

# **Magnetische Loopantennen (Mag Loop) Betrachtungen zur Abstrahlung**

(Vorbereitende Unterlage für ein Projekt OV Esslingen)

Von Rolf Schick , DL3AO

## **Einleitung**

Im Vergleich zu anderen Antennenformen ist der Betrieb mit „Small Transmitting Loops“ im Amateurfunk jung. Das RSGB-Handbook von 1982 erwähnt diese Antennen nicht, das ARRL-Handbook von 1988 widmet ihnen wenige Textzeilen. Kein Wunder. Für die Amateurfunke gab es wenig Anlass, sich mit verkürzten Antennen unnötig Probleme in der Abstimmung und mit Verlusten einzuhandeln. Die damaligen MW- und LW-Rundfunkempfänger benötigten lange Drähte für einen guten Empfang. Antennen auf und zwischen Wohnhäusern waren allgegenwärtig. Die 40 m lange Zeppelinantenne zum Nachbar, oft über eine Straße gespannt, gehörte zur Grundausrüstung vieler Amateure. In meiner Erinnerung kenne ich keinen Funker, der in diesen früheren Jahren Genehmigungsprobleme beim Errichten seiner Antenne hatte.

Die Zeiten haben sich geändert. Bevölkerungszunahme, verdichtete Bauweise, Technikfeindlichkeit, „Strahlenangst“, anonyme Nachbarschaft und in Neubausiedlungen generelle Antennenverbote haben dazu geführt, dass der Antennenbau für Amateure oft das dominierende Hindernis zum Funk darstellt. Naturgemäß gilt: Je größer die Dimension, je problematischer der Bau.

Vom Mobilbereich her sind gegenüber der Resonanzlänge verkürzte Antennen dem Amateur nicht unbekannt. Die Kompensation der kapazitiv eingehenden Blindkomponenten erfordert jedoch Spulen mit hohen Gütefaktoren und bei Frequenzänderung veränderbaren Induktivitäten. Ein Umstand, welcher nicht einfach zu verwirklichen ist.

In diesem Umfeld haben sich kleindimensionierte Antennenformen entwickelt, die nicht selten einer Antennenmythologie angehören. Vom Erfinder hochgelobt, vom Anwender oft als „Dummy Load“ bezeichnet. Dieses Schicksal hat auch die von der altbekannten Rahmenantenne abgeleitete und für Sendebetrieb modifizierte Schleifenantenne („Magnetic Loop“, „Mag Loop“) lange Zeit erfahren. Zu unrecht, wie wir heute wissen.

Die Mag Loop Antenne stellt elektrisch einen Parallelschwingkreis dar. Die Induktivität des Kreises ist eine meist kreisförmige Spule von ein (oder seltenerer zwei) Windungen. Der Umfang der Windung liegt zwischen einem Drittel und einem Achtel der Wellenlänge bei möglichst großem Flächeninhalt. Abb. 1 zeigt die Blindkomponente der Eingangsimpedanz für einen (quadratischen) Loop mit 22 m Umfang in Abhängigkeit der Frequenz zwischen 0.5 und 30 MHz. Für 14 MHz entspricht der Umfang einer Wellenlänge mit Blindkomponente Null (Resonanz) und Wirkwiderstand etwa 100 Ohm. (Im Amateurfunk die bekannte Quadloop Antenne). Für Frequenzen oberhalb der Resonanz steigt die Blindkomponente mit induktiven Werten an, für Frequenzen unterhalb mit kapazitiven Werten. Der typische Verlauf für Antennen. Wie Abb. 1 zeigt, wird jedoch unter einem Drittel Wellenlänge des Umfangs die Blindkomponente wieder induktiv. Der Loop verhält sich jetzt entsprechend der Induktivität einer Spule. Für die Abstimmung bei veränderlichen Frequenzen ein wesentlicher

Vorteil. Es ist in der Praxis einfacher, mit hohen Gütefaktoren variable Kapazitäten statt variable Induktivitäten herzustellen. Allerdings muss bei der Energiezuführung zur Mag Loop ein Wirkwiderstand von deutlich unter ein Ohm in Kauf genommen werden. Bei der technischen Ausführung der Mag Loop müssen zur Vermeidung ohm'scher Verluste hohe Schwingkreisgüten angestrebt werden. Die variabel ausgeführte Kapazität der Mag Loop muss zur 50 Ohm Anpassung an den Sender schon nach wenigen KHz Frequenzänderung nachgestimmt werden.

Diesen als Nachteil angesehenen Faktoren muss aber entgegengestellt werden, dass mit einer ringförmigen Antenne von 1 m Durchmesser im Frequenzbereich zwischen 14- 30 MHz Abstrahlungen zu erreichen sind welche bis auf 1 oder 2 dB einem Halbwellendipol gleich kommen. Aussagen wie „die Mag Loop taugt nichts“ beruhen meist auf mangelnder Qualität in der technischen Ausführung und/oder auf einem verlustbehafteten Aufstellungsort.

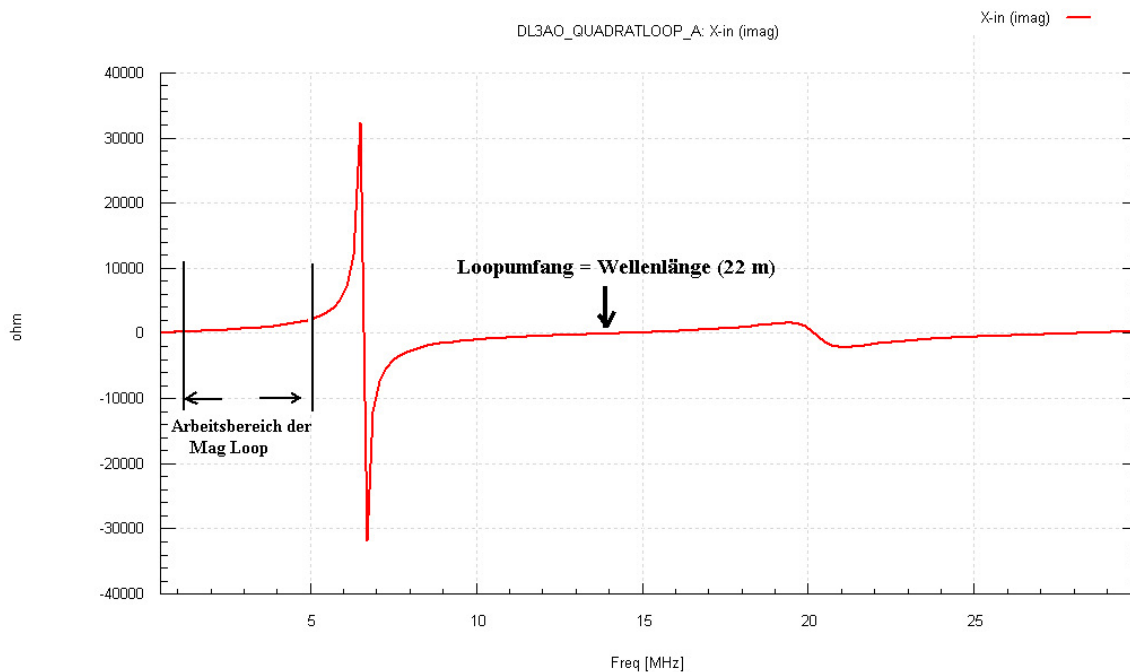


Abb. 1: Blindkomponente des Eingangswiderstandes einer quadratischen Loop mit 22 m Umfang. Unterhalb einer Wellenlänge von etwa ein Drittel Loopumfang wird die Blindkomponente induktiv.

## Eingangsgrößen

Die folgenden Diskussionen zur Abstrahlung basieren auf einem achteckförmigen Loop (Abb. 2). Die Speichenlänge beträgt 0.54 m, Abstand zwischen den parallelen Segmenten 1 m. Wenn nichts anderes erwähnt, besteht die Spule aus Kupferdraht von 1 cm Durchmesser. In der Rechnung sind die Verluste im Kondensator, ebenso wie die Energieankopplung, die z.B. über eine Linkspule erfolgen kann, vernachlässigt gegenüber den dominierenden Spulenverlusten. S ist der Speisepunkt.

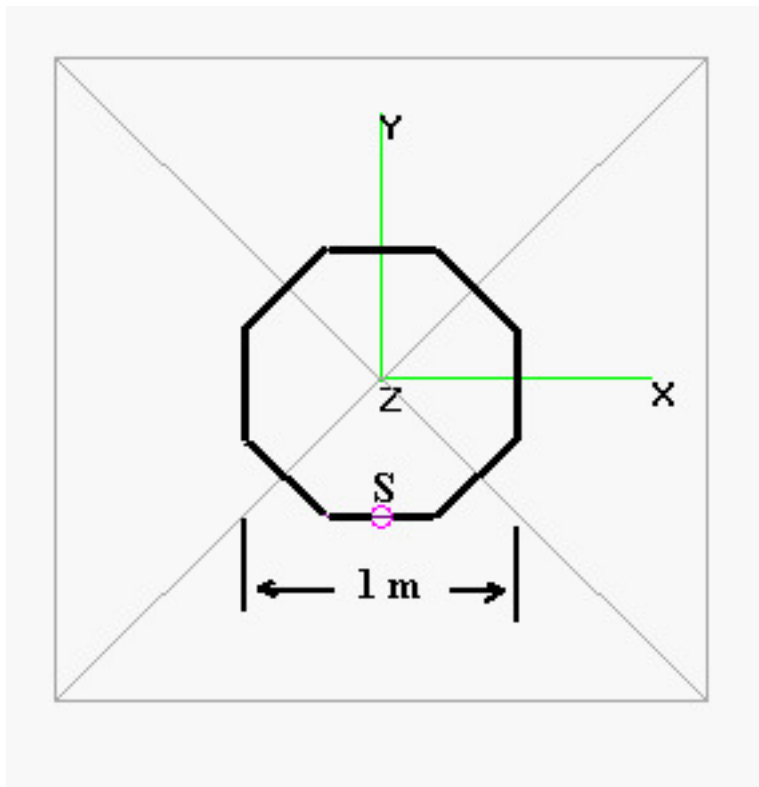


Abb. 2: Verwendete Geometrie für die untersuchten Mag Loop. Das Achteck nähert die in der Praxis kreisförmig gebogenen Schleifen gut an. Schleifenumfang 3.2 m

Der Strom in der Spule ist über die Länge verteilt nahezu konstant. Dies begünstigt zur Berechnung der Abstrahldiagramme die Verwendung des „Numerical Electromagnetics Code (NEC)“. Verwendet wird das Simulationsprogramm 4NEC2.

Die in den Diagrammen in dBi angegebenen Tot-gain Feldstärkewerte stellen die Zusammensetzung von horizontaler und vertikaler Polarisierung dar.

