speisung ein gewisses konstruktives Problem auf. Elektrisch gesehen, sollte die Speiseleitung möglichst in Richtung der y-Achse vom Speisepunkt (Ursprung) abgehen (mindestens 1m). Dies erzeugt, vor allem wenn die Antenne gedreht werden soll, mechanische Probleme. Eine Speiseleitung Richtung Minus Z-Achse ist mechanisch einfach, verursacht allerdings einseitige Koppelprobleme mit der vom Ursprung ausgehenden Speiseleitung zum unteren Element.

Moxon, G6XN, löste das Speiseproblem durch Drehung des Loop (Abb. 16). Es führt jedoch zur vertikalen Polarisation des abgestrahlten Signals, was nicht immer wünschenswert ist. (Moxon, HF-Antennas., p. 158)

Abb. 17 zeigt den Gewinn der DJ4VM Loop zwischen 7-35 MHz für  $\theta=90$  Grad und  $\Phi=0$ . Durch die symmetrische Speisung entsteht im ganzen Frequenzbereich eine klare Broadside-Abstrahlung (Abb. 18, 28 MHz).

Abb. 19 vergleicht das Elevationsdiagramm eines DJ4VM Loop mit einem Halbwellendipol

Abb. 20 vergleicht Elevationsdiagramme eines DJ4VM Loop für die Frequenzen 14-21-28 MHz.

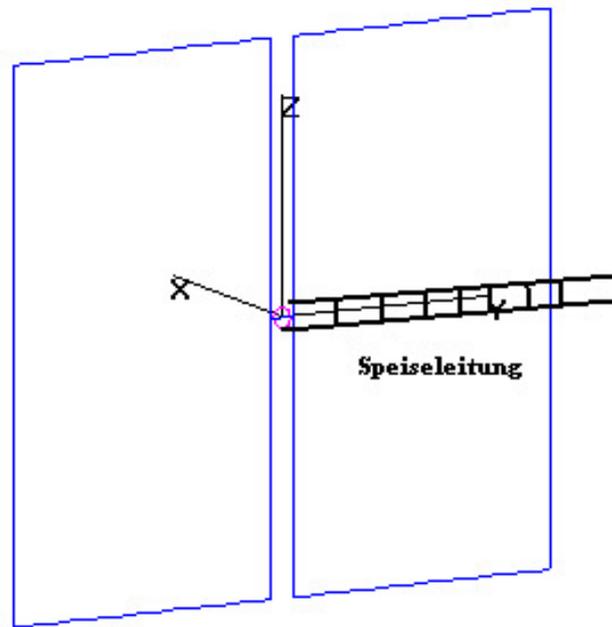


Abb. 15: Die DJ4VM-Loop. Zentralspeisung im Ursprung. Polarisation horizontal  
In der Praxis ist die Wegführung der Speiseleitung schwierig.

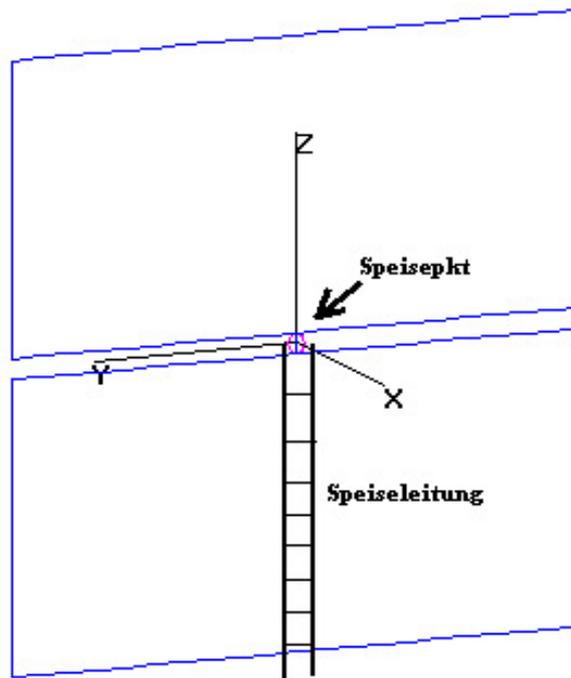


Abb. 16.: DJ4VM-Loop, 90 Grad gedreht zu Abb.15. Die Speiseleitung ist im Vergleich zu Abb. 15 einfacher zu führen, Abstrahlung jedoch vertikal polarisiert.

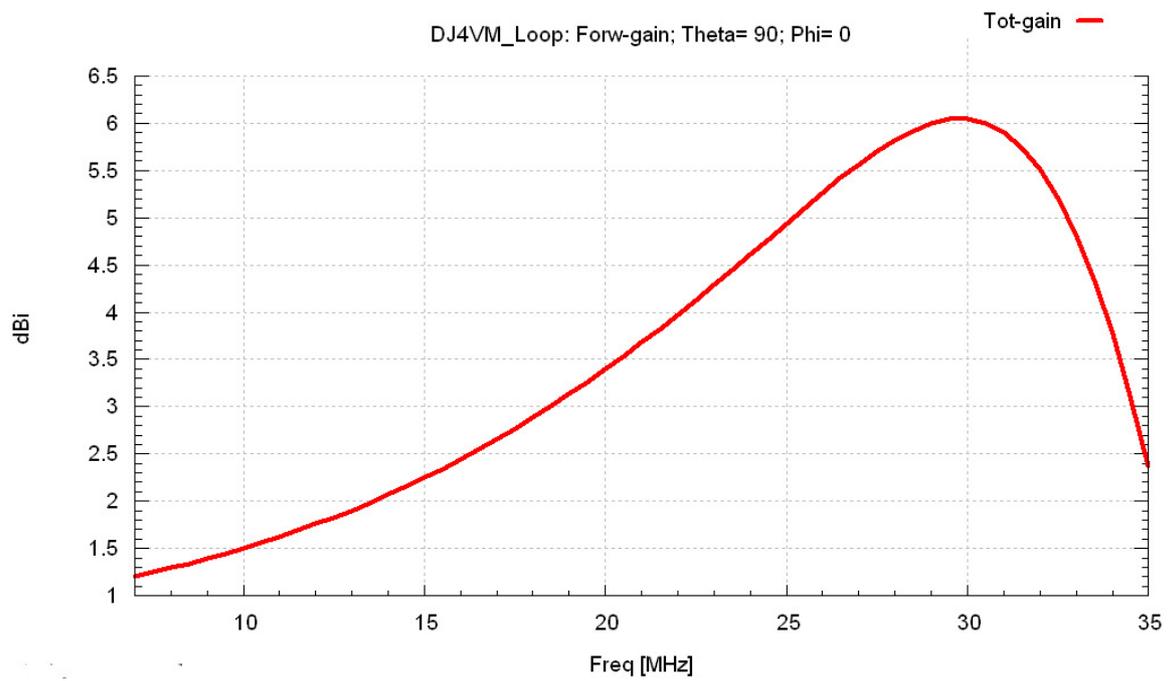


Abb. 17: Gewinn des DJ4VM Loop in dBi zwischen 7- 35 MHz.

