

# Anwendung des Antennenberechnungsprogramm 4NEC2 anhand von Beispielen verschiedener Loop Antennen.

(Begleittext zu einem Vortrag im OV-Esslingen)

von Rolf Schick, DL3AO

## Einführung

Poggio und Burke vom Lawrence Livermore Laboratory in USA führten 1981 das Berechnungsprogramm „Numerical Electromagnetics Code, NEC“ ein. Es erlaubt die Abstrahlung von draht-oder stabförmigen Antennen und deren Kenngrößen zu ermitteln.. Die Grundlagen zur Berechnung findet man z.B. in [1]. Das Programm wird ständig weiterentwickelt.

Für den Gebrauch im Amateurfunk wurde das aufwendige Kernprogramm mit verschiedenen Benutzeroberflächen ergänzt. Am bekanntesten ist das von Roy Lewallen, W7EL, vertriebene „EZNEC“. Abhängig von der Ausstattung kostet es bis zu mehreren hundert US-Dollar [2]. Dagegen ist die Weiterentwicklung 4NEC2 von Arie Voors kostenlos erhältlich [3]. 4NEC2 ist in der Dateneingabe und Datenausgabe sehr flexibel und benutzerfreundlich. Gleiches gilt bei den graphischen Darstellungen in 2D und 3D. Der nachfolgende Text zeigt einige Anwendungen von 4NEC anhand von Loopantennen. Ausführliche Anleitungen zum Gebrauch von 4NEC2 („Tutorials“) findet man z.B. in [4] und in der Help-Funktion des Programms.

## Geschlossener Quad-Loop im Freiraum (Beispiel 1).

Es sollen Kenngrößen und Abstrahlung einer Loop-Antenne im Freiraum ermittelt werden. Im *Main-Menue (F2)* wird unter *Settings* der *NEC-editor (new)* angeklickt. Für den Anfänger von 4NEC2 ist dieser Editor am bequemsten. Unter *Edit (F6)* öffnet sich in *Input* das Eingabeschema. Wer mit EZNEC vertraut ist erkennt gleich die Ähnlichkeit. Unter *Geometry (F3)* werden in kartesischen Koordinaten Anfang und Ende der Antennendrähte eingegeben. Dies kann auch in Form einer oder mehrerer unter *Symbols* definierten Variablen geschehen. Eine in der Form eingegebene Antennenstruktur kann später im Hinblick auf Antennenparameter wie SWR, Verstärkung oder Vor-Rückverhältnis optimiert werden.

Im Beispiel ist unter *Symbol* die Variable *a* mit einem Startwert von 3.5m eingesetzt,  $a=3.5$ . (Wenn nicht anders vereinbart ist die Maßeinheit Meter). Der Wert *a* kennzeichnet in *Geometry* die Eckpunkte des auf der Spitze stehenden quadratischen Loop (Diamon-Shape Loop). Er entspricht der halben Diagonale des Quadrats. Die Seitenlänge des quadratischen Loops wird damit  $3.5 \text{ m} * 1.41 = 4.93 \text{ m}$ , Umfang= 19.72 m. In einem Eckpunkt des Quadrats wird ein Drahtstück von 0.2m eingeschleift. Es dient zur Aufnahme des unter *Source/Load* eingegebenen Speisepunkts. Die Quelle erhält (willkürlich) einen Realteil von 1 mit Imaginärteil Null.Im *Frequency/Ground* Fenster ist in unserem Beispiel eine Frequenz 14.2 MHz eingesetzt. Für *Ground* wird *Freespace* gewählt.

Die Seitenlängen des Loop von ca. 5 m werden jeweils in 20 *Segmente* unterteilt. Damit wird ein Segment 25 cm lang, entsprechend etwa ein hundertstel der Wellenlänge bei 14 MHz. NEC empfiehlt eine Segmentierung zwischen mindestens ein Zehntel der Wellenlänge bis etwa ein Tausendstel.

Die Datei für die Eingabewerte findet sich im Anhang unter Beispiel 1. In 4NEC2 kann sie unter *Models* eingesetzt werden.

Öffnet man die Datei unter *Calculate* -> *NEC output Data* und klickt in dem sich öffnenden Fenster *Far Field Pattern* an, so erscheinen mit *Generate* die ersten Antennengrößen.

Zusätzlich erscheinen unter *Windows* mit *Geometry (F3)* und *Pattern (F4)* die eingegebene Antennenstruktur und die Abstrahldiagramme.

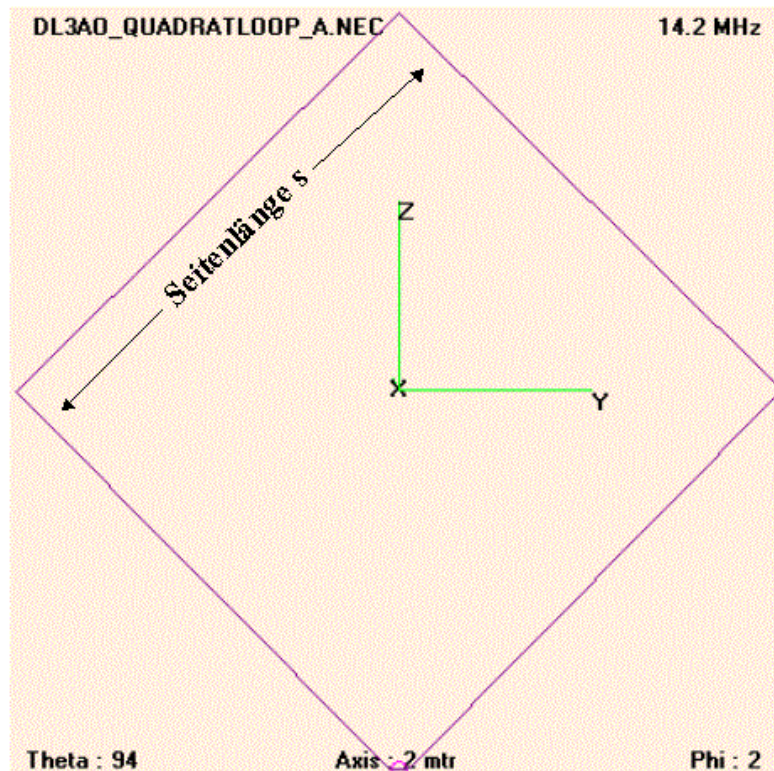


Abb.1: Struktur des Loop Beispiel 1.

Die Diagonale des quadratischen Loops beträgt zunächst willkürlich 7 m . Damit sollte der Loop eine Resonanzfrequenz in der Nähe des 20 m Bandes aufweisen.

Unter *Calculate* -> *New output data* -> *Frequency Sweep* stellen wir Start und Endfrequenz (im Beispiel 10 MHz und 28 MHz) sowie Schrittweite (0.2 MHz) des gewünschten Sweep ein und führen den *Frequency Sweep* mit *Generate* durch. Man erhält ein Diagramm indem (rechts oben) wahlweise der Frequenzverlauf von *SWR*, *Gain* und *Impedance* gewählt werden kann. Das *SWR* bezieht sich auf die Impedanz, die im *Main-Menue* unter *Settings* -> *Char Impedance* vorgewählt wurde.

Wir wählen *Impedance* und erhalten Abb.2. Das obere Diagramm zeigt den komplexen Eingangswiderstand des Loop aufgeteilt in reellen Eingangswiderstand *R* (blau) und Blindwiderstand *X* (rot). Das untere Diagramm stellt Eingangsimpedanz *Z* und Phasenwinkel dar. Die Resonanzfrequenz,  $X=0$ , liegt bei ca. 16 MHz.