Die Kenngrößen für Average Earth sind Leitfähigkeit = 0.005 S/m, Dielektrizitätskonstante 13.

Alle Abstrahldiagramme in der Abhandlung wurden mit der Geometrie von Abb. 2 vorgenommen.

### Abstrahldiagramme

Abb. 3 zeigt in einer 3D Darstellung die Freiraum-Abstrahlung einer vertikal orientierten Mag Loop. Die Abstrahldiagramme von Mag Loop Antennen sind in ihrer Form gegenüber Halbwellen-Dipolantennen um 90 Grad gedreht. Bei der vertikal orientierten Mag Loop ist die Abstrahlung in der Polarebene (im Bild xz-Ebene) kreisförmig, die Äquatorialebene (xy-Ebene) zeigt im Diagramm die bekannte Form einer Acht. Vertikale Mag Loop sind mit horizontalen Halbwellendipolen zu vergleichen, horizontale Mag Loop mit Vertikaldipolen.

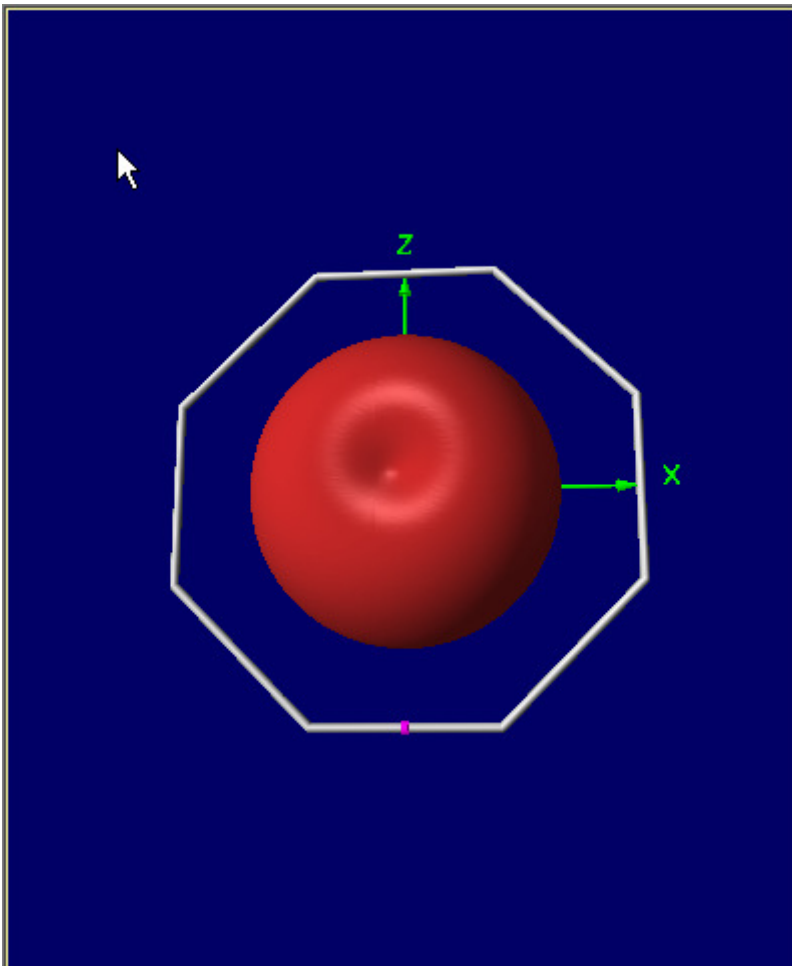


Abb. 3: Abstrahldiagramm für eine vertikal orientierte Mag Loop im Freiraum

Die Abb. 3a-3m zeigen zweidimensionale Schnitte in der Abstrahlung für die angegebenen Ebenen.

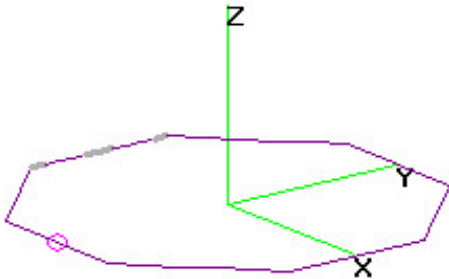


Abb. 3a: Koordinatensystem für horizontal orientierten Mag Loop (O: Speisepunkt)

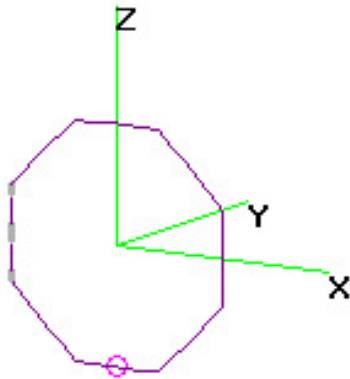


Abb. 3b: Koordinatensystem für vertikal orientierten Mag Loop (O: Speisepunkt)

Bei der „Horizontalen Mag Loop“ liegt die Loopfläche parallel zur Erdoberfläche, bei der „Vertikalen Mag Loop“ steht sie senkrecht

Die Diagramme in den Abb. 3c – 3m beziehen sich auf die Freiraumabstrahlung eines Mag Loop mit der Geometrie von Abb. 2 und einer Leiterschleife aus Kupfer mit 1 cm Durchmesser.

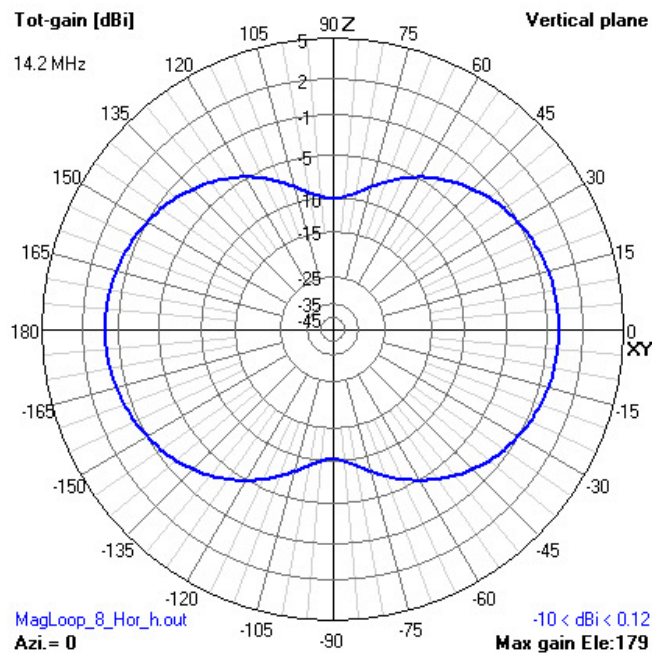


Abb. 3c: Horizontalloop, Vertikaldiagramm unter Azimut 0 Grd, Max Total Gain 0.12 dBi

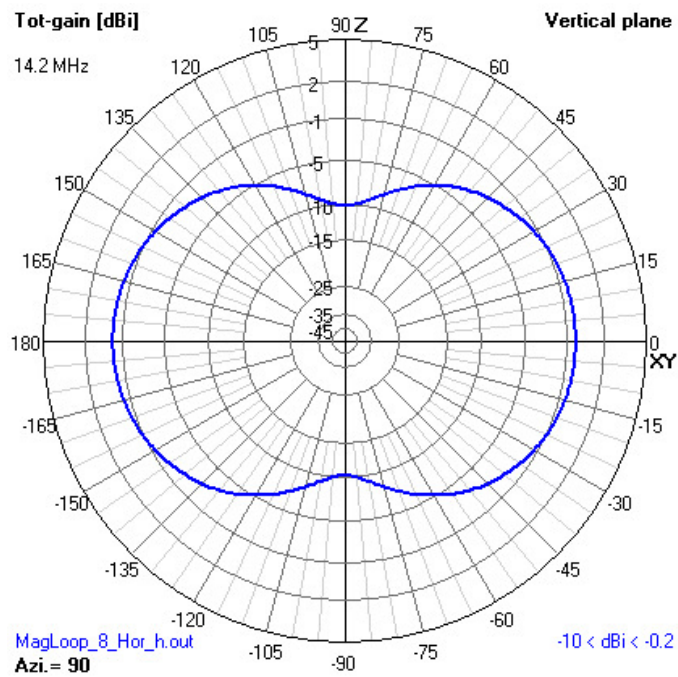


Abb. 3d: Horizontalloop, Vertikaldiagramm unter Azimut 90 Grd, Max Total Gain -0.2 dBi

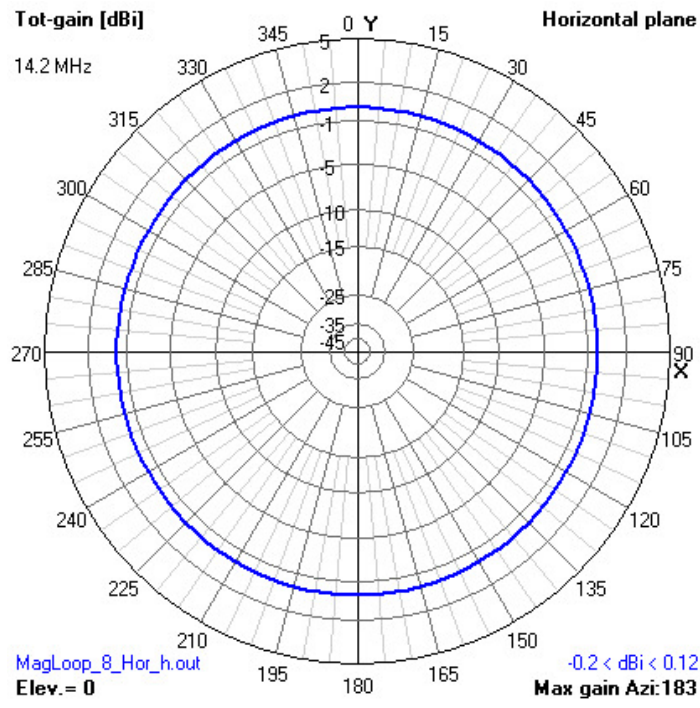


Abb. 3e: Horizontalloop, Horizontaldiagramm unter Elevation 0 Grd, Max. Total Gain 0.12