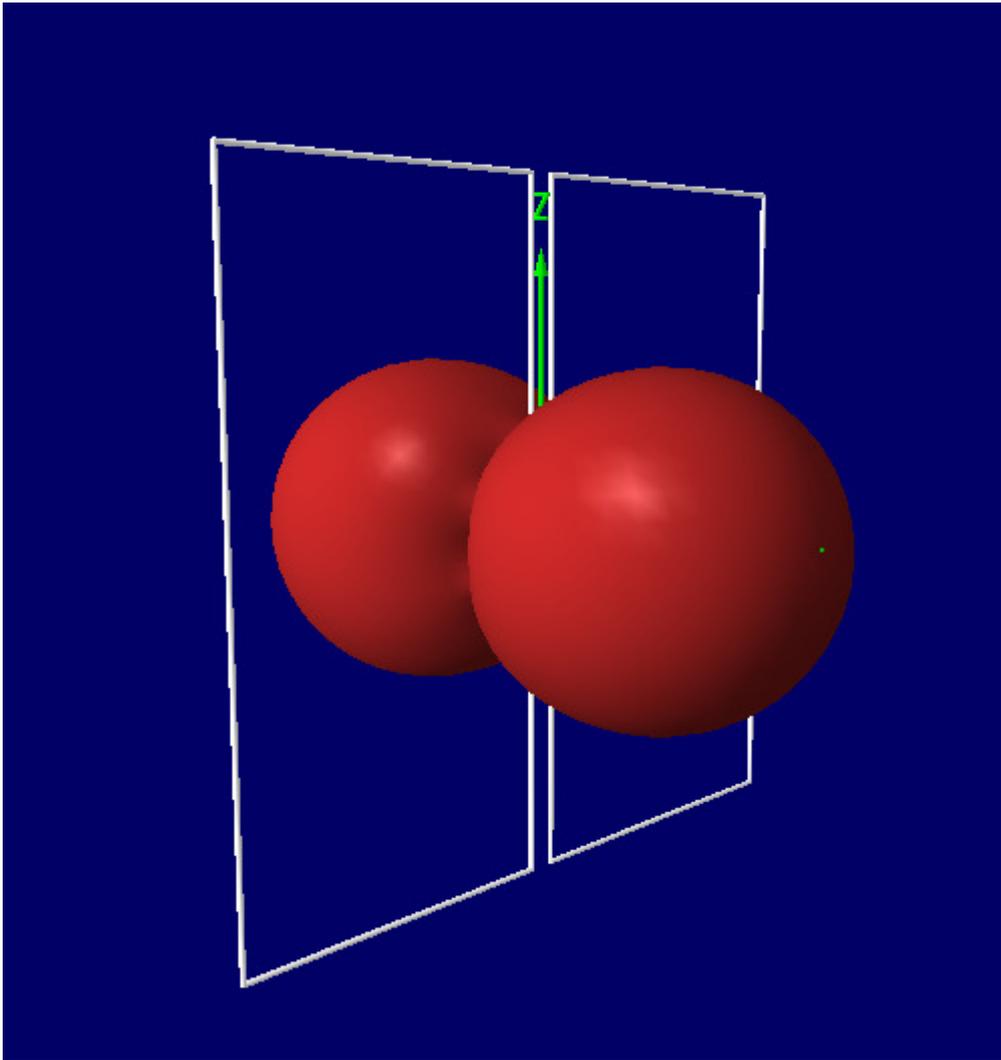


Abb. 18: 3D-Darstellung der Abstrahlung DJ4VM Loop, 28 MHz.

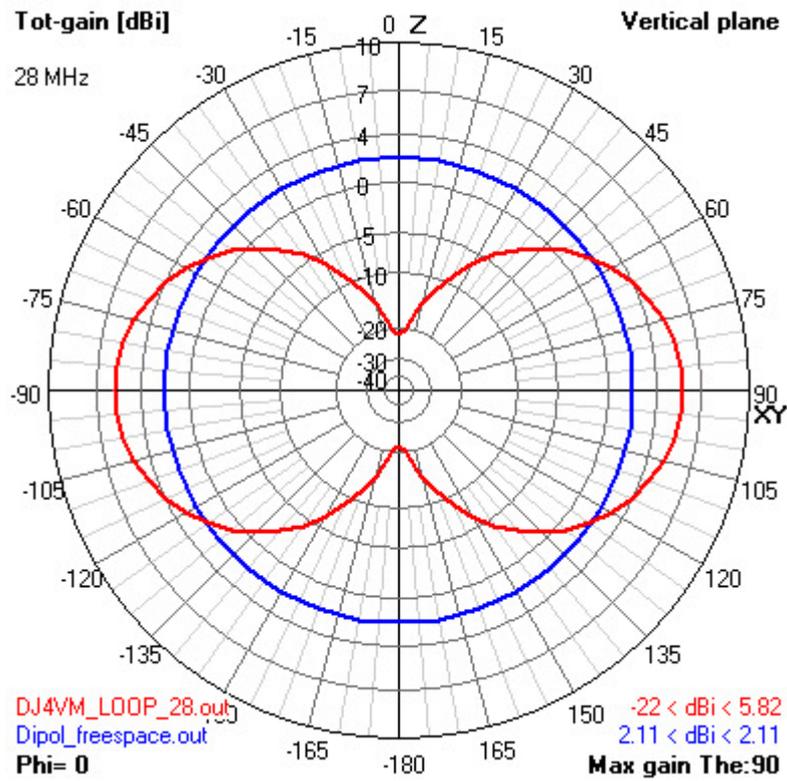


Abb. 19: Elevationsdiagramm DJ4VM Loop (rot) im Vergleich zu einem Halbwellendipol, 28 MHz.

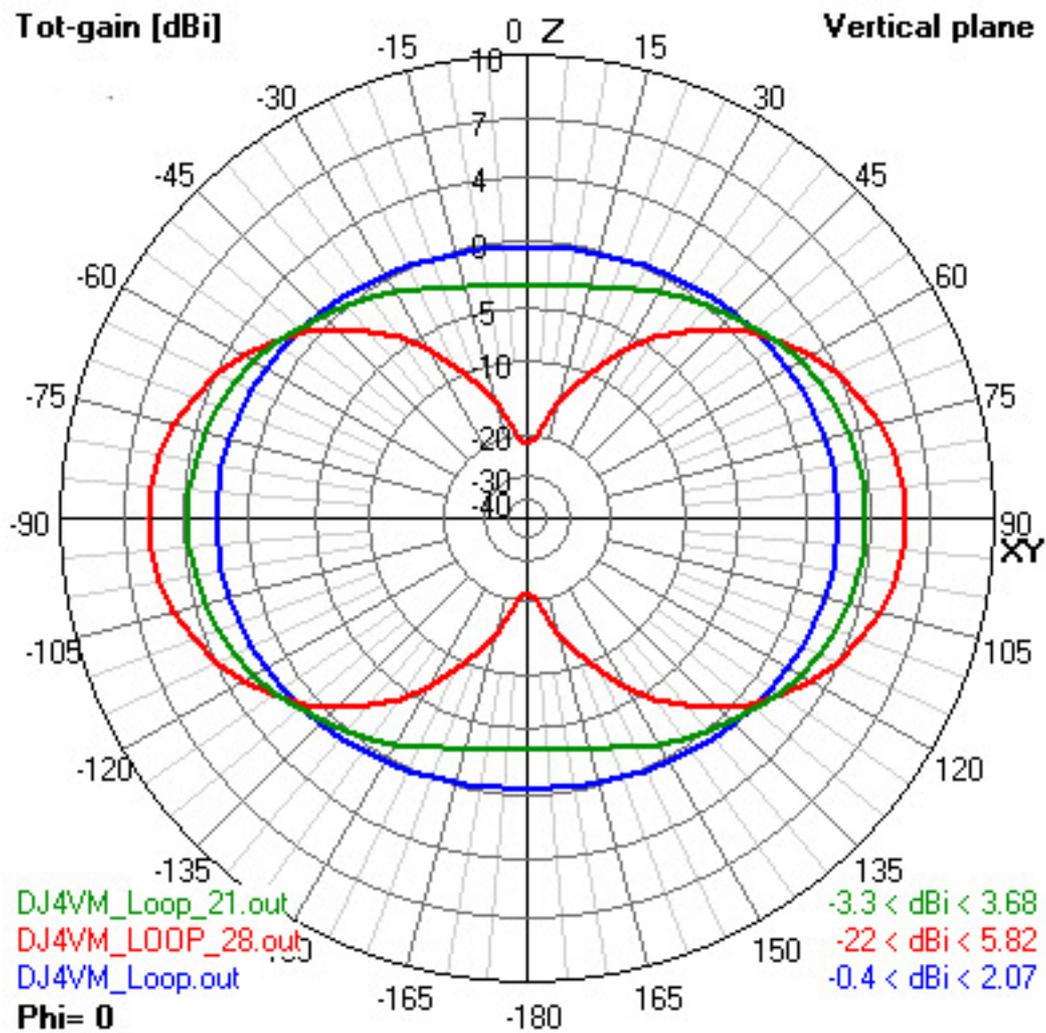


Abb. 20: Elevationsdiagramme für einen DJ4VM Loop für die Frequenzen 14 (blau)-21 (grün)–28 (rot) MHz.

Wie erwähnt, ist die Wegführung des Speisekabels vom horizontal polarisierten DJ4VM Loop wesentlich problematischer als beim einfachen, im unteren Segment gespeisten Quadloop. Die folgenden Abb. vergleichen einen DJ4VM Loop mit dem hier beschriebenen Quadloop. Beim Quadloop wird mit einem Schalter (Relais) der Übergang vom geschlossenen Loop (Bänder 30 m – 15 m) zum offenen Loop (12 m- 10 m) vorgenommen.

Die Abb. 21,23 (DJ4VM Loop) und Abb. 22,23 (Offener Quadloop, Geschlossener Quadloop) vergleichen den Gewinn in dBi zwischen 20-30 MHz. und 10-20 MHz.

Weitere Vergleiche zeigen die Abb. 25 –28..