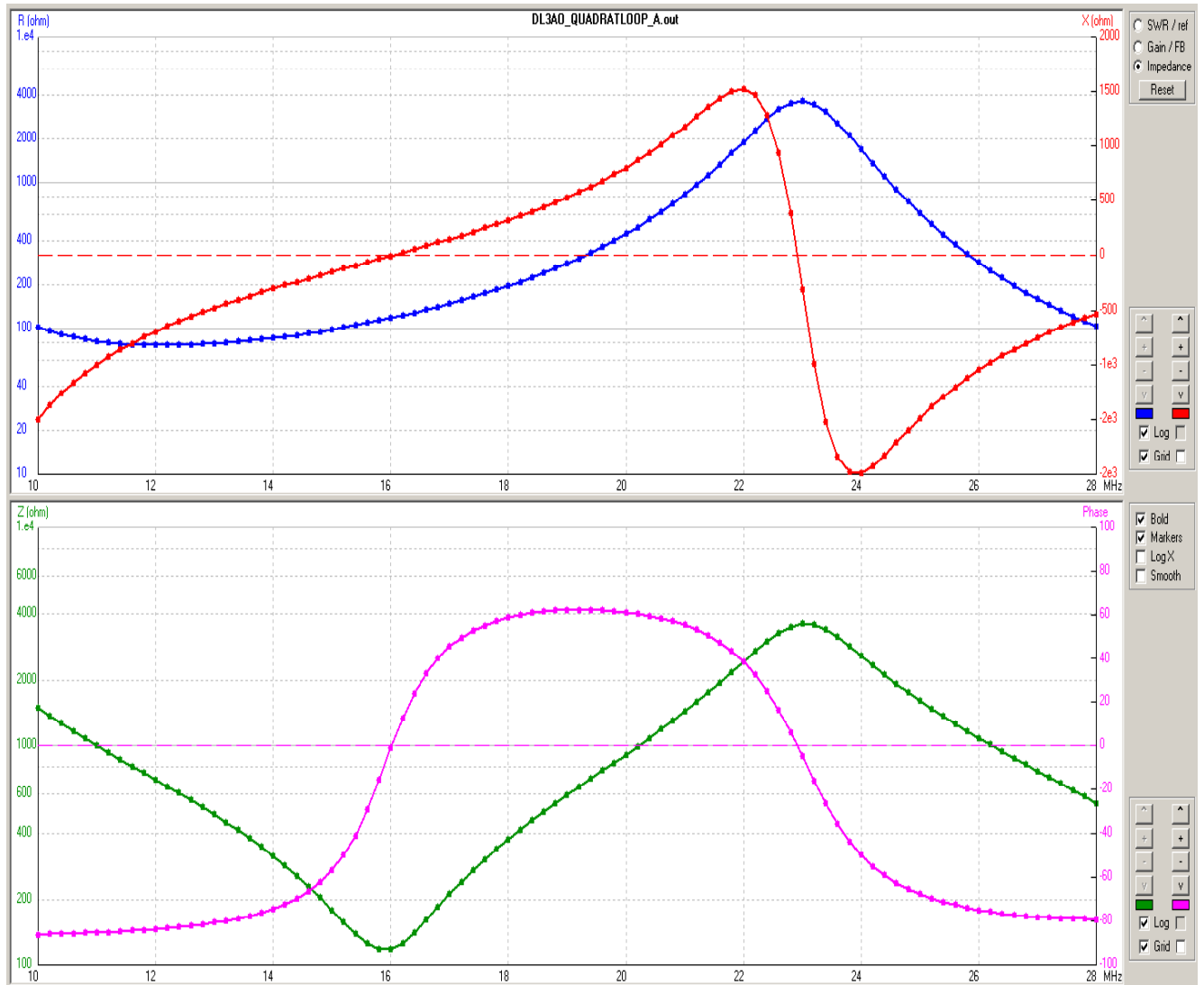


Abb.2: Eingangsimpedanz des „Start“- Loop in Abhängigkeit der Frequenz.

Wir wollen nun die Resonanzfrequenz des Loop auf 14.2 MHz verschieben. Der Umfang des Loop ist zu kurz, der Wert a (halbe Diagonale) muss also vergrößert werden. Dies kann durch probieren erfolgen. 4NEC2 bietet aber die Möglichkeit die Antennenstruktur auf gewünschte Größen zu optimieren. Im vorliegenden Fall soll der Wert a so verändert werden, dass bei der Frequenz 14.2 MHz Resonanz vorliegt, es muss  $X=0$  werden.

Man erreicht dies mit:

*Main Fenster -> Calculate -> Start Optimizer (F12)*

und erhält das Fenster *Optimizer and Evaluator (F12)*. Unter *Variables* erscheint der gewählte Wert von  $a=3.5$ . Mit anklicken wird er im Bereich *Selected* angezeigt. Für die Frequency von 14.2 MHz soll  $X=0$  werden. Unter *Weighting Factors* setzen wir  $X-in = 100$  (also 100 %) und klicken auf Start. Das Programm führt Iterationen durch um das gewünschte Resultat zu erreichen. Das Iterationsergebnis kann unter *Plot Results* angezeigt werden. Mit *Update NEC File* wird dieser Wert in das NEC Datenfile übernommen.

Plot Result für unseren Fall zeigt Abb. 3. Beim Wert  $a = 3.94$  m wird  $X=0$  für 14.2 MHz.

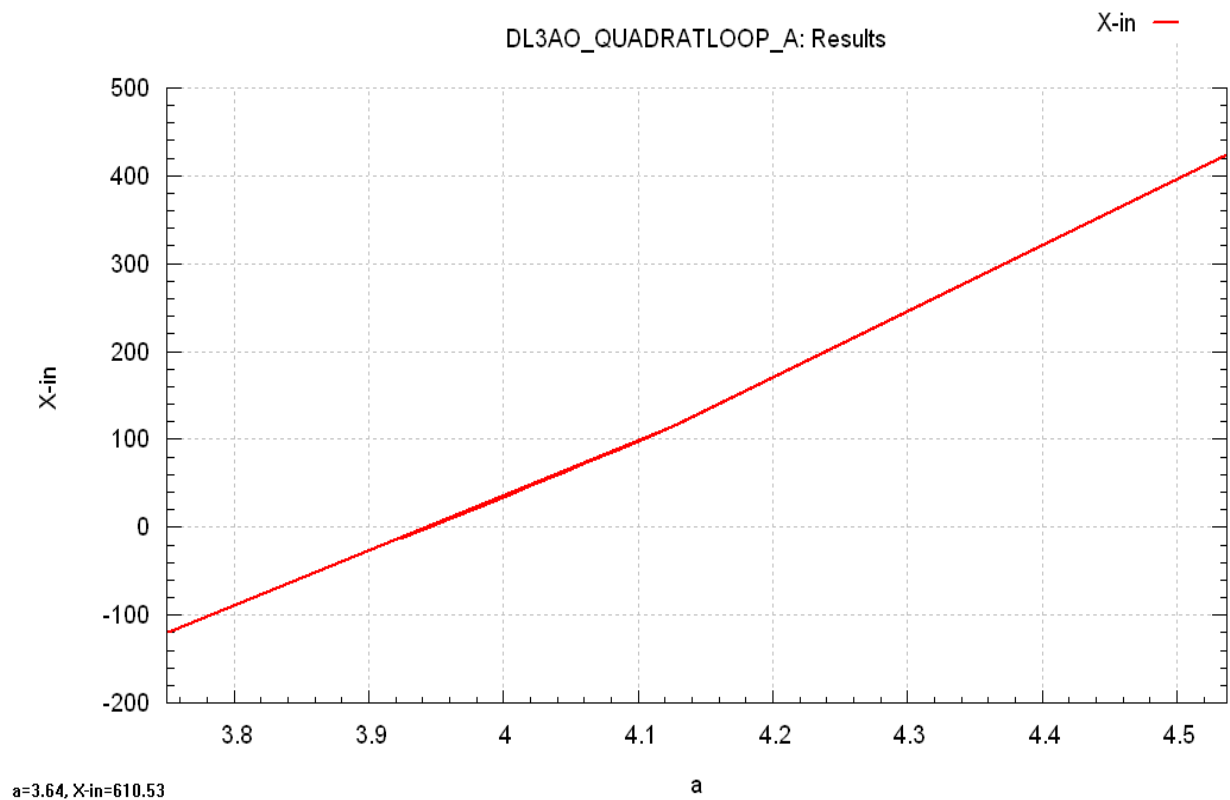


Abb. 3: Iterationswerte der Halbdiagonale  $a$  des Loop zum Erreichen der Resonanz bei 14.2 MHz.