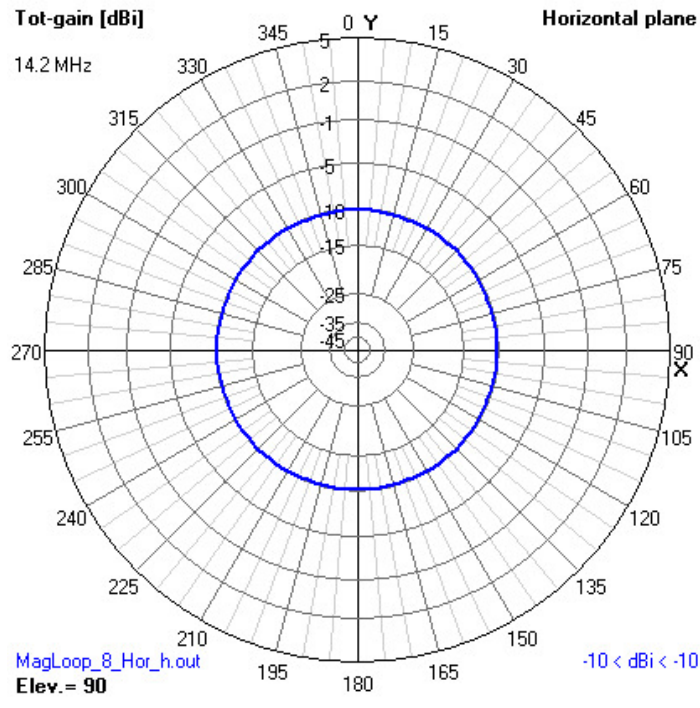


Abb. 3f: Horizontalloop, Horizontaldiagramm unter Elevation 90 Grd, Max. Total Gain 0.12

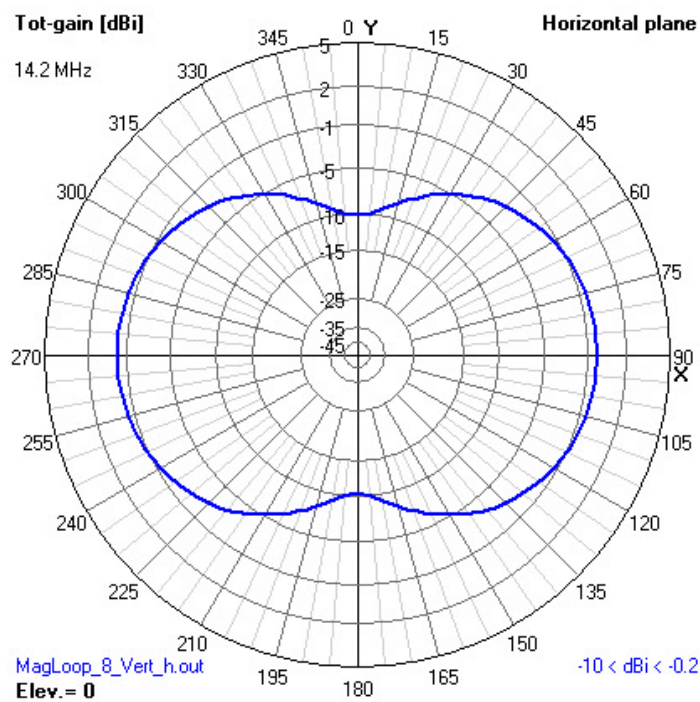


Abb. 3g: Vertikalloop, Horizontaldiagramm unter Elevation 0 Grd, Max. Total Gain -0.2 dBi

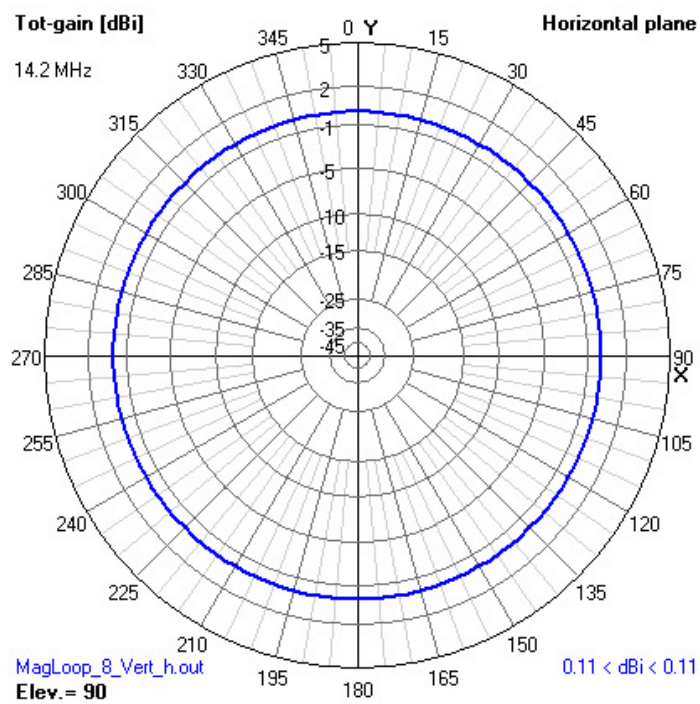


Abb.3h: Vertikalloop, Horizontaldiagramm unter Elevation 90 Grd, Max. Total Gain 0.11 dBi



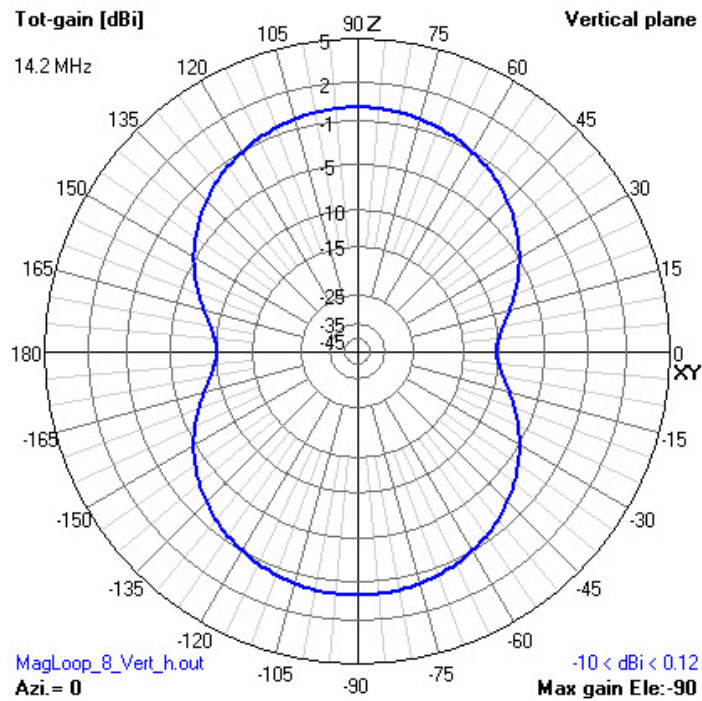


Abb. 3i: Vertikalloop, Vertikaldiagramm unter Azimut 0 Grd, Max. Total Gain 0.12 dBi

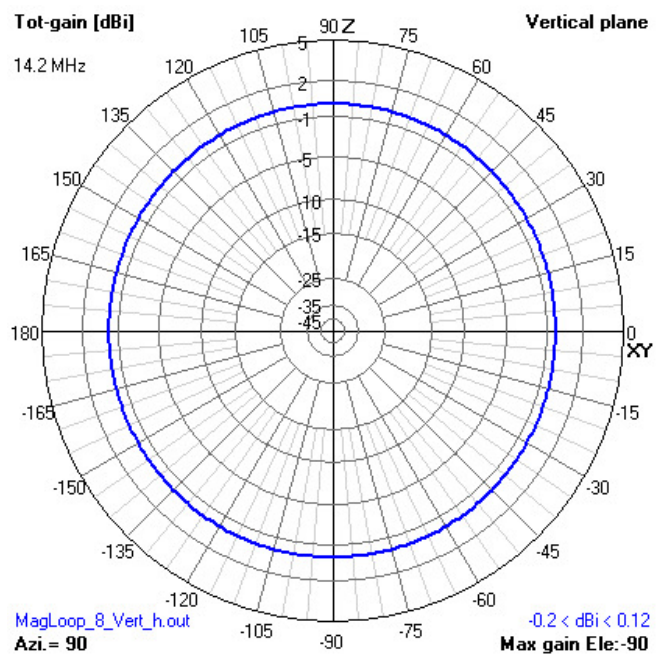


Abb. 3k: Vertikalloop, Vertikaldiagramm unter Azimut 90 Grd, Max. Total Gain 0.12 dBi

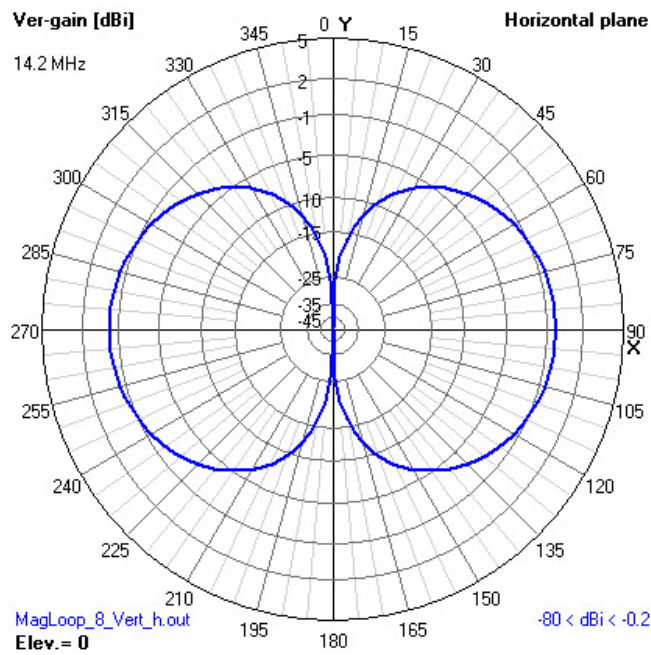


Abb. 3l: Vertikalloop, Horizontaldiagramm, Elevation 0 Grd, vertikale Polarisation, max Gain  $-0.2$  dBi

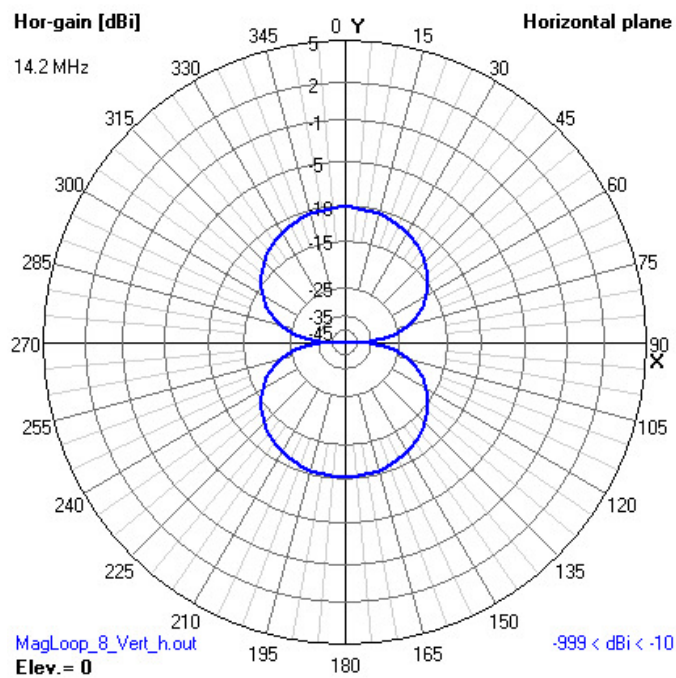


Abb. 3m: Vertikalloop, Horizontaldiagramm, Elevation 0 Grd, horizontale Polarisation, max Gain  $-10$  dBi

Die Abb. 3l und 3m erklären das nicht sehr ausgeprägte Vor- Seitwärtsverhältnis des Mag Loop in der Total Gain (was in der Praxis auch beobachtet wird). Die Total-Gain setzt sich aus vertikaler und horizontaler Polarisation zusammen. Der H-Loop zeigt mit  $-10$  dB vertikale Polarisation, der V-Loop umgekehrt horizontale Polarisation.