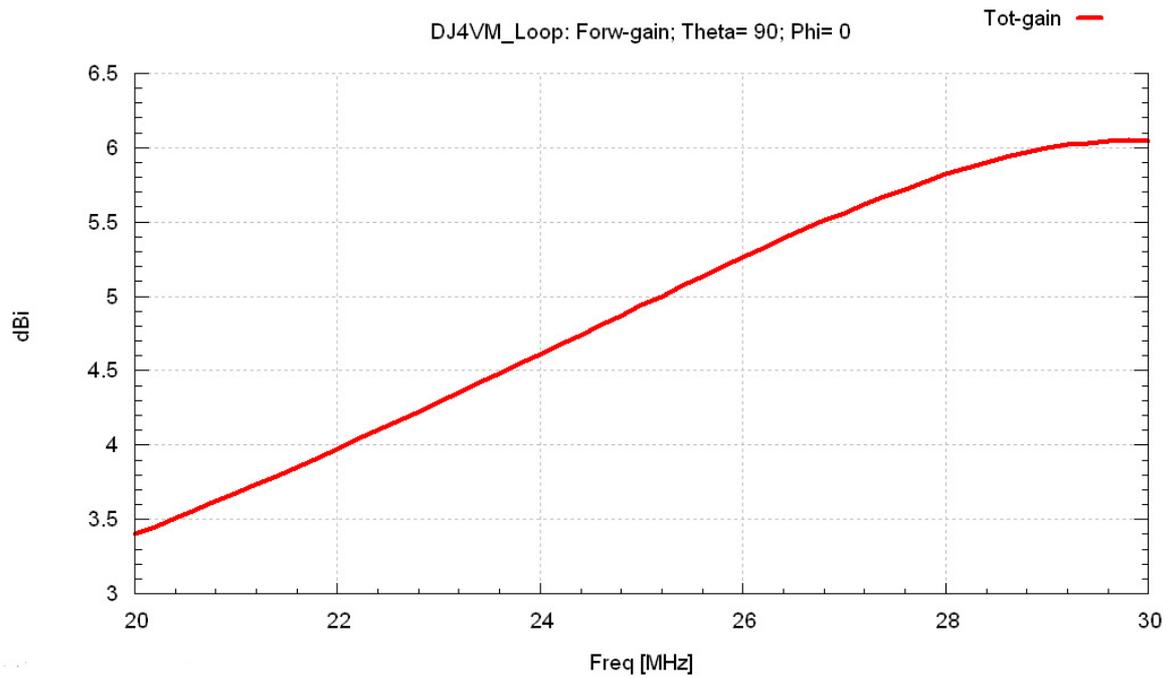


Abb. 21: DJ4VM Loop, Gewinn in dBi von 20-30 MHz, Broadside, Flachstrahlung

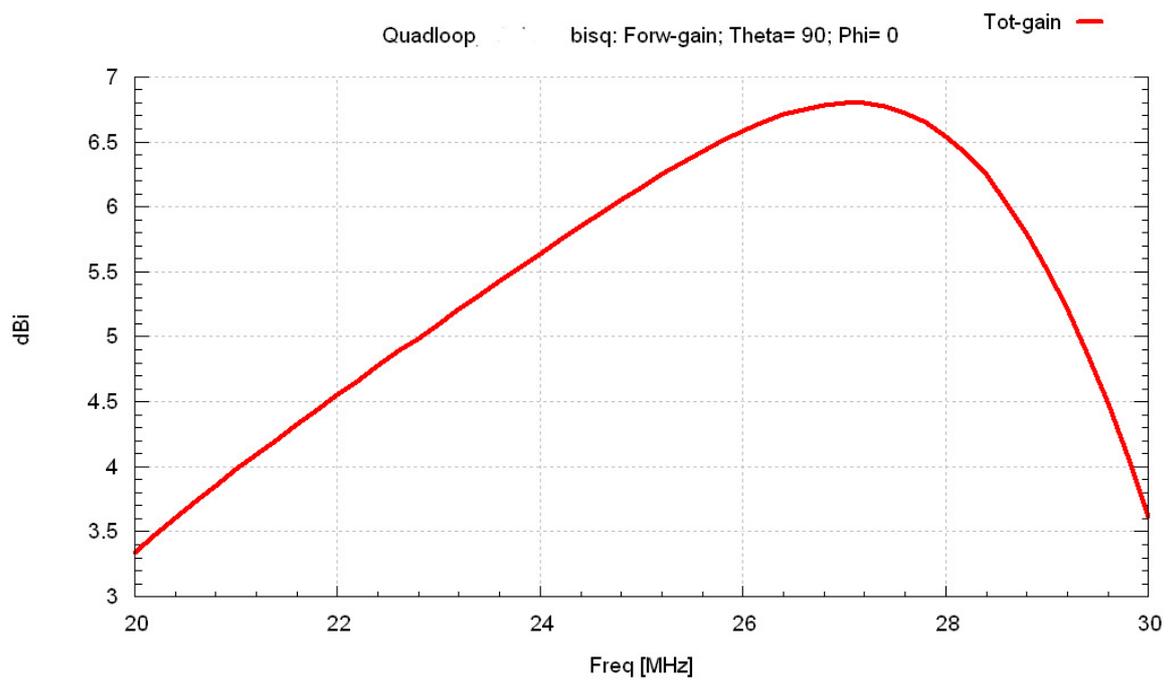


Abb. 22: Offener Quadloop, Gewinn in dBi von 20-30 MHz, Broadside, Flachstrahlung

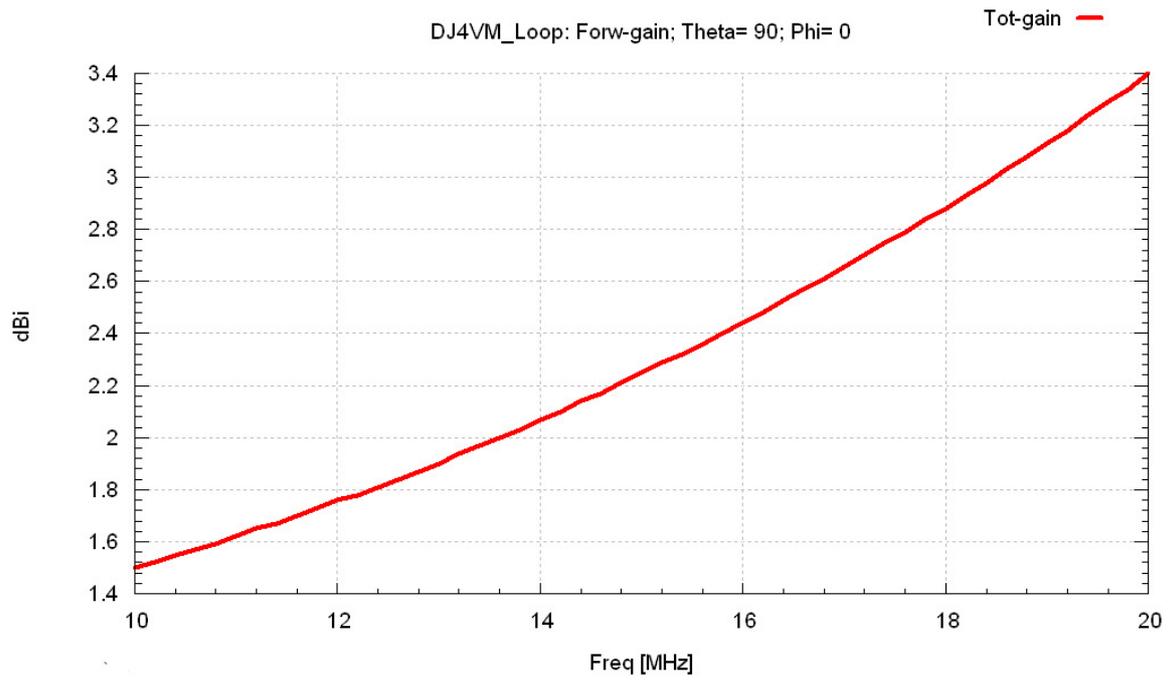


Abb. 23: DJ4VM Loop, Gewinn in dBi von 10-20 MHz, Broadside, Flachstrahlung

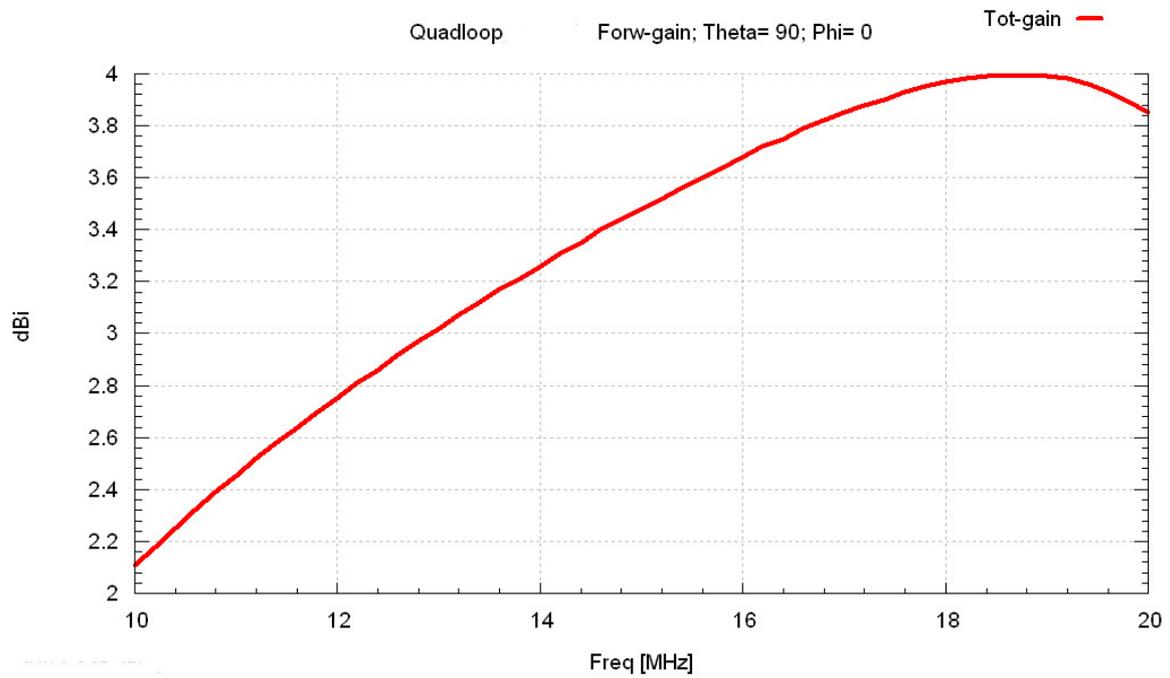


Abb. 24: Geschlossener Quadloop, Gewinn in dBi von 10-20 MHz, Broadside, Flachstrahlung