In Abb.4 ist Verlauf von  $R$  und  $X$  für  $a=3.94$  m, also Quadumfang =22.22 m. dargestellt. Der reelle Eingangswiderstand bei der Resonanzstelle 14.2 MHz beträgt 118 Ohm.

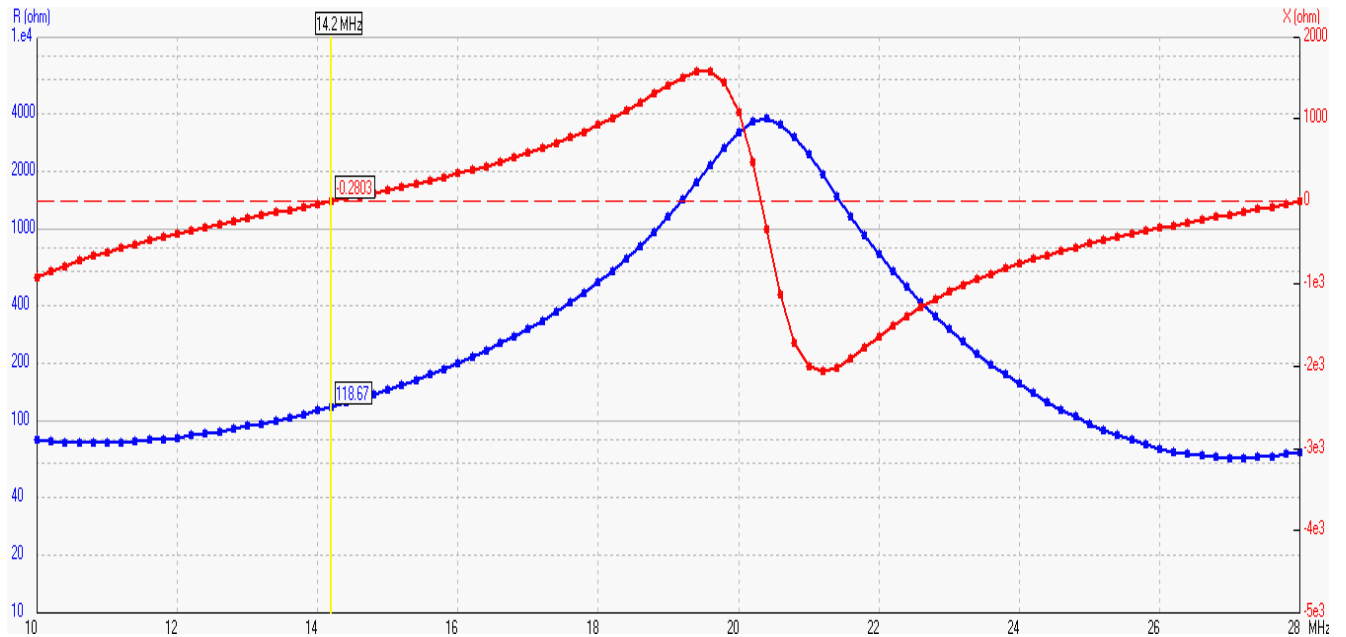


Abb.3: Verlauf der Eingangsimpedanz R und X für  $a=3.94$  m. Die Resonanz liegt jetzt bei 14.2 MHz.

Der SWR-Verlauf für den in *Settings*-> *Char-Impedance* eingestellten Wert einer Speiseleitung von 600 Ohm Impedanz zeigt Abb. 4. Oberhalb von 14 MHz bleibt das SWR unter 10., was für eine 50 Ohm Anpassung über Tuner kein Problem darstellen sollte

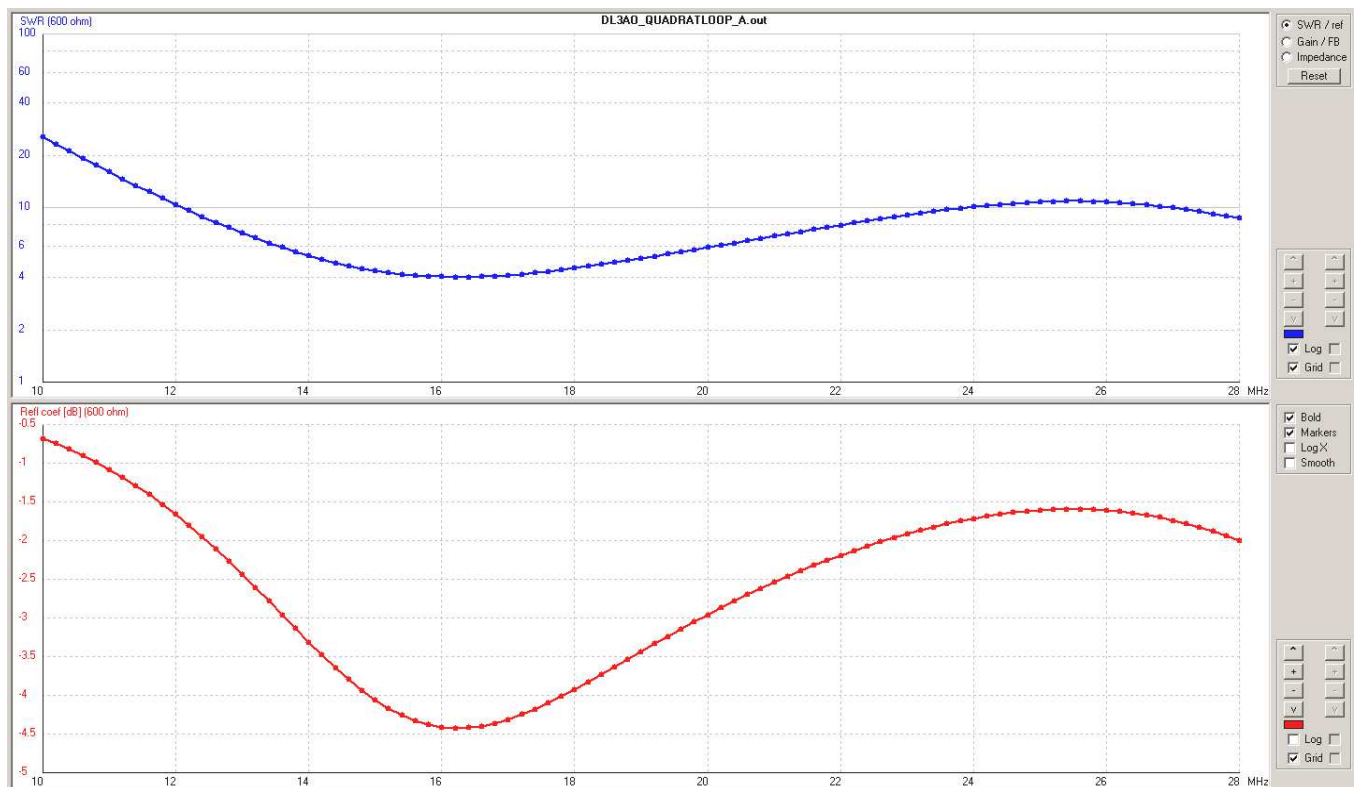


Abb.4: SWR Verlauf bei Speiseleitung („Hühnerleiter“) mit 600 Ohm Impedanz

*Main Window* -> *Window* -> *Pattern (F4)* führt zu Abstrahldiagrammen. Vielfältige Darstellungen für das Fern- und Nahfeld in vorgegebenen Ebenen und Polarisation sind möglich. Abb. 5 und Abb. 6 zeigen als Beispiel die Abstrahlung des Loop in den 2 Hauptebenen für das Fernfeld in Polarkoordinaten. Die Diagramme können mit *Compare* zum direkten Vergleich mit anderen Pattern überlagert werden. *OpenPF* erlaubt für eine vom Benutzer favorisierte Weiterverarbeitung der Daten die Ausgabe in Form von Textfiles.