## Vertikale Mag Loop

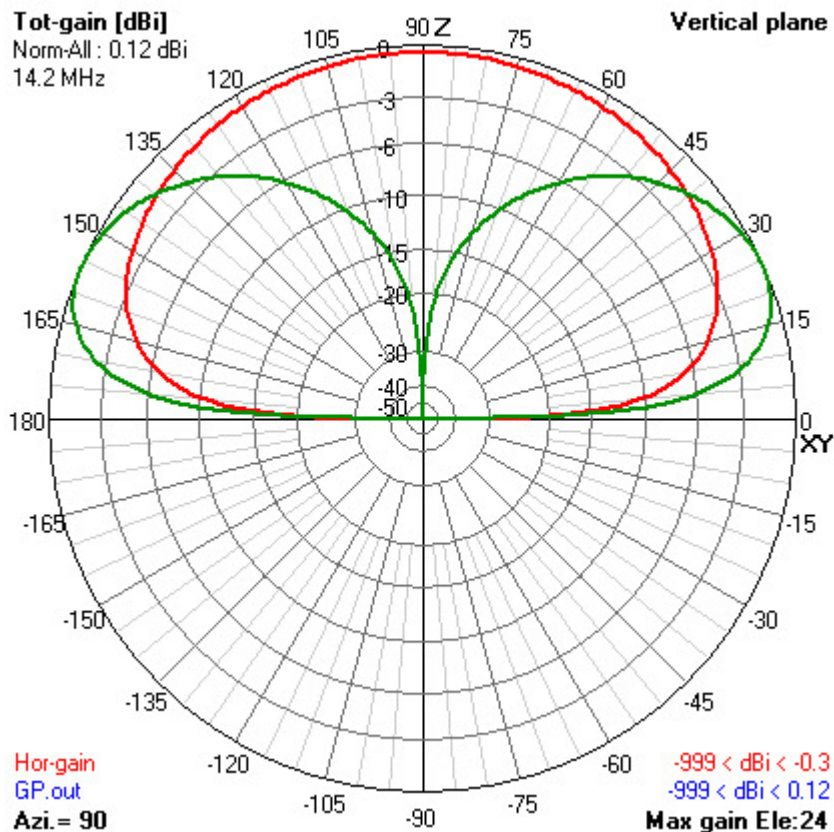


Abb. 4: Elevationsdiagramm, 14 MHz.  
 Vertikale Mag Loop (rot, max gain  $-0.3$  dBi)  
 Groundplane Ant (grün, max gain  $0.12$  dBi)  
 Speisepunkte jeweils 1 m über avg. Grd.

Abb. 4 zeigt die Abstrahlung einer vertikal orientierten Mag Loop im Vergleich zu einer Groundplane mit Viertelwellenlänge und 4 horizontalen Radials gleicher Länge. Speisepunkt Groundplane und Unterkante Mag Loop befinden sich jeweils 1 m über Boden mit elektrischen Eigenschaften von „Average Ground“.

Beim Elevationswinkel von 15 Grad ist die Mag Loop 3 dB schlechter als die GP. Dafür zeigt die Mag Loop eine ausgesprochen starke Steilstrahlung. Im Azimutaldiagramm sind beide Antennen omnidirektional.

In den folgenden Abb. 5 und 6 werden die Höhen über Boden auf 4m und 10 m erhöht. In 4m Höhe ist die Mag Loop auch bei kleinen Elevationswinkeln der GP leicht überlegen. Dabei bleibt die Steilstrahlung erhalten.

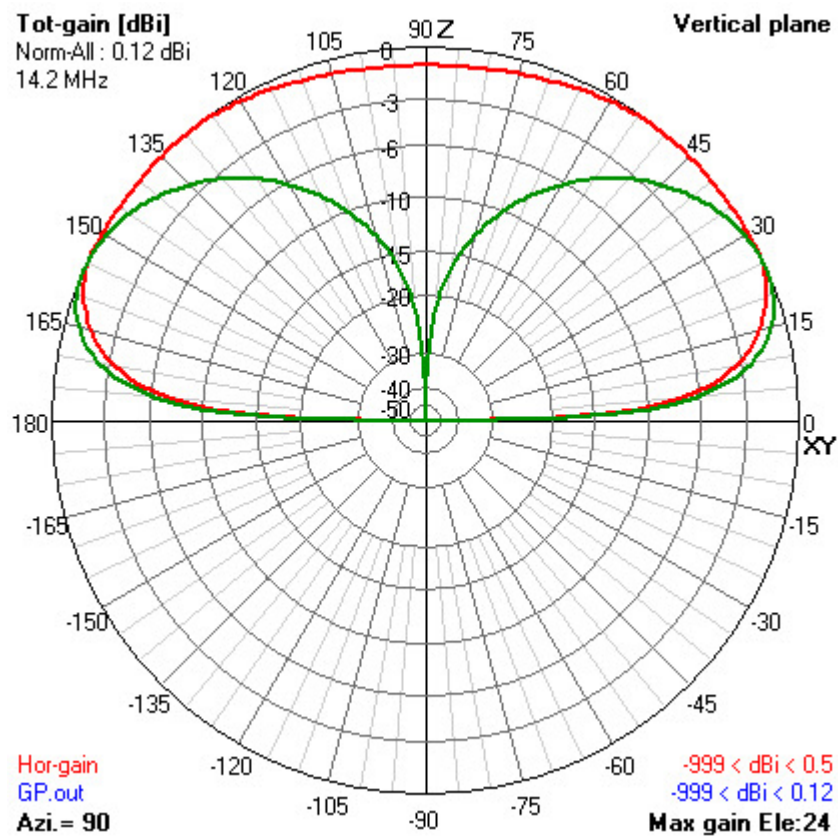


Abb. 5: Die Abb. entspricht Abb. 4, Höhe über Boden jedoch 4 m

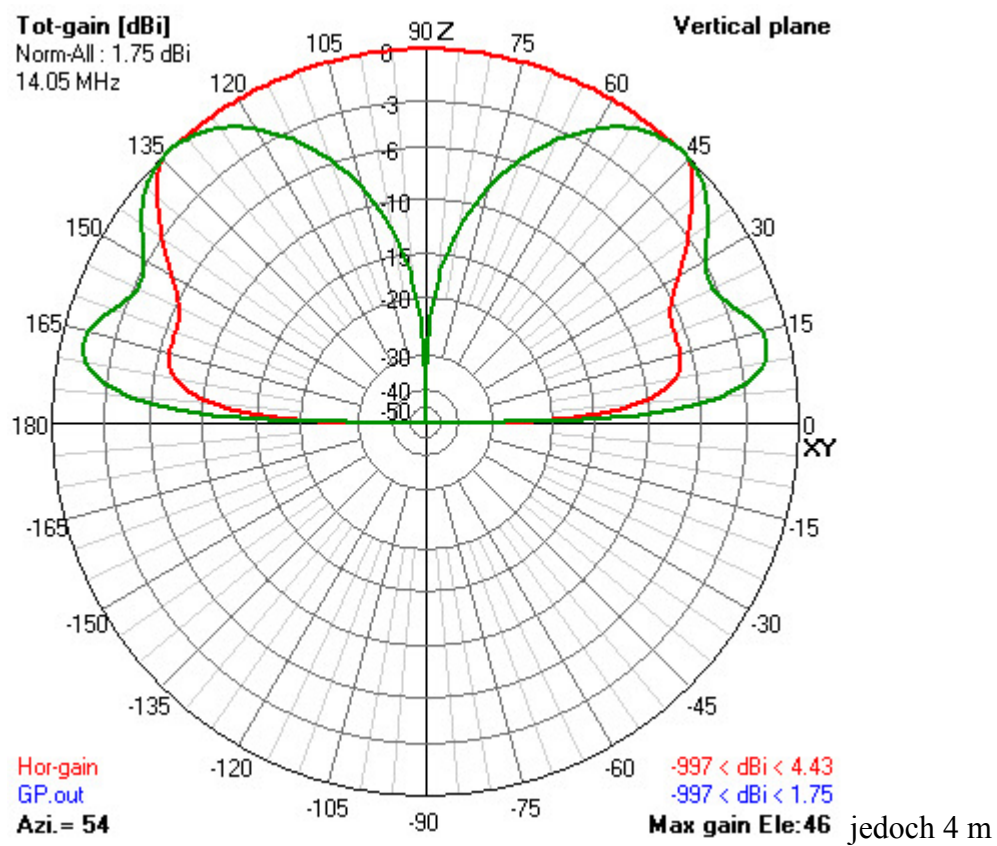


Abb. 6: Die Abb. entspricht Abb. 4, Höhe über Boden jedoch 10 m



## Horizontale Mag Loop

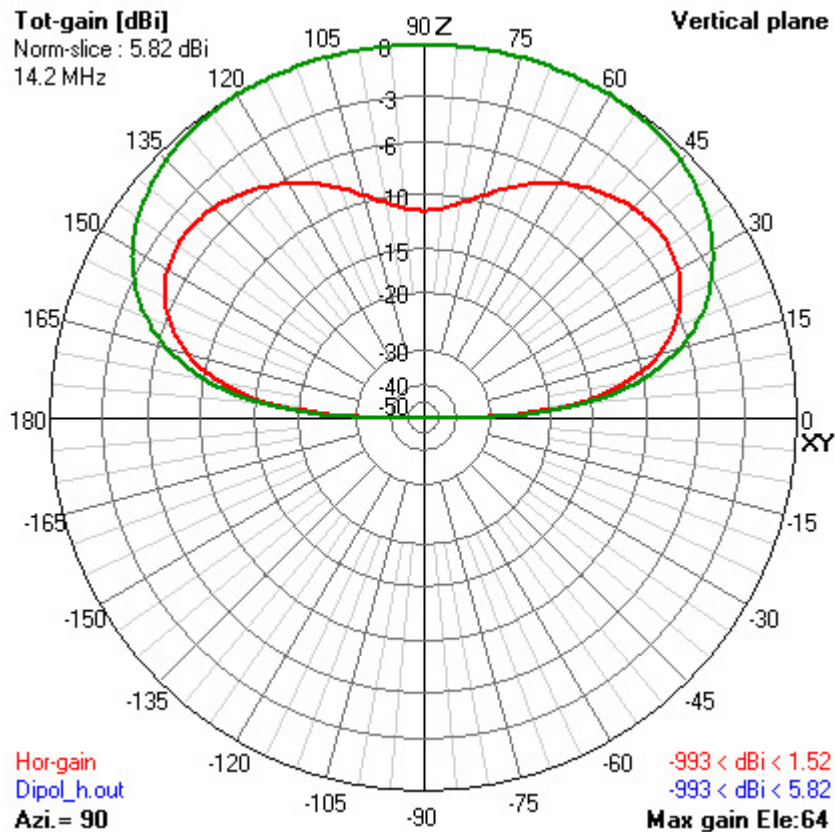


Abb. 7: Elevationsdiagramm, 14 MHz  
 Horizontaler Halbwellendipol (grün, 5.82 dBi max. gain)  
 Horizontaler Mag Loop (rot, 1.55 dBi)  
 5 m über avg. grd.