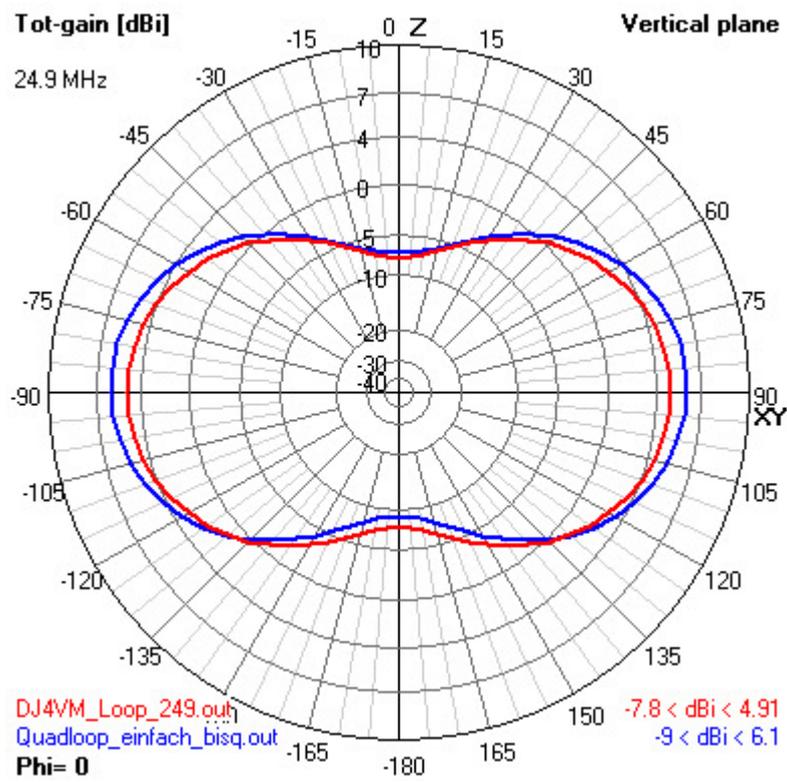


Abb. 25: DJ4VM Loop (rot) im Vergleich zu einem Offenen Quadloop (blau), Frequenz 24.9 MHz, Elevationsdiagramm unter Phi=0.

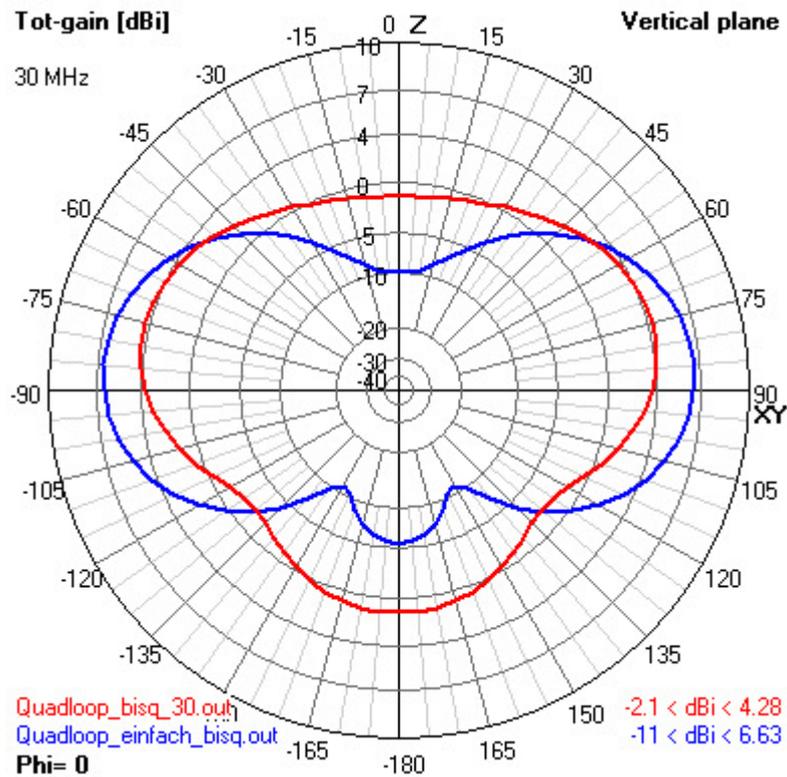


Abb. 26: Vergleich Elevationsdiagramm des Offenen Quadloop bei 28 MHz und 30 MHz für die Maße entsprechend Abb. 3. Oberhalb 28 MHz tritt mit zunehmender eine rasche Änderung der für Broadside –Abstrahlung günstigen Stromverteilung und damit eine Änderung im Diagramm ein.(Abb. 27, Abb. 28)

(Falls 10 m Betrieb eingeschlossen, wird man zweckmäßig den Loopumfang gegenüber Abb. 3 leicht reduzieren)

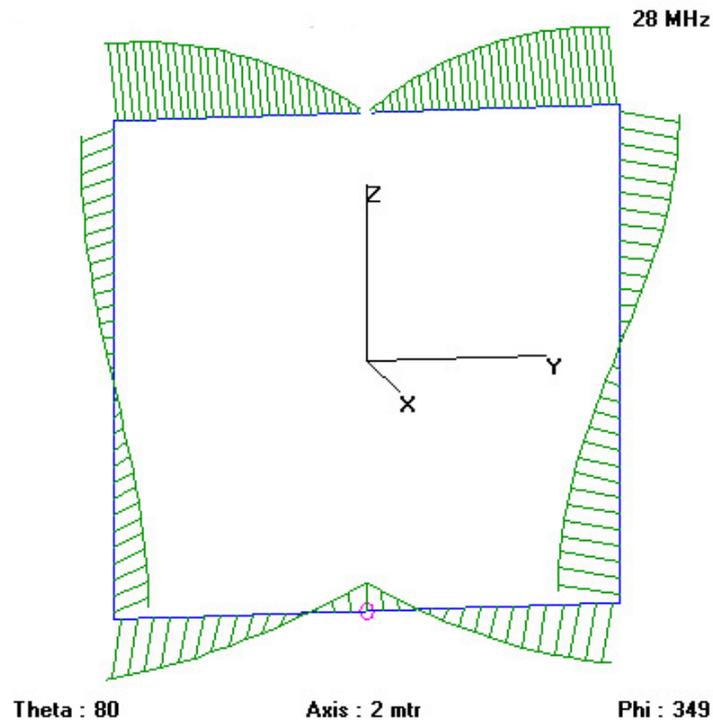


Abb. 27: Stromverteilung auf Offenem Quadloop bei 28 MHz

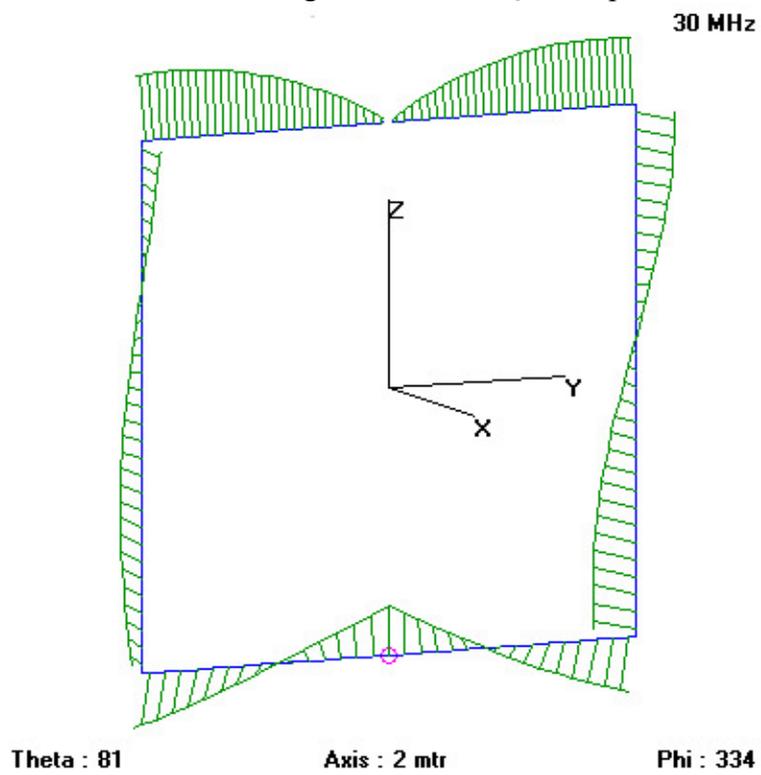


Abb. 28: Stromverteilung auf Offenem Quadloop bei 30 MHz

Tab. 1 vergleicht den maximalen Richtwirkungsgewinn zwischen dem hier beschriebenen Loop und einem DJ4VM Loop mit gleichen äußeren Abmessungen. 40 m bis 15 m geschlossener Loop, 12 m bis 10 m offener Loop

Band [m]	40	30	20	17	15	12	10
Quadloop	1.4	2.1	3.3	4	3.8	6	7
DJ4VM Loop		1.5	2.1	2.9	3.8	5	6

Tab. 1: Maximaler Richtwirkungsgewinn in dBi für Flachstrahlung ( $\Theta=90$  Grad) und senkrecht zur Loopebene ( $\Phi=0$ ). Bänder 40m-15m geschlossener Loop, 12 m –10 m offener Loop. Verluste für Kupferdraht 2 mm Durchmesser eingerechnet. Vergleich zur Abstrahlung eines DJ4VM Loop.