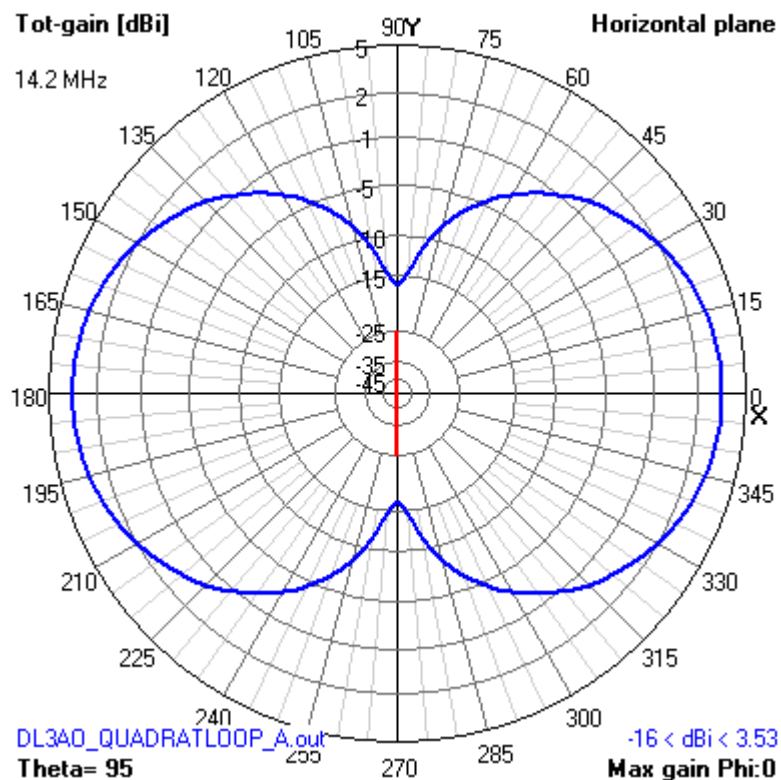


Abb5. Abstrahldiagramm für das Fernfeld in xy-Ebene

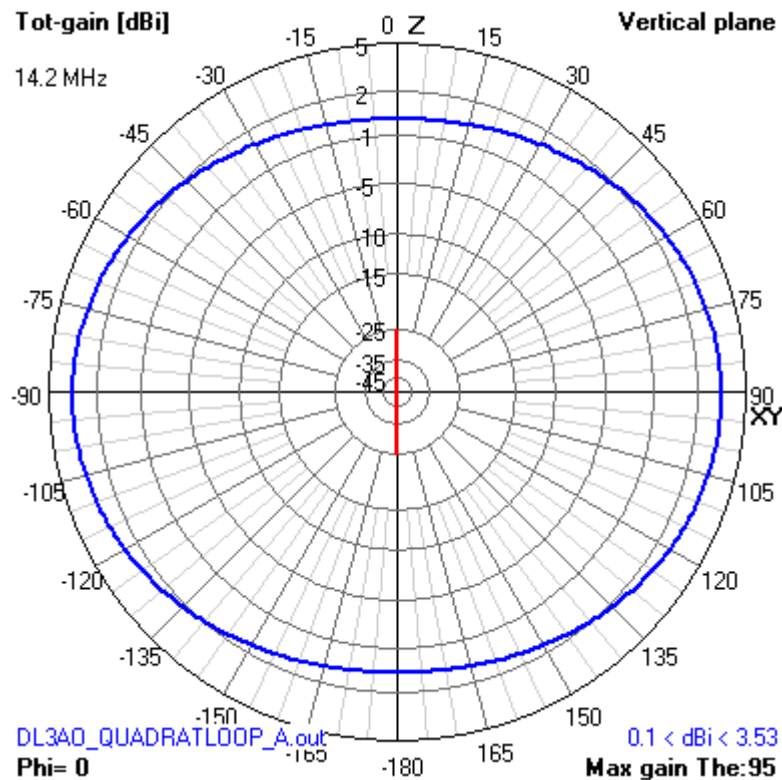


Abb.6: Abstrahlungsdiagramm für das Fernfeld in xz-Ebene

Abb. 7 zeigt das Ergebnis der Sweepfunktion in der Darstellung Gain <-> Frequenz. Bei 14.2 MHz beträgt die Gain des Loop (siehe auch Abb. 5 und 6) in der Hauptstrahlrichtung 3.5 dBi. Mit zunehmender Frequenz steigt der Gewinn an um bei etwa 21 MHz ein Maximum mit etwa 4.5 dBi zu erreichen. Es ist eine Folge des in bezug auf die Wellenlänge größeren Abstands der Strommaxima. Oberhalb 21 MHz sinkt die Verstärkung schnell ab, bedingt durch die asymmetrische Loopspeisung in einem Eck und die daraus folgende ungünstige Phasenverschiebung. (Zentralspeisung behebt das Problem, ist aber konstruktiv aufwendiger).

Eine einfache Lösung besteht darin, mit einem Relais an dem Eck gegenüber der Einspeisung die Drahtverbindung zu unterbrechen. Diese Antennenform ist als „Bisquare“ bekannt.

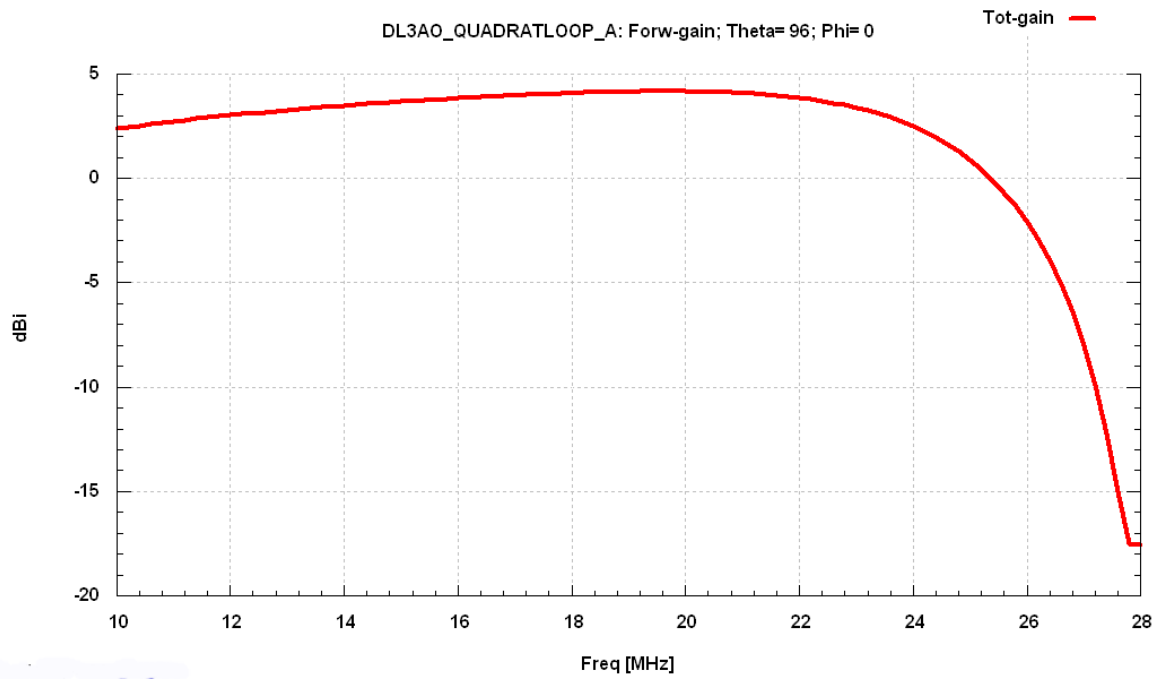


Abb. 7: Verstärkung [dBi] des Quadloop im Freiraum in Abhängigkeit der Frequenz [MHz]