Abb. 7 vergleicht ein 5 m hohes horizontales Halbwellendipol mit einer horizontal orientierten Mag Loop gleicher Höhe, „average ground“. Abb. 8 und Abb. 9 zeigen die dazugehörigen Azimutaldiagramme unter den Elevationswinkeln 64 Grad und 10 Grad. Für den Elevationswinkel von 10 Grad (DX!) ist Mag Loop dem Dipol fast gleichwertig, wobei die omnidirektionale Abstrahlung der Mag Loop in vielen Fällen vorteilhaft ist.

Abb. 10 vergleicht ein 5 m hohes Halbwellendipol mit einer 10 m hohen horizontalen Mag Loop über „average ground“. Für kleine Elevationswinkel ist die Mag Loop dem Dipol überlegen.

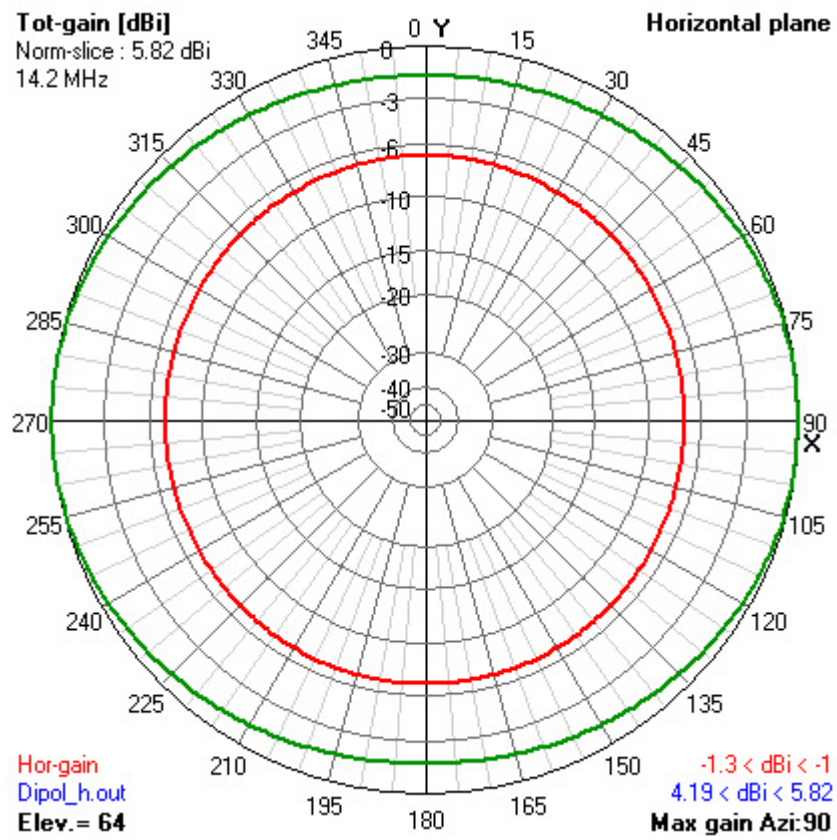


Abb. 8: Azimutaldiagramm zu Abb. 7  
 Horizontaldipol (grün, max gain 5.82)  
 Mag Loop (rot, max. gain -1 dBi)  
 Elevationswinkel 64 Grd

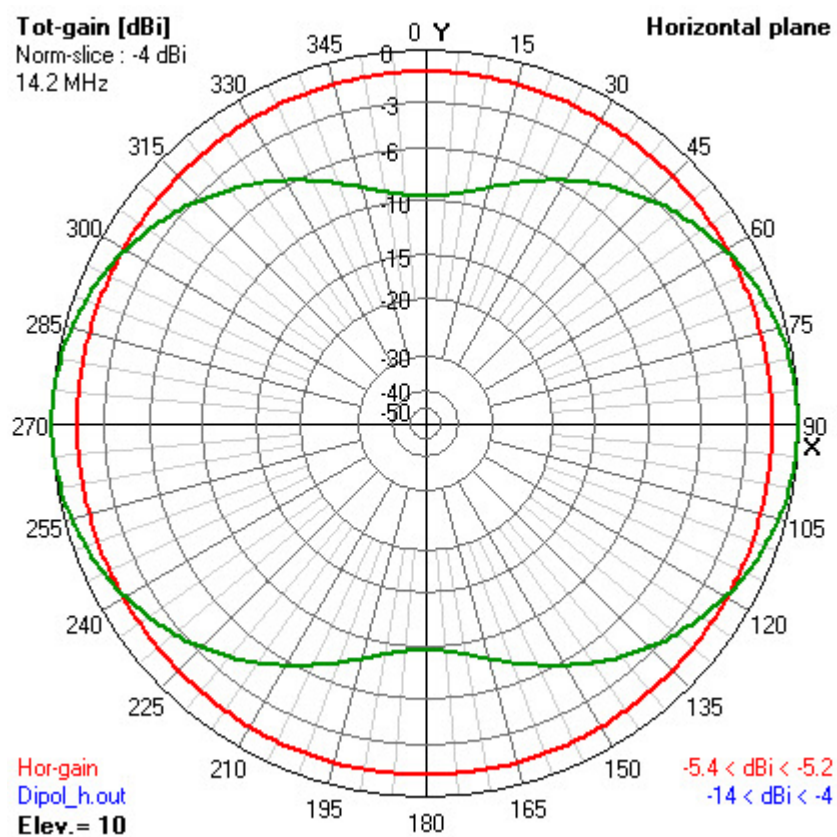


Abb. 9: Azimutaldiagramm zu Abb. 7  
 Horizontaldipol (grün, max gain -4 dBi)  
 Mag Loop (rot, max. gain -5.2 dBi)  
 Elevationswinkel 64 Grd



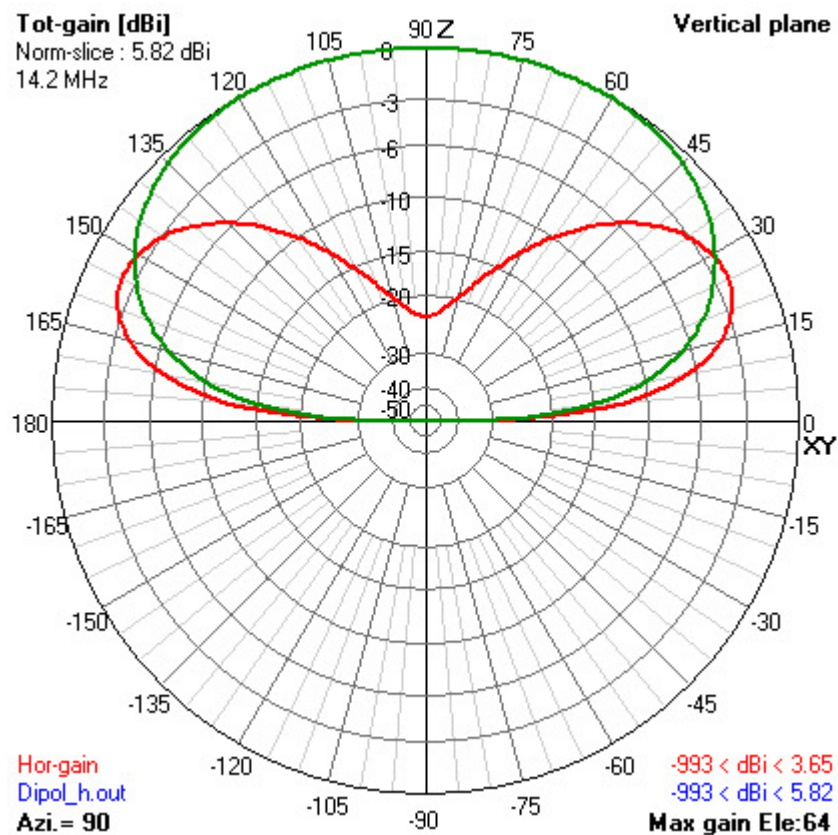


Abb. 10: Elevationsdiagramm, 14 MHz:

Mag Loop , 10 m über avg. grd, (rot, max Gain 3.65 dBi)

Halbwellenhorizontaldipol, 5m über av. Grd., grün, 5.82 dBi)

Die Abb. 11-14 zeigen Vergleiche in der Abstrahlung unter den in den Bildunterschriften angegebenen Bedingungen.