## Eingangswiderstand und Speisung der Loop-Antenne

### Eingangswiderstand des Geschlossenen Loop

Die Abb. 28-32 zeigen die Eingangsgrößen Reeller Eingangswiderstand R, imaginärer Eingangswiderstand X, Impedanz Z und Phasenwinkel für den Geschlossenen Loop im Frequenzbereich 10 – 22 MHz. Die Werte liegen sämtlich in einem Bereich, in dem (z.B.) mit einem einfachen L-Tuner in Tiefpassschaltung eine verlustarme Transformation auf 50 Ohm erreicht wird. Die Daten sind in Tab. 2 aufgeführt. (Der Induktivitätswert im L-Tuner ist der totale Wert, d.h. für die symmetrische Speisung ist der Wert in den beiden Zweigen zu halbieren).

Der Gütefaktor Q für das 30 m Band am 50 Ohm Eingang des L-Tuners beträgt 30 ( $\Delta f/f = 340 \text{ Khz}/10100 \text{ KHz} = 33$ , ermittelt über die Phasenwinkeldifferenz 0- 45 Grad).

Das dazugehörige SWR ist in Abb. 33 dargestellt. Für das 20 m Band beträgt  $Q=24$ . Die entsprechende SWR-Kurve zeigt Abb. 34.

Die SWR –Bandbreiten erlauben somit ohne große Einschränkung für die 4 Bänder feste L und C-Werte des Tuners innerhalb der einzelnen Bänder. Bei einem Frequenzwechsel innerhalb der Bänder ist keine neue Abstimmung im Tuner nötig.

Die zwei Beispiele von 30 m und 20 m sind auch repräsentativ für die zwei anderen Bänder. Die im Amateurfunk erhältlichen und fernbedienbaren Antennenabstimmgeräte basieren meist auf L-Tunern. Natürlich sind zur Anpassung auch andere Tunerformen, wie Transformationen über Schwingkreisen (Z-Match) möglich.

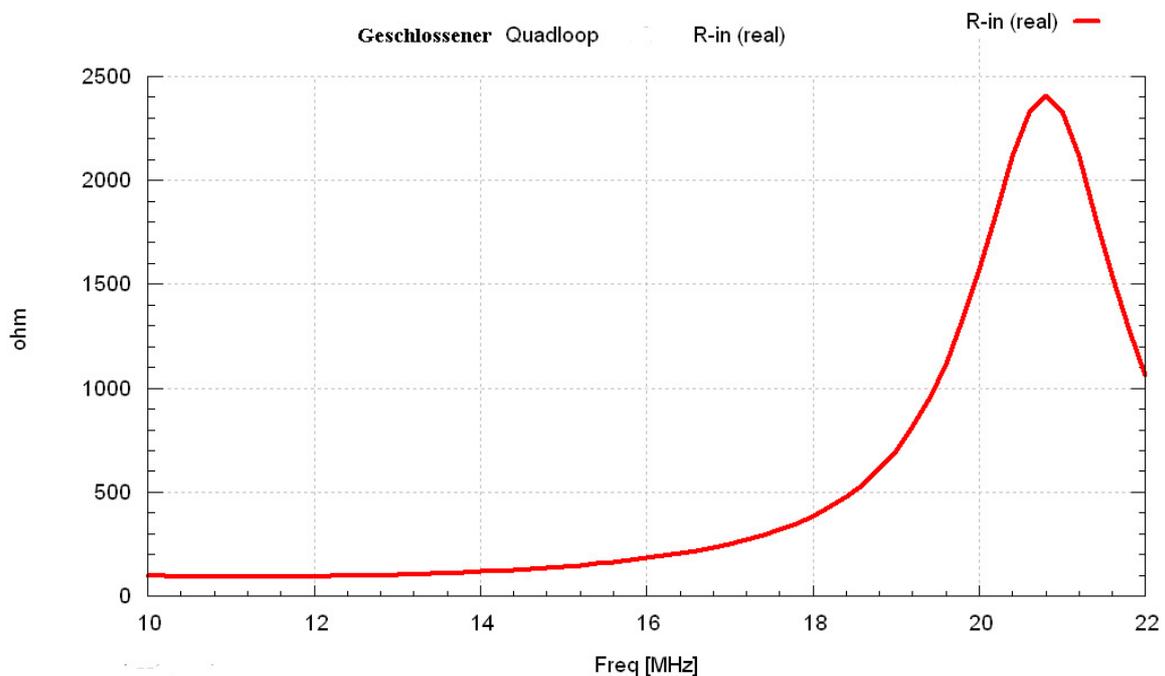


Abb. 29: Reeller Eingangswiderstand für den Geschlossenen Loop in [Ohm] zwischen 10-22 MHz

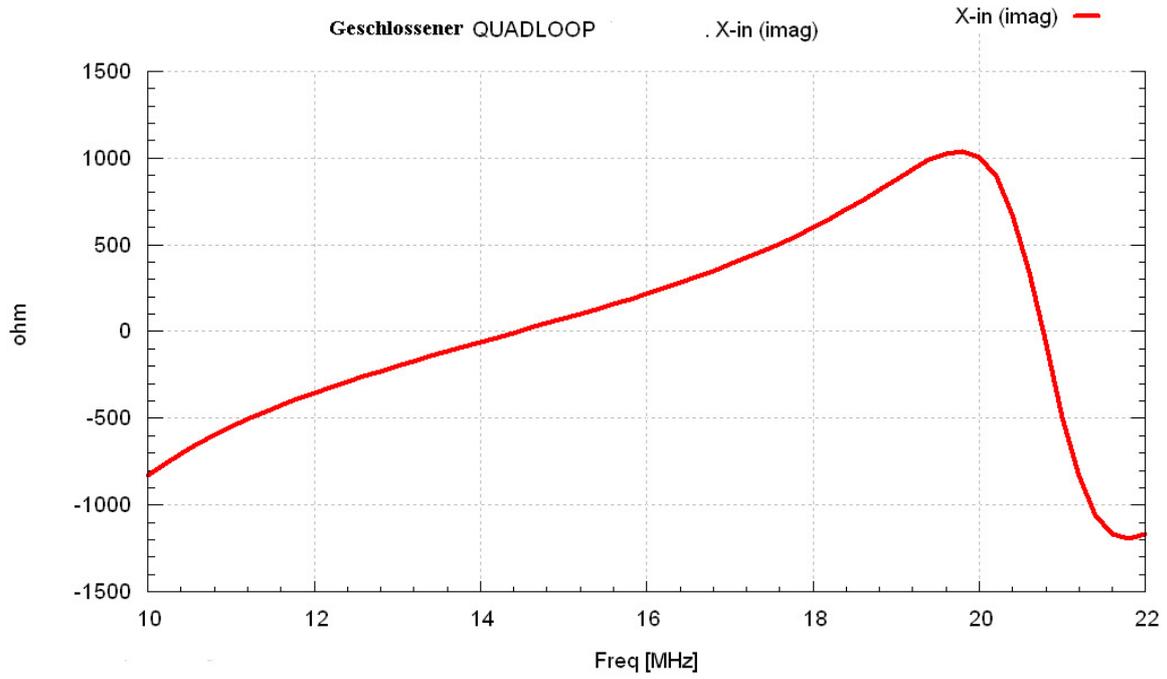


Abb. 30: Imaginärer Eingangswiderstand in [Ohm] für den Geschlossenen Loop zwischen 10-30 MHz.