Anhänger von Smith-Chart Diagrammen können sich den Impedanzverlauf ausgeben (Abb. 8)

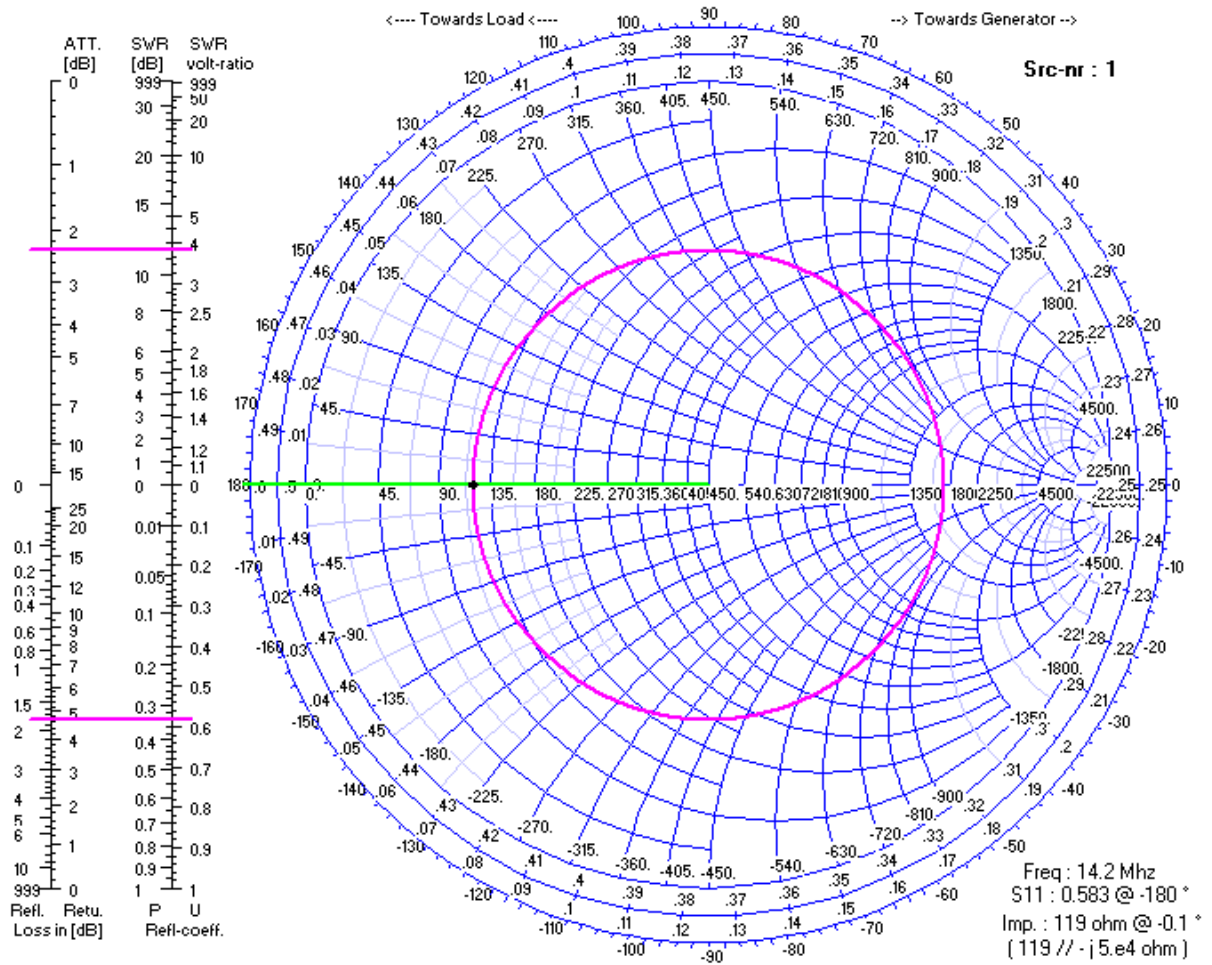


Abb. 8: Smith-Chart des Quadloop

## Offener Quadloop, „Bisquare“ im Freiraum (Beispiel 2)

Die Drahtverbindung des in Beispiel 1 besprochenen Quadloop ist jetzt an der gegenüber des Speisepunktes liegenden Ecke offen. Sonst keine weiteren Änderungen.

Berechnen wir zuerst wieder über *Main* -> *Calculate* -> *Frequency Sweep* die Verstärkung in der Hauptabstrahlung. Das Ergebnis zeigt Abb. 9. Bei 21 MHz entspricht die Gain weitgehend dem geschlossenen Loop. Für 24.95 MHz ist der Gewinn fast 6 dBi, für 28 MHz sogar etwas über 6dBi. Mit einer Relaisumschaltung zwischen „Loop geschlossen“ und „Loop offen“ lässt sich mit dieser Antennenkonstruktion der Bereich von 10 MHz bis 30 MHz gut überdecken.

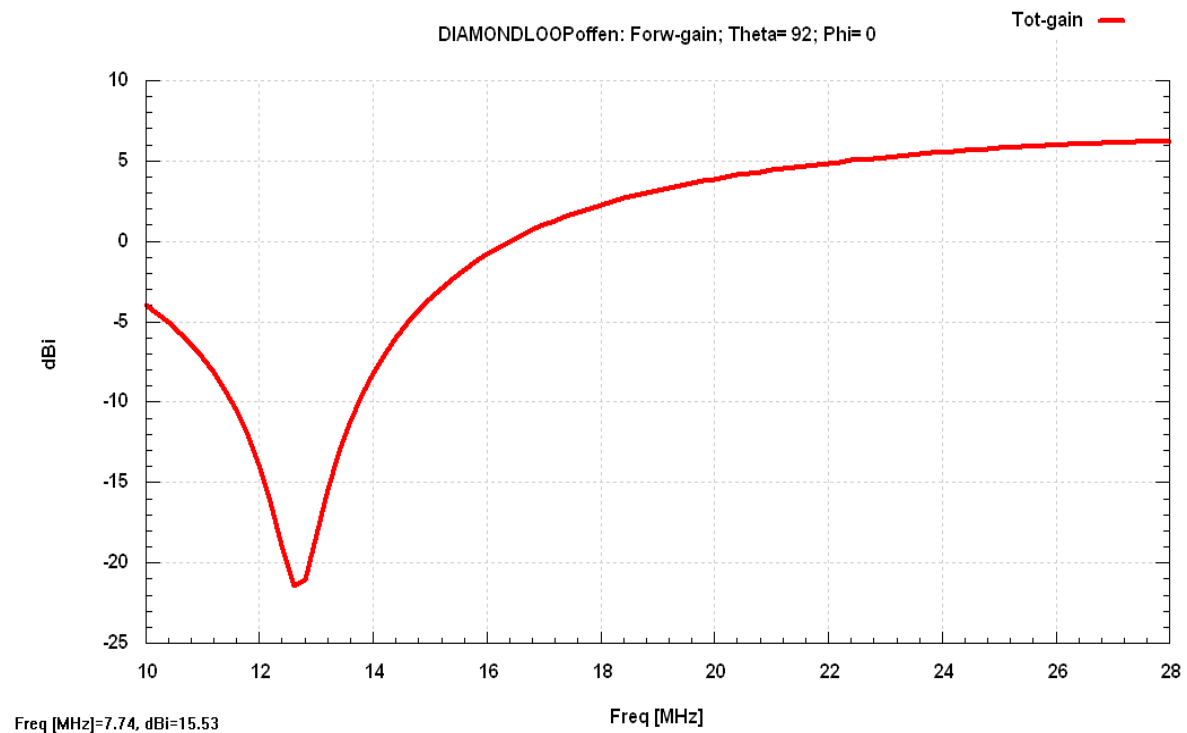


Abb. 9: Verstärkung des offenen Quadloop [dBi] in Abhängigkeit der Frequenz

Abb. 10 stellt (entsprechend Abb. 2 für den geschlossenen Loop) den komplexen Speisewiderstand für den offenen Loop dar.