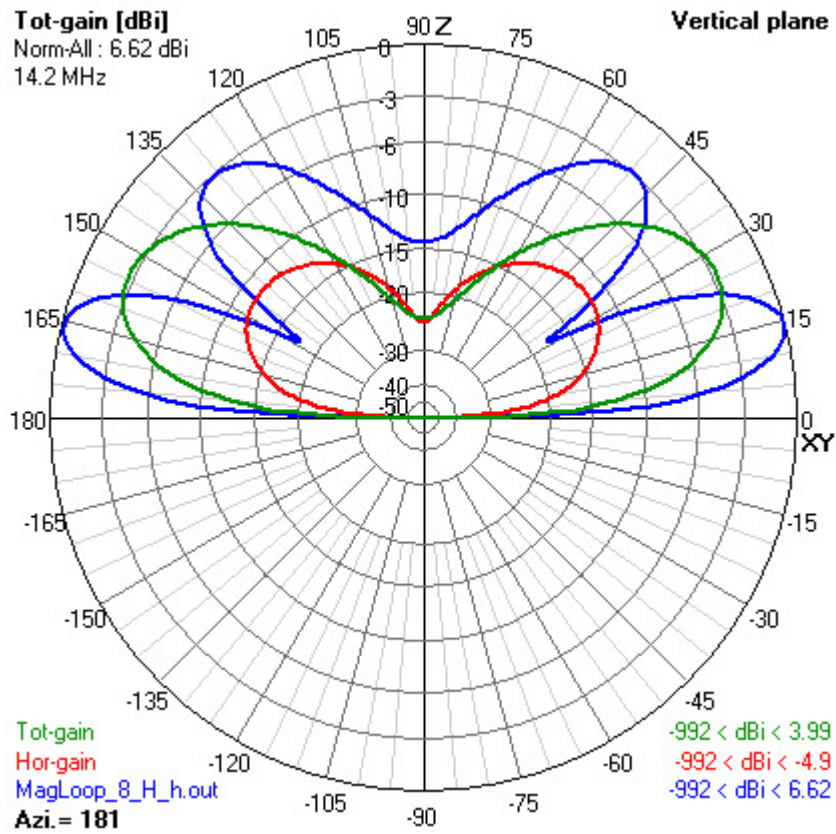


Abb. 11: Elevationsdiagramm, 14 MHz:  
 Horizontal orientierter Mag Loop, 10 m über avg. Grd.  
 28 MHz (blau, max gain 6.62 dBi)  
 14 MHz (rot, max gain 3.99 dBi)  
 7 MHz (grün, max gain -4.9 dBi)

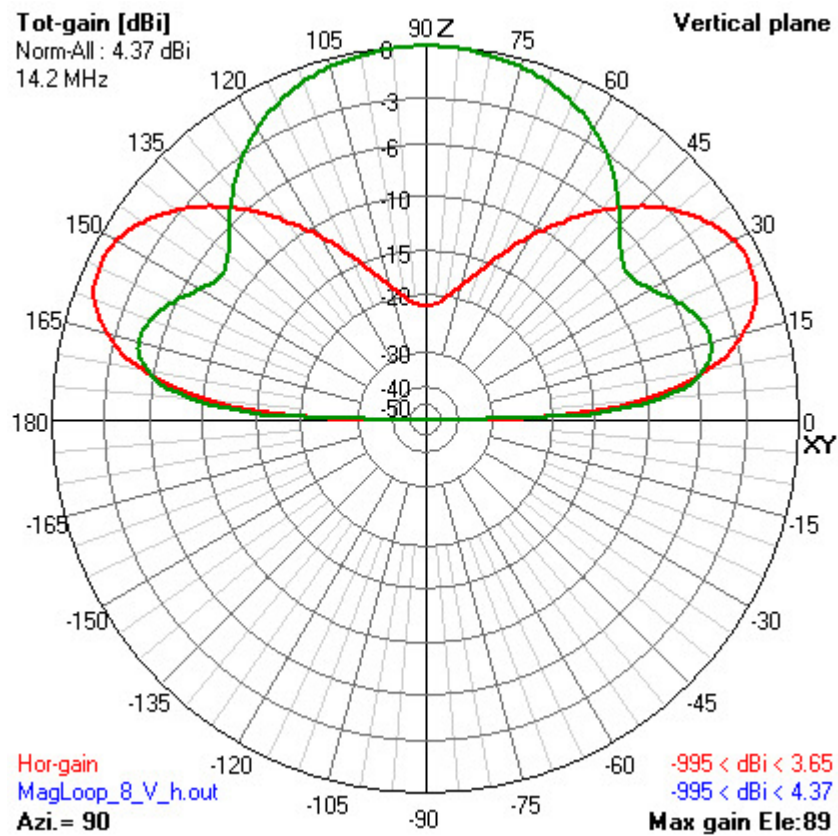


Abb. 12: Elevationsdiagramm, 14 MHz:  
 Vergleich Horizontalloop (rot, 4.37 max gain) mit  
 Vertikalloop (grün, max gain 3.65 dBi)

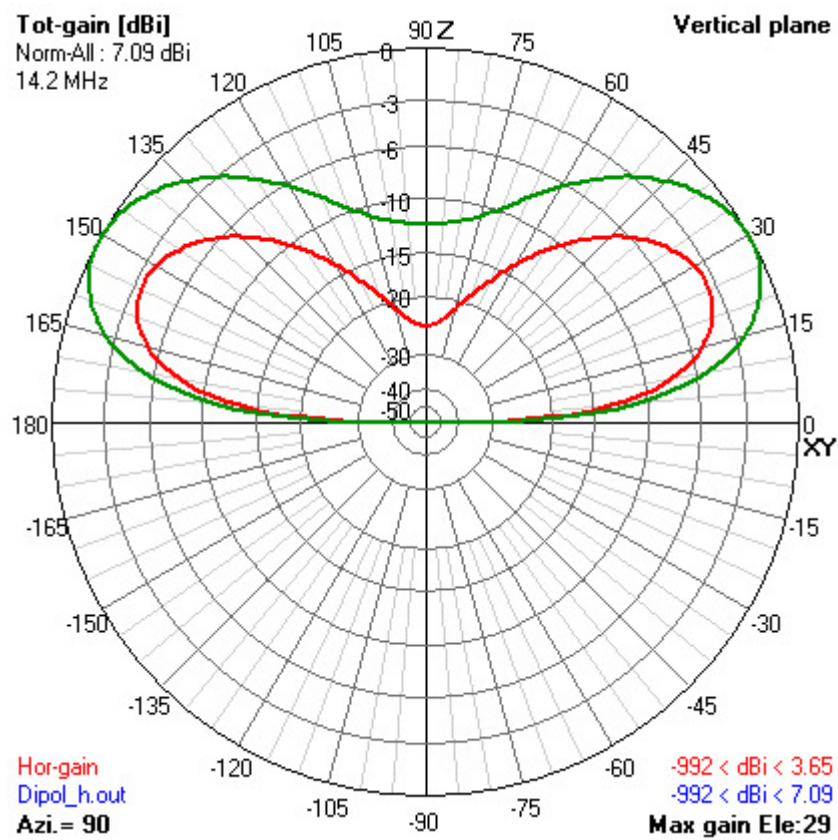


Abb. 13: Elevationsdiagramm, 14 MHz:  
 Vergleich horizontales Halbwellendipol (grün, max gain 7.09 dBi)  
 mit horizontalem Mag Loop (rot, max gain 3.65 dBi)  
 Höhe jeweils 10 m über avg. Grd

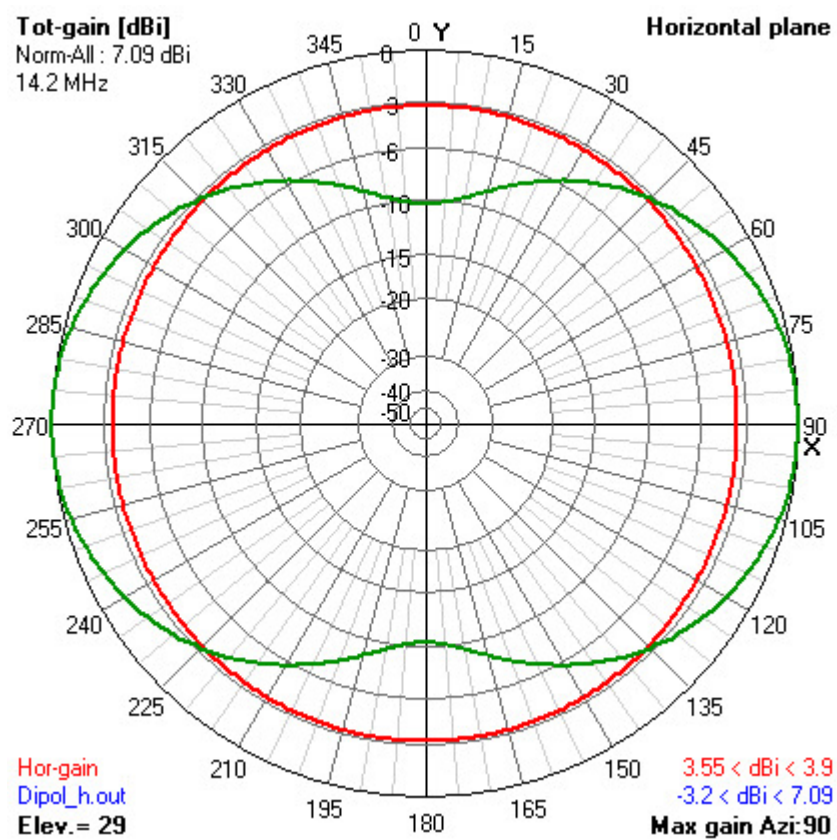


Abb. 14: Azimutaldiagramm entsprechend Anordnung Abb. 13.  
 Dipol (grün, max gain 7.09), Mag Loop (rot, max gain 3.9)  
 Elevationswinkel 29 Grd

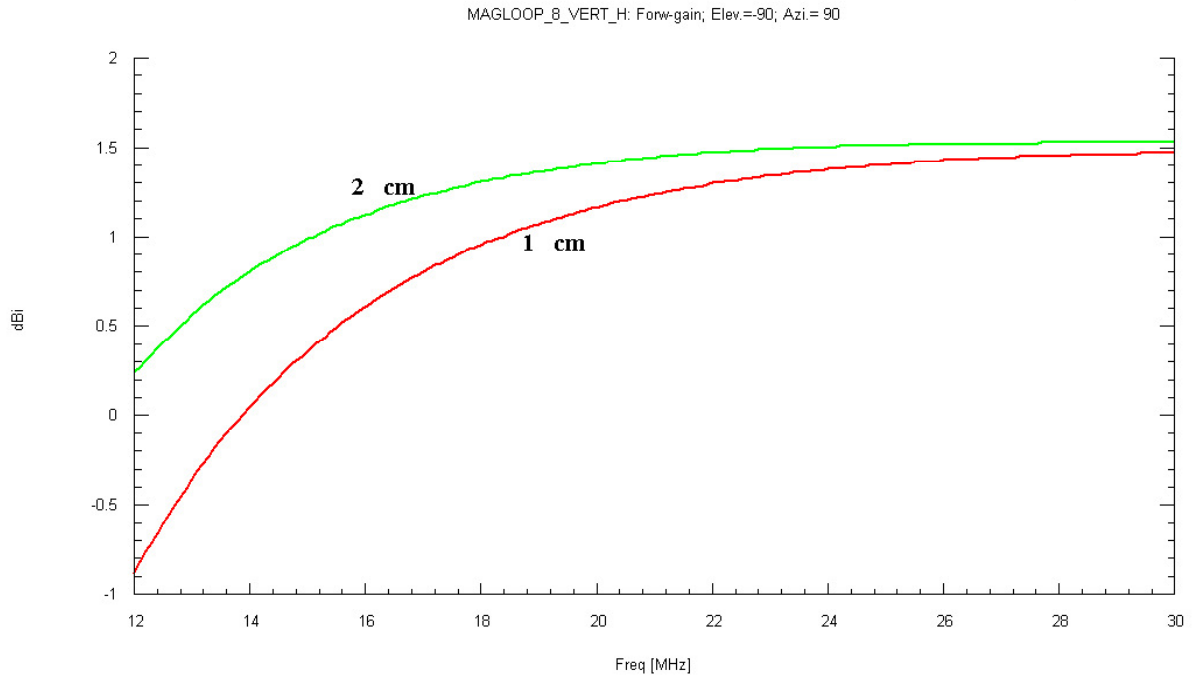


Abb. 15: Maximaler Gewinn der angenommenen Mag Loop in [dBi] im Freiraum in Abhängigkeit von der Frequenz zwischen 12 MHz und 30 MHz, berechnet für Leiterschleifen aus Kupfer mit 2 cm und 1 cm Durchmesser. Bei der Frequenz von 30 MHz beträgt das Verhältnis Seitenlänge zu Wellenlänge 0.32. Bei diesem Quotient und der nahezu kreisförmigen Loopfläche entspricht die Abstrahlung bis auf 0.7 dB der eines Halbwellendipols.