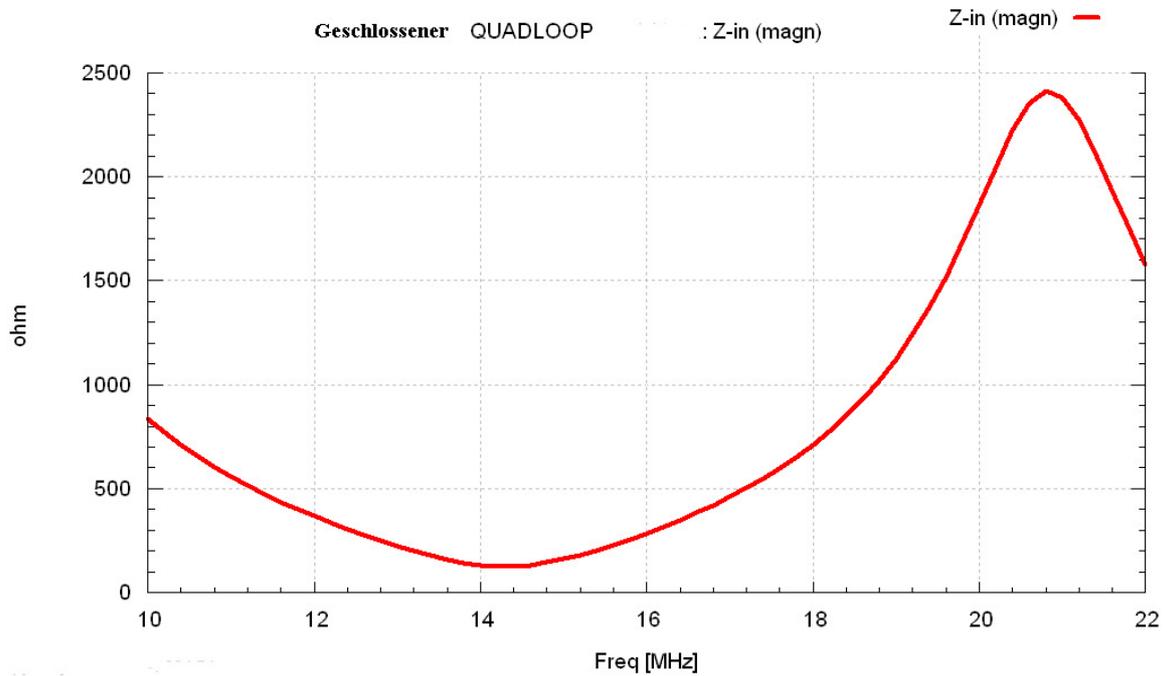


Abb. 31: Betrag der Eingangs- Impedanz für den Geschlossenen Loop [Ohm] zwischen 10 – 30 MHz

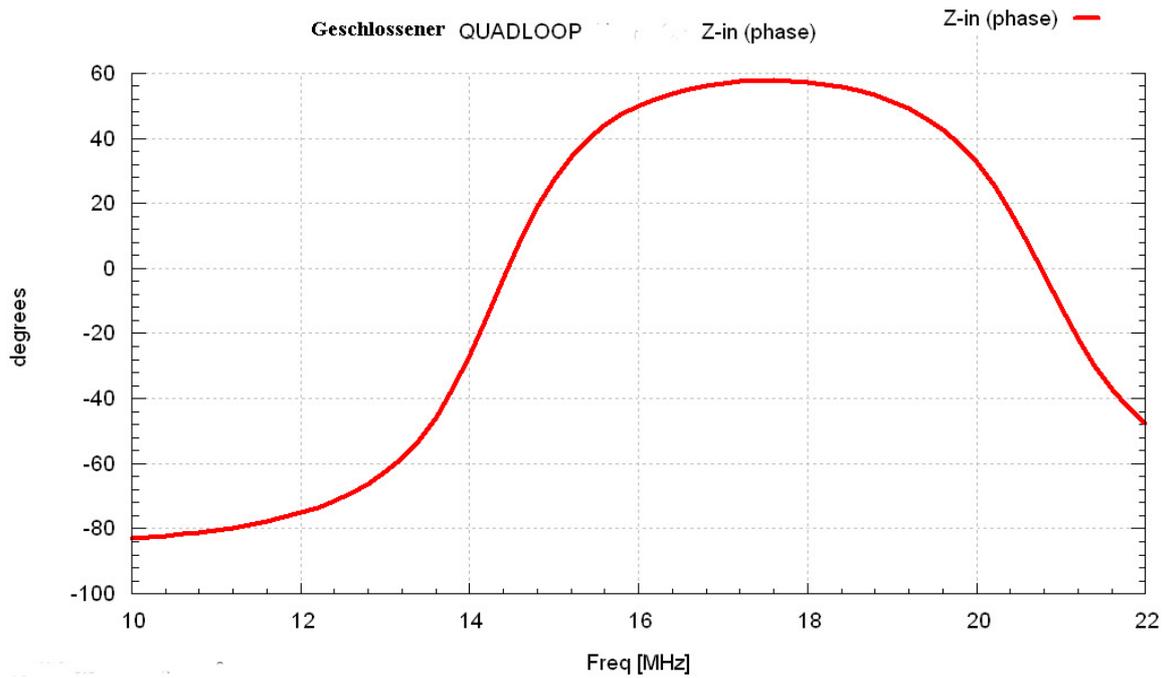


Abb. 32: Eingangs-Phasenwinkel [Grad] für den Geschlossenen Loop im Bereich zwischen 10 – 22 MHz

Band [MHz]	R in {Ohm}	Xin [jOhm]	L [μH]	C [pF]	Verluste [W]
10.1	99	-j795	9	8	5
14.2	123	-j33	0.7	8.5	<1
18.1	406	+j624	2.3	43	2.6
21.2	2113	-j837	2.6	20	3.3

Tab. 2: Komplexer Eingangswiderstand ( $R, jX$ ), L und C Werte für Anpassung auf 50 Ohm mit L-Tuner in TP-Schaltung, sowie Verluste in [W] in den Anpasseinheiten bei einer Speisung mit 100 W.

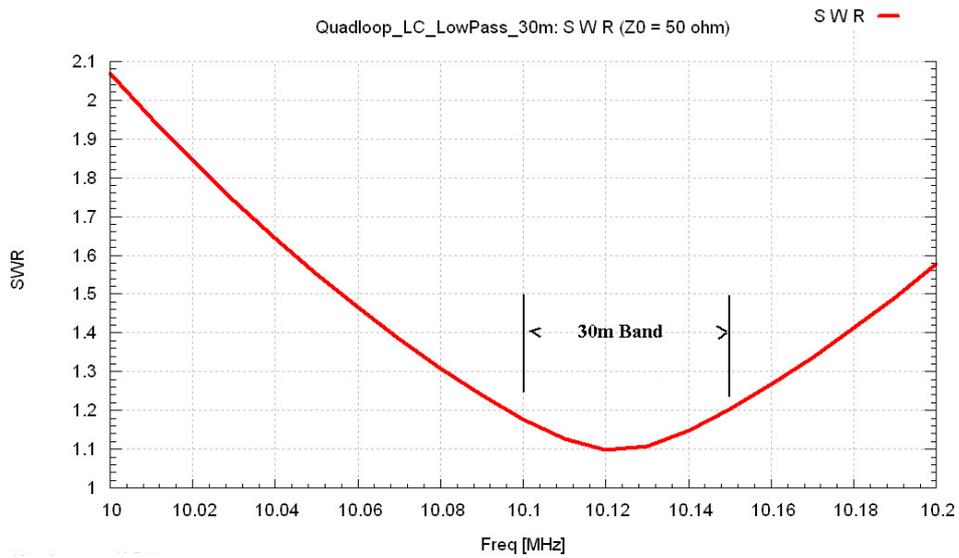


Abb. 33: SWR-Kurve für das 30 m Band nach Transformation auf 50 Ohm mit L-Tuner

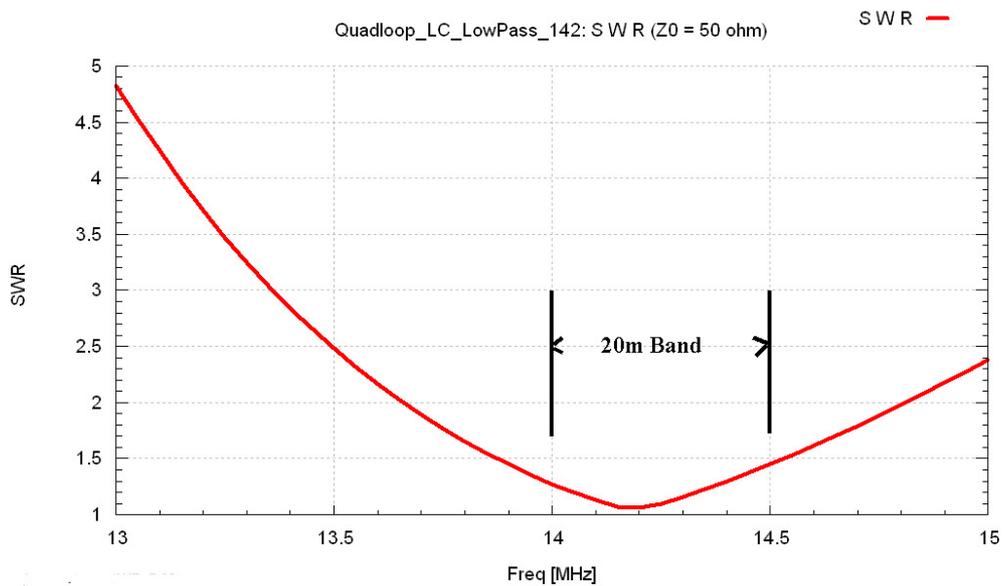


Abb. 34: SWR-Kurve für das 20 m Band nach Transformation auf 50 Ohm mit L-Tuner

## Direktanschluss der Speiseleitung an Speisepunkt Loop

Obwohl vorzuziehen, ist es konstruktiv nicht immer möglich, mit einem Antennentuner am Speisepunkt des Loop die Transformation auf 50 Ohm vorzunehmen um dann mit 50 Ohm Koaxkabel bequem die Verbindung zur Station einzurichten.