Abb. 10: Eingangsimpedanzen für den offenen Loop

Abb. 11 zeigt den Verlauf des SWR für den offenen Loop bei einer Speiseleitung von 600 Ohm. Oberhalb von 20 MHz ist das SWR <5 was geringe Verluste in der Leitung und eine einfache Transformation auf 50 Ohm erlaubt.

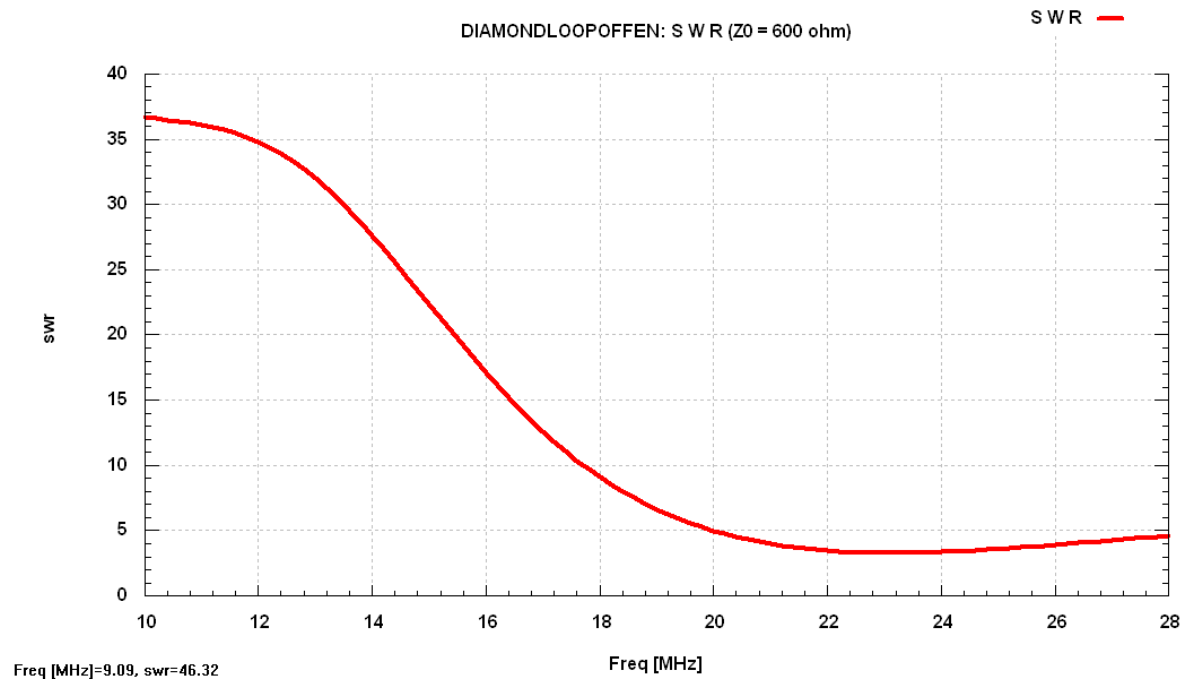


Abb. 11: SWR für den offenen Loop bei Speiseleitung 600 Ohm.

Abb. 12 und 13 zeigen die Fernfeldabstrahlung für den offenen Loop bezogen auf das Feld in der xy-Ebene (entspr. Horizontaldiagramm) und in xz-Ebene (entspr. Vertikaldiagramm)

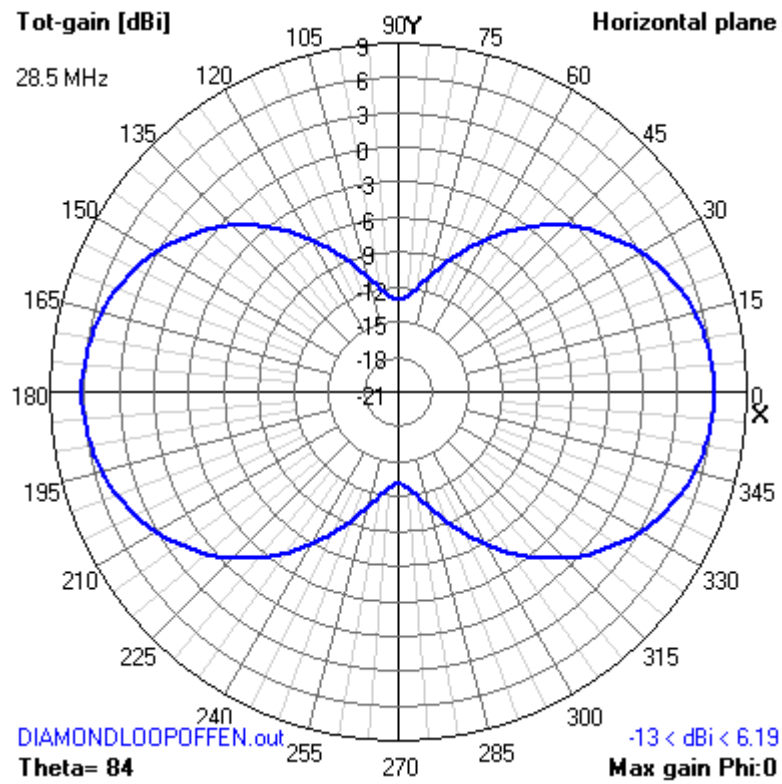


Abb.12: Richtdiagramm offener Loop xy-Ebene

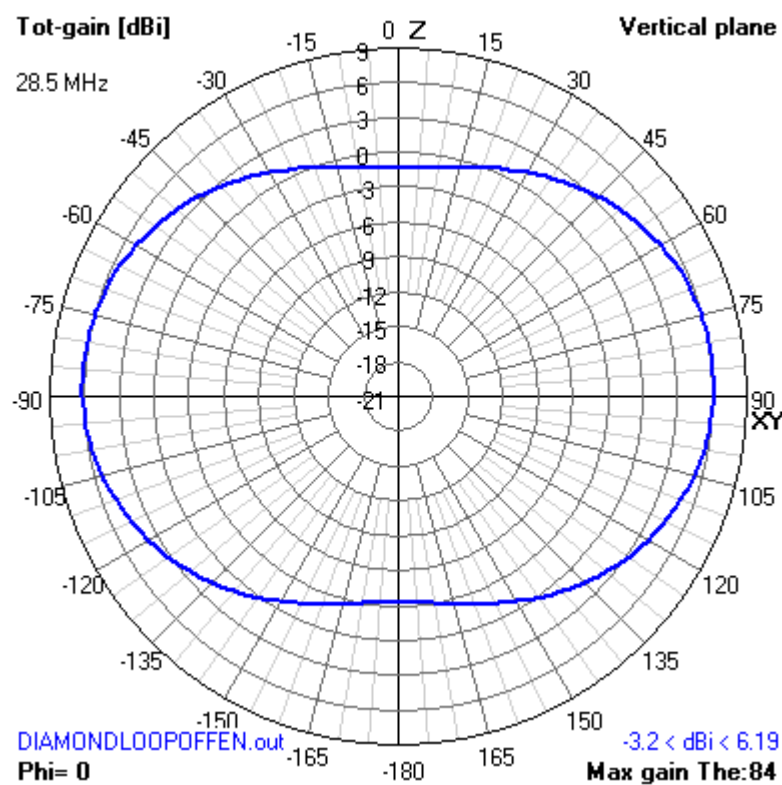


Abb.13: Richtdiagramm offener Loop in xz-Ebene

### Geschlossener rechteckförmiger Loop („Oblong“) (Beispiel 3)

Der Gewinn des Loop gegenüber einem Dipol beruht auf dem „broadside“ Effekt und damit auf dem vertikalen Abstand der horizontalen Segmente (bzw. beim Diamond-Loop auf die horizontale Projektion der Drähte). Wie schon erwähnt, entsteht bei der asymmetrischen „Eckenspeisung“ ein trade-off zwischen Abstand und Phasenbeziehung. Diese Beeinträchtigung kann über eine rechteckförmige Geometrie des Loop abgeschwächt werden.