## Diskussionspunkt:

Bild 16 zeigt einen vertikalen Mag Loop in Speisepunkthöhe von 1 m und 3 m über einem Untergrund mit Leitfähigkeit 1 S/m und  $\epsilon_{ps}= 5$ . Größen dieser Art können für ein grobmaschiges Netz aus Eisendraht angesetzt werden. Die hohe Leitfähigkeit bewirkt ein drastisches Absinken des Brewster-Winkel und ergibt (wie z.B. Groundplane Antennen) hohe Feldstärken bei kleinen Elevationswinkeln.

Bei der kleinen räumlichen Ausdehnung der Mag Loop und der geringen Antennenhöhe sind die Reflexionszonen in Nachbarschaft zur Antenne.

**Hier stellt sich nun die Frage: Wie groß muss die Ausdehnung des Untergrunds mit künstlich erhöhter Leitfähigkeit (z.B. Drahtgitter) unter der Antenne sein um Diagramme wie in Abb. 16 zu erreichen? Wie verhält sich der Brewster-Winkel und die Fresnel-Zone mit der Ausdehnung der für die Abstrahlung unter der Antenne angenommenen Bodenparameter?**

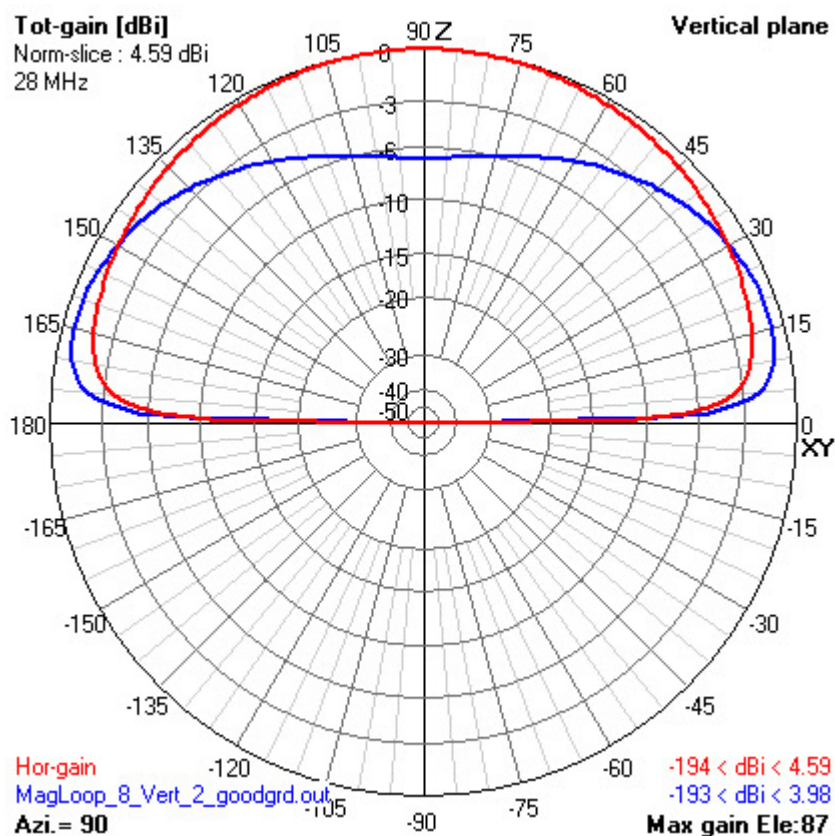


Abb. 16: Vertikaler Mag Loop über Boden gutter Leitfähigkeit ( $\sigma= 1$  S/m,  $\epsilon_{ps}=5$ )  
Rot, max gain 3.98 dBi : Höhe 1m  
Blau, max. gain 4.59 dBi: Höhe 3m  
28 Mhz

**Verluste in [W] durch den ohm'schen Widerstand der Mag Loop Spule bei 100 W Eingang.**

Leiter Loopschleife 1 cm Durchmesser, 14 MHz

Silber	Kupfer	Aluminium	Messing	Stahl
30	31	38	47	75

14 MHz, Kupfer

Durchmesser Leiter [cm]	Verlust [W]
0.5	47
1	31
2	18

Kupfer, 1cm Durchmesser Leiterschleife

Frequenz [MHz]	Verlust [W]
7	85
10	61
14	31
21	9
28	3



## Nutzbare Resonanzstelle bei doppelter Wellenlänge?

Abb. 17 zeigt den bekannten Impedanzverlauf einer quadratischen Loop mit Umfang 23.2 m im Freiraum. Die Resonanz liegt bei 14.2 MHz, Eingangswiderstand 126 Ohm. Mit abnehmender Frequenz tritt eine zunehmende kapazitive Blindkomponente auf.

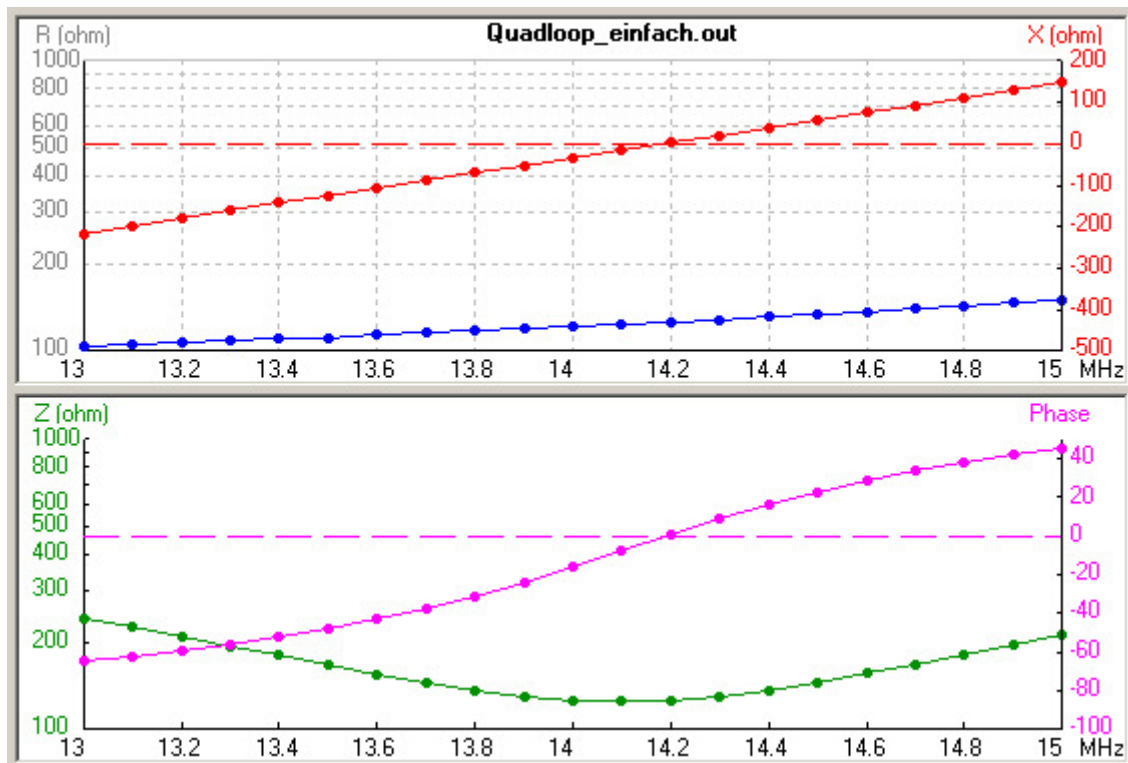


Abb. 17.: Speisewiderstand einer quadratischen Loop im Freiraum zwischen 13-15 MHz  
Umfang 23.2 m

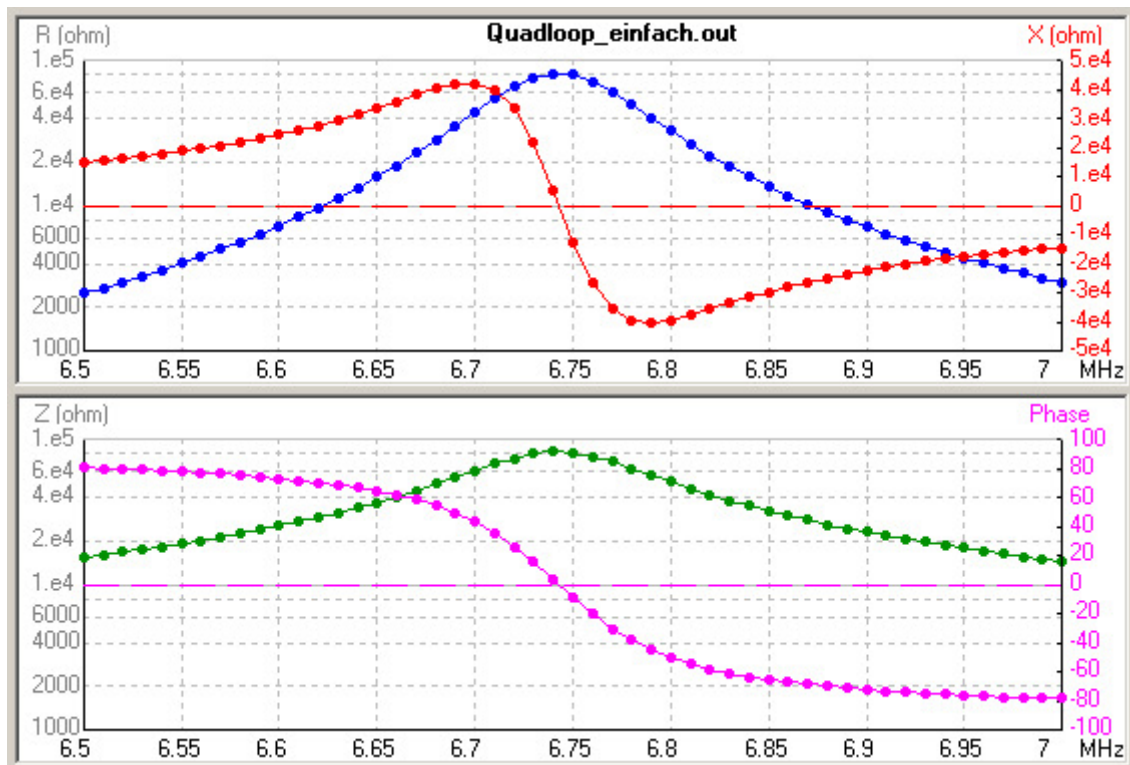


Abb. 18: Speisewiderstand einer quadratischen Loop im Freiraum zwischen 6.5 - 7 MHz  
Umfang 23.2 m.