Beim direkten Anschluss der Speiseleitung an den Speisepunkt des Loop ist die Verwendung einer symmetrisch aufgebauten Leitung unerlässlich. Die auf der Leitung auftretenden hohen SWR sind zu berücksichtigen.

Die elektrisch günstigste Lösung ist zweifellos die klassische „Hühnerleiter“ oder „Offene Leitung“ mit 400 - 600 Ohm Wellenwiderstand. Allerdings ist durch den großen Abstand der beiden Leiter (z.B. 10 cm) der Umgebungseinfluss (Dachrinne, Mast, Mauerdurchbruch) am größten. Minimalabstände zu einem Störkörper sollten mindestens das doppelte des Leiterabstandes (z.B. 20 cm) betragen. Nicht ganz einfach ist auch der Speiseleiteranschluss einer „offenen Leitung“ wenn die Antenne gedreht werden soll.

Eine gewisse Verbesserung bietet die Verwendung von „Ladder-Line“ oder „Window-Line“. Das Kabel wird insbesondere von der Firma Wireman mit Impedanzen von 300 Ohm und 450 Ohm angeboten. Es handelt sich um Twinlead mit entlang der Leitung über Luftfenster unterbrochenem festem Dielektrikum. Vor allem das 300 Ohm Kabel kann wegen des geringen Leiterabstandes von 6 mm wesentlich näher entlang eines Mastes oder entlang von Wänden geführt werden als dies mit Hühnerleitern der Fall ist. Bei Verwendung im Außenbereich ist jedoch eine witterungsbedingte Änderung des Wellenwiderstandes und eine erhebliche Zunahme der Leitungsverluste (Abb. 37) hinzunehmen.

Koaxkabel können zu einer symmetrischen Speiseleitung zusammengeschlossen werden (Abb. 35) Im Beispiel sind 4 Kabel gezeichnet. Für einen Leiterast werden 2 Kabel eingesetzt, was die Leitungsverluste halbiert. Der Wellenwiderstand der symmetrischen Leitung beträgt das doppelte der Kabelimpedanz (bei Verwendung von 50 Ohm Koax dann 100 Ohm, symmetrisch). Auf der Senderseite sind die miteinander verbundenen Außenleiter der Koaxkabel mit Masse (Chassis) zu verbinden, auf der Antennenseite sollen sie offen bleiben (floating, Angabe ARRL-Antennenbook). Die 4 Kabel können zu einem Bündel zusammen geschnürt werden. Die Kabelverlegung ist wie bei Koaxkabel unkritisch. Die höheren Kabelverluste sind für die jeweilige Anwendung abzuschätzen.

Es ist ohne weiteres möglich, die Speiseleitung entsprechend der der Umgebung aus Stücken von Offener Leitung, Window-Leitung und Symmetrischem Koaxkabel zusammenzusetzen.

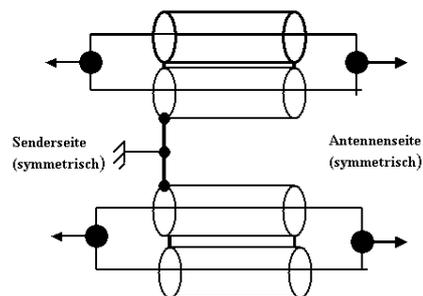


Abb. 35.: Symmetrische Speiseleitung gebildet aus unsymmetrischem Koaxkabel. (Im Beispiel sind die Leiter der Parallelleitung aus 2 parallel geschalteten Kabeln zusammengesetzt.)

Abb. 37 zeigt Leitungsverluste von jeweils 10 m „Offener Leitung“, Wiremanleitung trocken und nass und Koaxkabel RG213. Die Verluste gelten für mit dem jeweiligen Wellenwiderstand abgeschlossene Leitungen (SWR 1). Für  $SWR > 1$  erhöhen sich die Leitungsverluste um den Faktor  $(s*s+1)/2$  (für  $s \gg 1$  näherungsweise  $s/2$ ).

Das SWR auf den Speiseleitungen des Loop entsprechend den Eingangsimpedanzen zeigt Abb. 36 für verschiedene Wellenwiderstände der Leitungen. Berücksichtigt man die Kabelverluste mit den jeweiligen SWR, so resultiert daraus die Tab. 3.

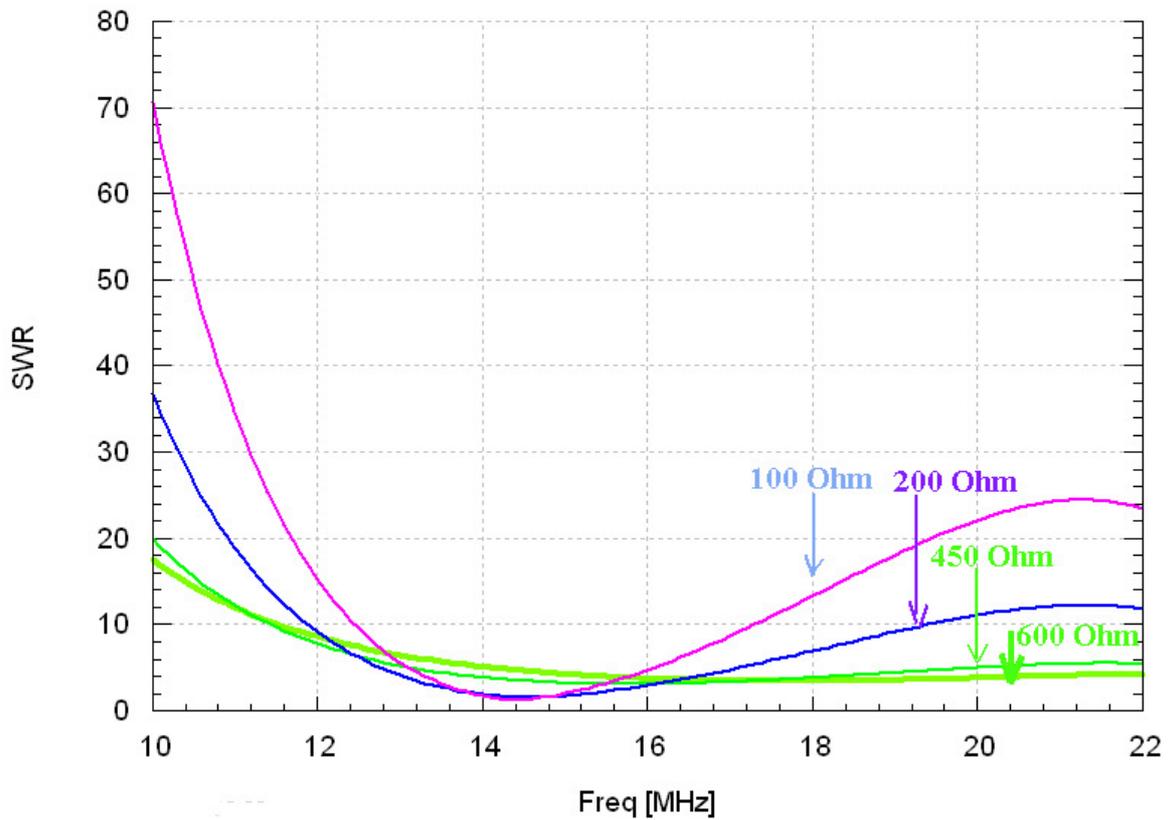


Abb. 36: Stehwellenverhältnisse (SWR) auf Speiseleitungen mit Impedanzen von  $Z=100,200,450,600$  Ohm. Geschlossener Loop, Frequenzen 10-22 MHz.