Gehen wir im Ansatz von einem rechteckförmigen Loop mit den Seitenlängen 1.75 m (horizontal) und 7 m (vertikal) aus. Der Umfang beträgt 21 m, etwa eine Wellenlänge für das 20 m Band. Einspeisung in der Mitte des unteren Segments (Abb. 14)

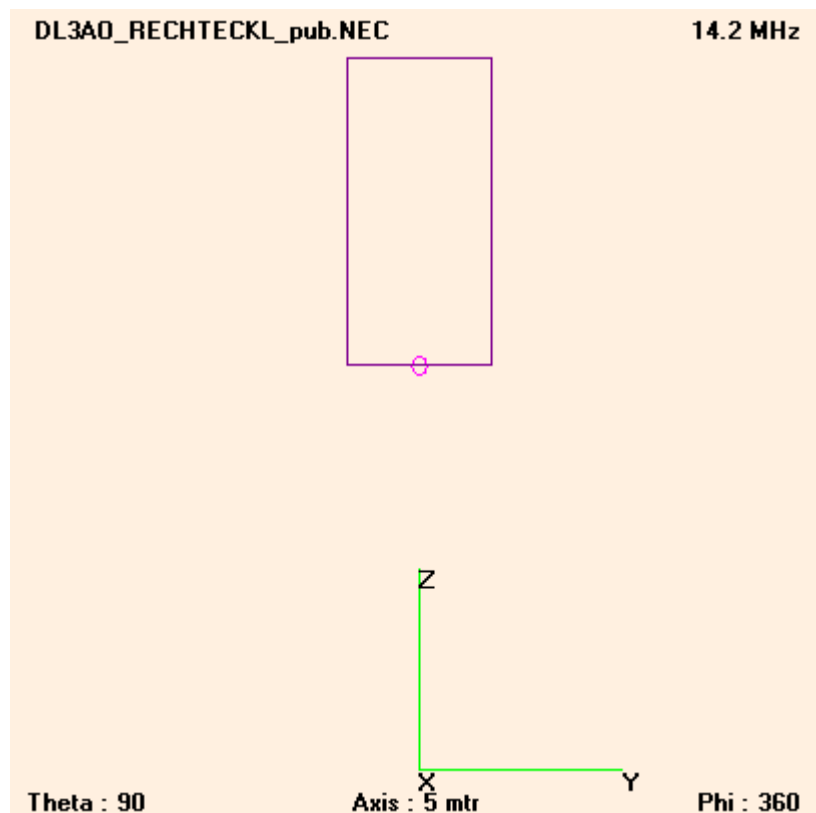


Abb. 14: Rechteckförmiger Loop („Oblong“). Einspeisung in der Mitte des unteren Segments.

Ein *Frequency Sweep* zeigt eine Resonanzstelle bei 15 MHz mit etwa 50 Ohm Impedanz. Es liegt nun nahe, mit diesen Ausgangswerten zunächst einen Monoband Loop für 14 MHz anzustreben.

Eine Optimierung auf ein SWR = 1 bei 50 Ohm mit der Loophöhe  $h=7\text{m}$  als variable Größe ergibt die Dimensionen Breite = 1.75 m und Höhe = 7.6 m. Abb. 15 zeigt den Verlauf des SWR im 20 m Band, Abb. 16 den Gewinn in dBi über den Frequenzbereich 10-30 MHz.

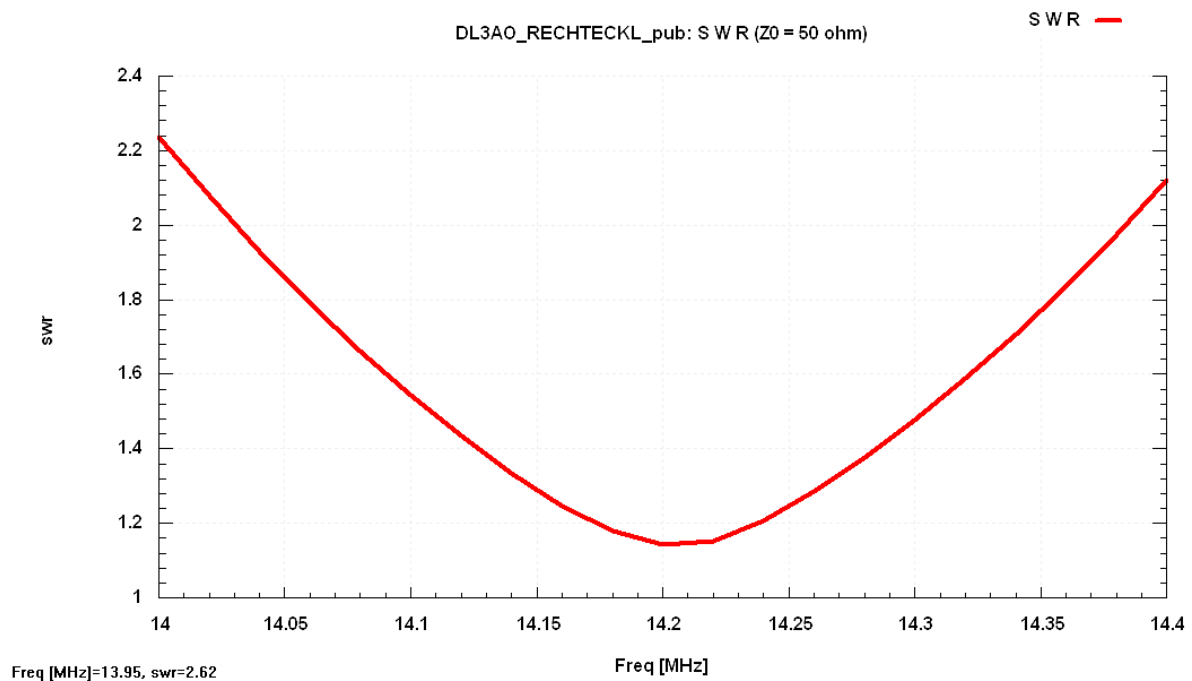


Abb. 15: SWR Verlauf im 20 m Band für den geschlossenen Rechteckloop.

Der Loop lässt sich bei Installation eines Strombaluns am Einspeisepunkt (1:1) direkt mit Koaxkabel speisen.