Abb. 18 zeigt, wie bei 6.74 MHz die kapazitive Blindkomponente mit abnehmender Frequenz in eine induktive Blindkomponente übergeht. Die „elektrische Loop“ wird zur „magnetischen Loop“. In der Resonanz wird der Speisewiderstand sehr hoch. Eine Betrachtung der Abstrahldiagramme bei dieser Resonanz zeigt eine nahezu kugelförmige, omnidirektionale Abstrahlung in den Raum. (Abb. 19, Abb.20).

Das Diagramm in Abb. 21 zeigt die maximale Verstärkung des betrachteten Loop im Frequenzbereich von 5-25 MHz. Bei 6.74 MHz beträgt sie 1.35 dBi, bei 14.2 MHz 3.3 dBi, bei 18 MHz 4 dBi. Oberhalb 20 MHz fällt die Max Gain des geschlossenen Loop ab (destruktive Interferenz). (Für einen wieder höheren Gewinn ist die Loop zu öffnen, „Bisquare Antenne“).

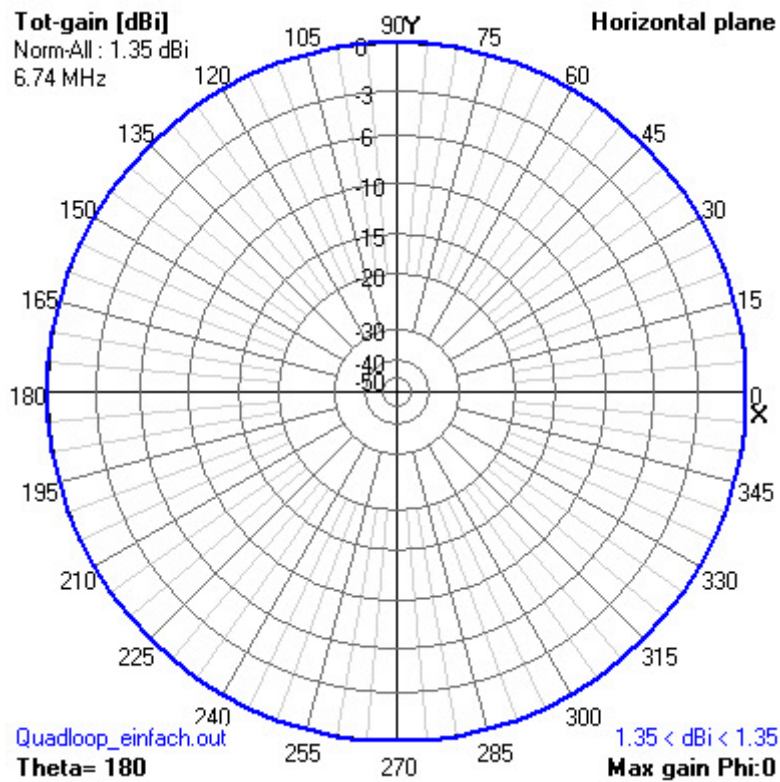


Abb. 19: Abstrahlung einer Loop von 23.2 m Umfang im Freiraum bei 6.74 MHz Horizontalebene.

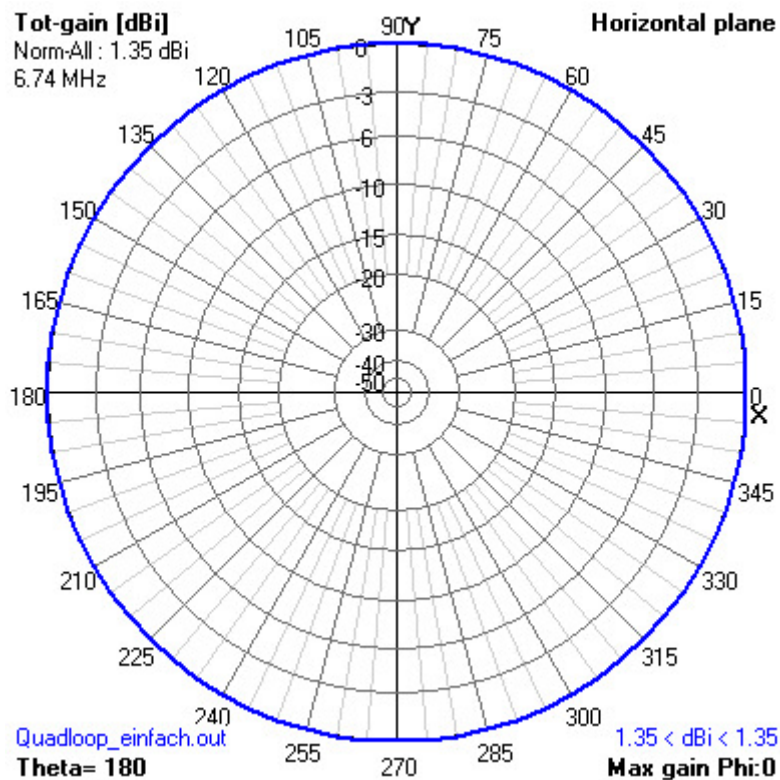


Abb. 20: Abstrahlung einer Loop von 23.2 m Umfang im Freiraum bei 6.74 MHz Vertikalebene

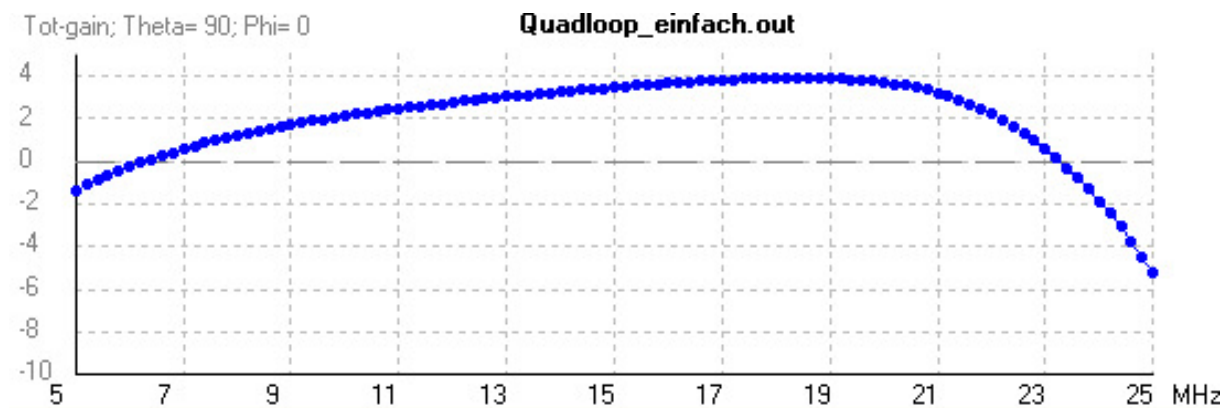


Abb. 21.: Maximaler Gewinn in dBi für einen geschlossenen Loop mit 23.2 m Umfang im Frequenzbereich von 5-25 Mhz. Die Gewinnzunahme des Loop im Bereich oberhalb 6.7 MHz beruht auf einer Einschnürung der Abstrahlung in der Loozebene.

### Zusammenfassung

In der Literatur, wie im Internet, finden sich zahlreiche Bauanleitungen für Mag Loop Antennen. Bei einem sorgfältigen Aufbau unter, soweit möglich, Vermeidung ohm'scher Verluste kann eine Mag Loop Antenne im Vergleich zu klassischen „elektrischen“ Antennen erstaunlich gute Ergebnisse erzielen. Der Aufstellungsort von Mag Loop unterliegt den gleichen Kriterien wie der von „elektrischen“ Antennen. Die manchmal geäußerte Meinung, ein Mag Loop würde von ihm umgebenden elektrisch leitenden, aber magnetisch neutralen Materialien nicht beeinflusst, hat sich als nicht richtig herausgestellt.

Alles andere als eindeutig sind auch Aussagen, atmosphärische Störungen wie auch manmade Störpegel werden beim Empfang mit Mag Loop Antennen reduziert.

Vereinzelte Versuche im Amateurbereich, Mag Loop zu Arrays zusammenzuschalten, blieben weitgehend erfolglos. Die technisch – wissenschaftliche Literatur enthält allerdings Arraykombinationen von Mag Loop zusammen mit verkürzten Dipolen für Anwendungen im GHz Bereich. Die „Schmalbandigkeit“ der Antenne sollte für den ernsthaften Anwender kein unüberwindliches Hindernis darstellen. Mit Schrittmotoren und digitaler Steuerung kann die Mag Loop zusammen mit der Empfängerabstimmung automatisch auf die zur Anpassung benötigte Impedanz nachgezogen werden.

**Untersuchungsprojekt: Ist die Resonanz des Loops bei etwa halbem Umfang in bezug zur Wellenlänge in der Praxis vorteilhaft nutzbar? Wie sieht es mit der hier sehr hochohmigen, (verlustarmen ?) Speisung aus? Schnelle Änderung des Q-Wertes um die Resonanzstelle (?)**

## Anmerkungen

Speziell im Internet findet man eine große Sammlung mit Artikeln und Bauanleitungen zu Mag Loop Antennen.

K8NDS in Arizona, über die Seiten QRZ.COM zu erreichen, gibt sehr gute Anleitungen zum Bau hochwertiger Mag Loop. Mit 500 W erreicht er hohe Feldstärken auf 24 MHz und ist in Europa mit der Lautstärke von Besitzern von Yagi Antennen zu vergleichen. Er propagiert u.a. Helical Wound Mag Loops mit einem Wirkungsgrad von bis 95 %.

Einen kenntnisreichen Überblick findet man unter

<http://www.aa5tb.com/loop.html>

Gute Angaben zur Speisung der Loop.

Die Adresse:

<http://www.oelira.at/sl/loop.html>

zeigt sehr viele Links zu Artikel, die sich mit Mag Loop beschäftigen

Mehr für mathematisch interessierte Funker:

[http://www.ece.mcmaster.ca/faculty/nikolova/antenna\\_dload/current\\_lectures/L12\\_Loop.pdf](http://www.ece.mcmaster.ca/faculty/nikolova/antenna_dload/current_lectures/L12_Loop.pdf)

Eine in die Tiefe gehende theoretische Analyse von Mag Loop Antennen