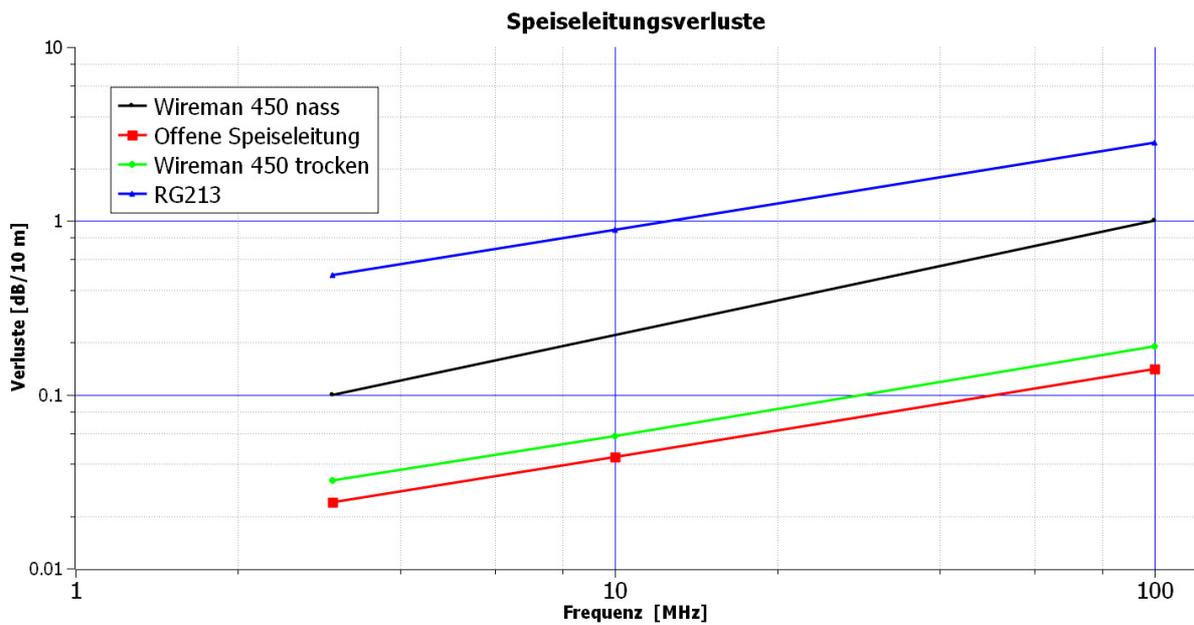


Abb. 37.: Leitungsverluste für Offene Speiseleitung, Wireman-Leitung trocken und nass, RG213 (Die Wiremandaten stammen aus Messungen von Les Stewart. N7WS).

<b>Band [m]</b>	<b>Offene Leitung 600 Ohm</b>	<b>Wireman 450 Ohm trocken</b>	<b>Wireman 450 Ohm nass</b>	<b>2*RG213 100 Ohm</b>
<b>30</b>	<b>0.36</b>	<b>0.6</b>	<b>2</b>	<b>17</b>
<b>20</b>	<b>0.12</b>	<b>0.16</b>	<b>0.5</b>	<b>1.2</b>
<b>17</b>	<b>0.14</b>	<b>0.18</b>	<b>0.6</b>	<b>5</b>
<b>15</b>	<b>0.16</b>	<b>0.2</b>	<b>0.75</b>	<b>8</b>

Tab. 3.: Leitungsverluste in dB für 10 m Leitungslänge bei Speisung des Geschlossenen Loop für die Bänder 30 m bis 15 m. Die Verluste berücksichtigen die SWR auf den Bändern. Die Speiseleitung aus Koaxkabel ist symmetrisch aufgebaut.

## Eingangswiderstand „Offener Loop“ oder „Bisquare“.

Die Öffnung des Relais in der Mitte des oberen Loop-Astes führt zum „Offenen Loop“. Die Anpassungstechniken für den „Offenen Loop“ schließen sich der des „Geschlossenen Loop“ an. Die Eingangsimpedanzen am Loop betragen für 24.95 MHz  $583 + j1240$  Ohm, für 28.5 MHz  $675 - j1841$  Ohm (Abb. 38). Die Transformation auf 50 Ohm mit einem L-Tuner am Speisepunkt des Loop ist einfach und erreicht einen Wirkungsgrad über 95 %.

Beim direkten Anschluss der Speiseleitung an den Loop entstehen hohe SWR auf den niederohmigen Speiseleitungen für die Bänder 12 m und 10 m (Abb. 39). Es sind also wie beim Geschlossenen Loop aus der Länge und den Kabelgrößen Abschätzungen zu den Verlusten auf der Speiseleitung ratsam. So kann z.B. ein kurzes Stück symmetrischer Koaxleitung den Übergang von einer fest angebrachten Hühnerleiter zum mit der Antenne sich drehenden Speisepunkt des Loop führen. Ein weiteres Koaxstück führt durch die Hauswand, wo es im Haus mit einer Wireman-Window-Line zur Station weitergeht.

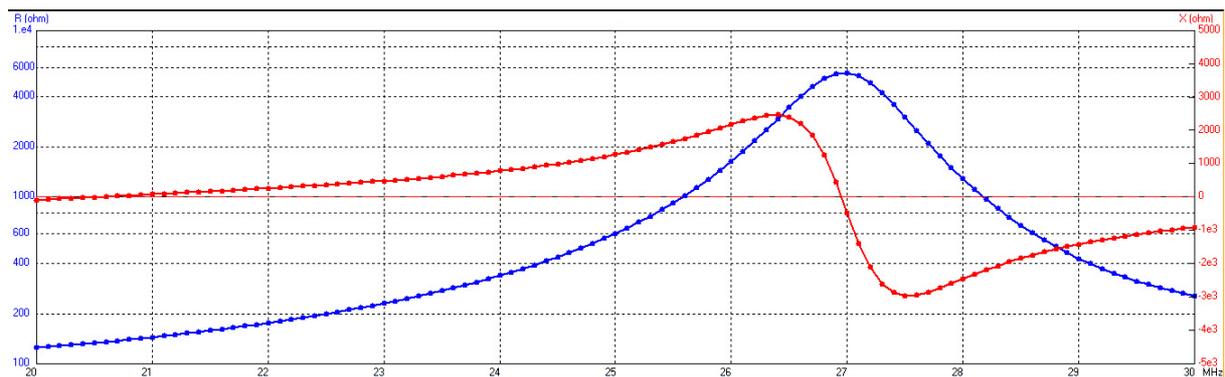


Abb. 38.: Reeller und imaginärer Eingangswiderstand für den „Offenen Loop“ zwischen 20 – 30 MHz.

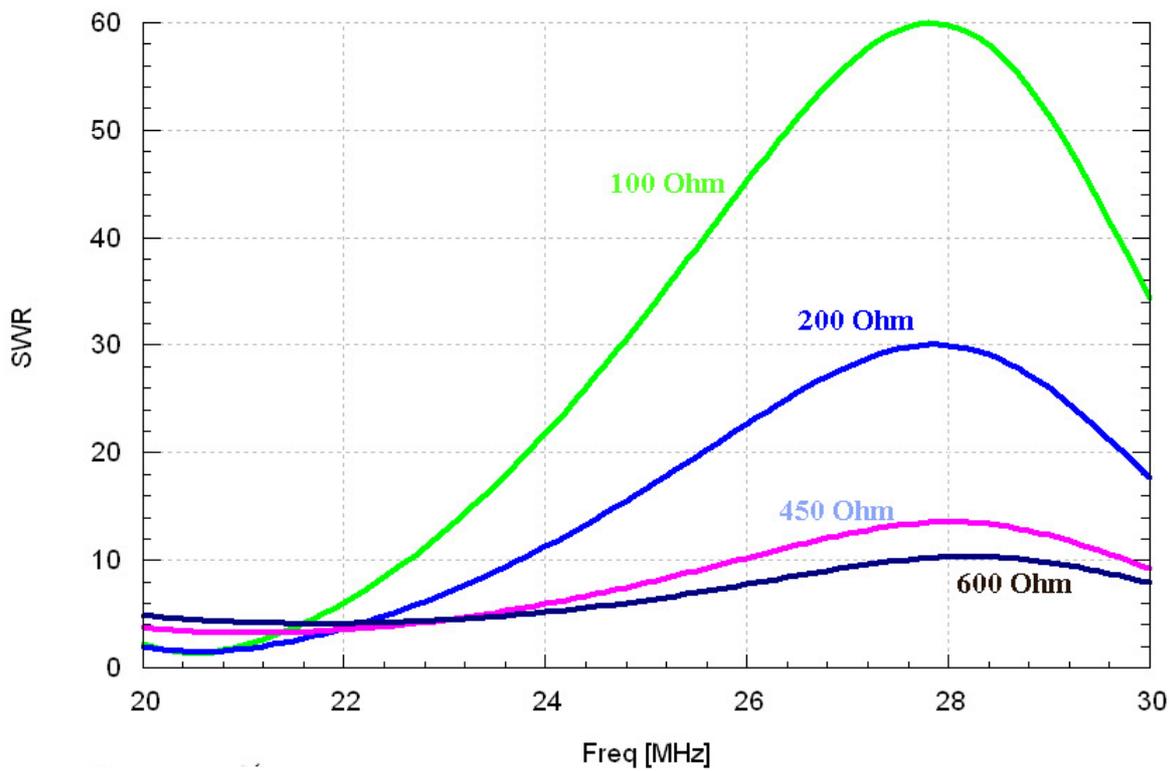


Abb. 39: Stehwellenverhältnisse (SWR) auf Speiseleitungen mit Impedanzen von  $Z=100,200,450,600$  Ohm. Offener Loop, Frequenzen 20-30 MHz.

### Anmerkungen.

Die Berechnungen erfolgten mit dem Antennensimulationsprogramm 4NEC2 von Arie Voors, dem Plotprogramm SciDaVis und dem Mathematikprogramm MATLAB.