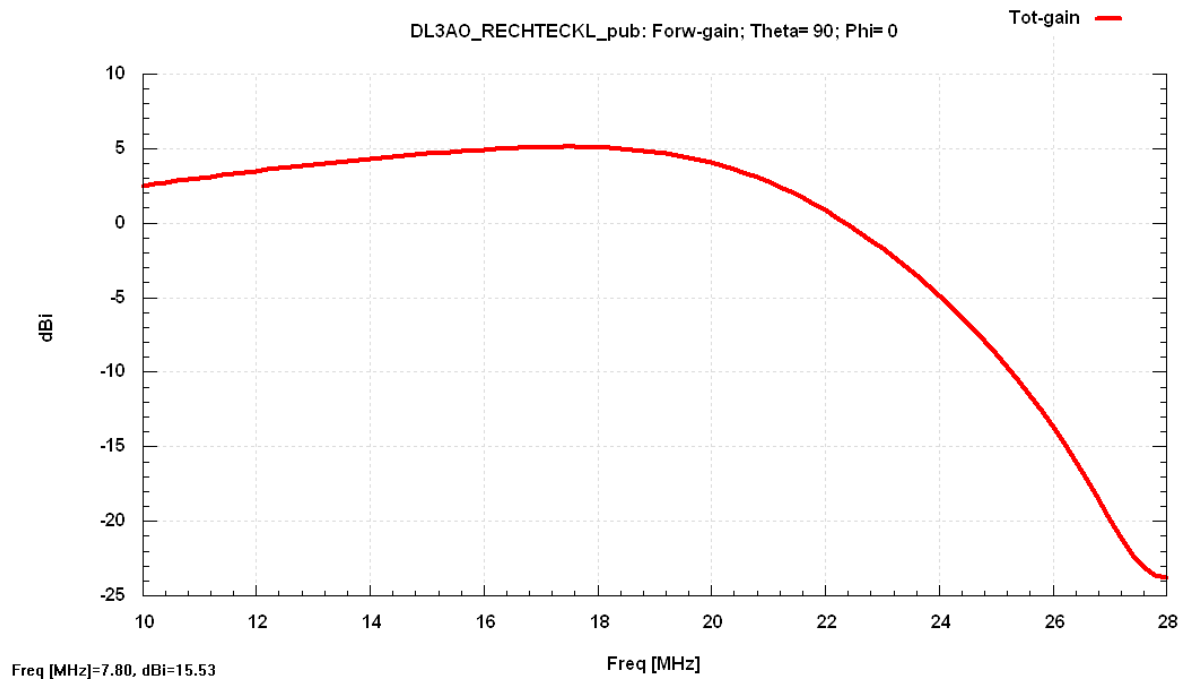


Abb. 16: Gewinn [dBi] für geschlossenen Rechteckloop (1.75m\*7.6m) zwischen 10-30 MHz

Das Diagramm von Abb. 16 legt nahe, den Rechteckloop auch als Mehrbandantenne mit Speisung über Parallelleitung zu verwenden.

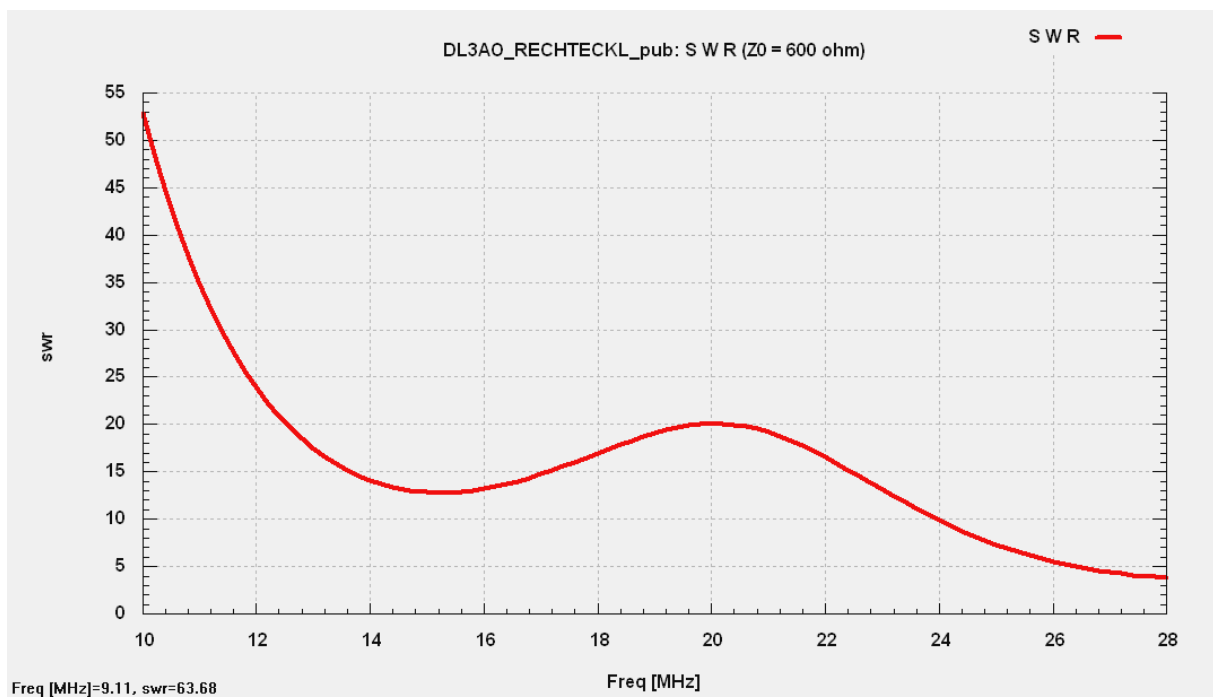


Abb.17: SWR Verlauf Rechteckloop bei 600 Ohm Speiseleitung

Die Speisung des Rechteckloops mit „Hühnerleiter“ verspricht einen guten Wirkungsgrad zwischen 14 MHz und 21 MHz. Bei 18 MHz zeigt der Rechteckloop einen Gewinn von 5 dBi. Das Maximum im Gewinn kann durch eine Verkürzung der Höhe auf z.B. 7m leicht in Richtung 21 MHz verschoben werden. Ähnlich dem quadratischen Quad, kann auch hier der Gewinn für die Bänder 21 MHz – 30 MHz durch öffnen des Loop an der oberen Seite auf Werte um 4 dBi angehoben werden (*Ausführung von Beispiel 4 in 4NEC2 Hausaufgabe!*). Attraktiv beim Rechteckloop ist der kleine Drehradius von (im hier beschriebenen Fall) 1.75 m.

### Vergleich Rechteckloop mit Dipol (Beispiel 4)

Der in Beispiel 3 behandelte geschlossene Rechteckloop mit den Abmessungen 1.75m\*7.6m wird mit einem horizontalen Halbwellendipol verglichen. Höhe des Dipols und mittlere Höhe Loop =15m. Untergrund „Real Ground“.

Im *Main Menue* -> *File* -> *Save output file as...* Ergebnis Dipol (oder Loop) abspeichern  
 Pattern von Dipol (oder Loop rechnen) und mit *Pattern* -> *Compare* -> das neuberechnete Pattern zum Überlagern einfügen.

Den Vergleich zeigen die Abb. 18 und 19.

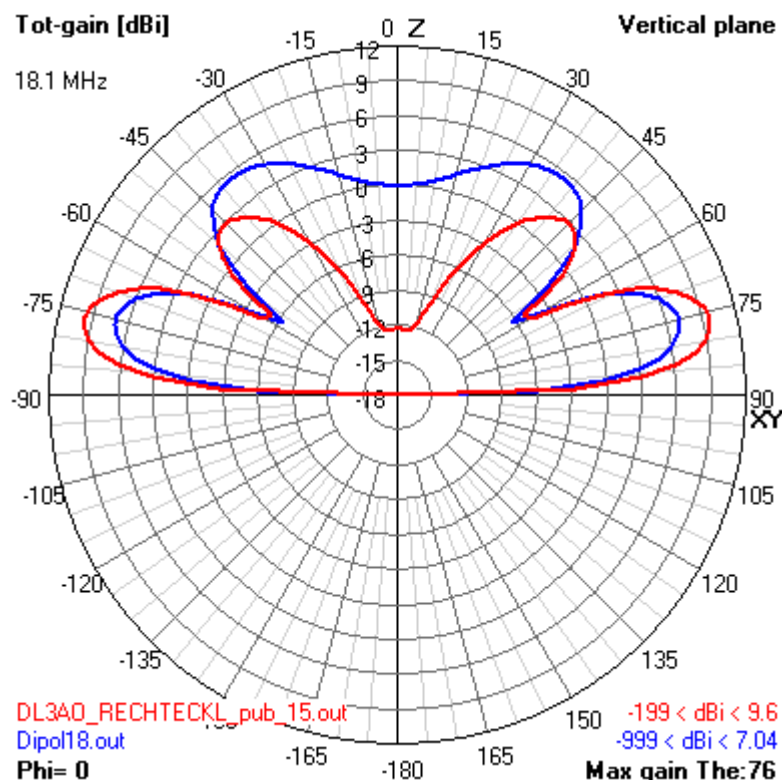


Abb. 18: Vertikale Abstrahlendiagramme für Rechteckloop (rot) und Dipol (blau) in Polarkoordinaten

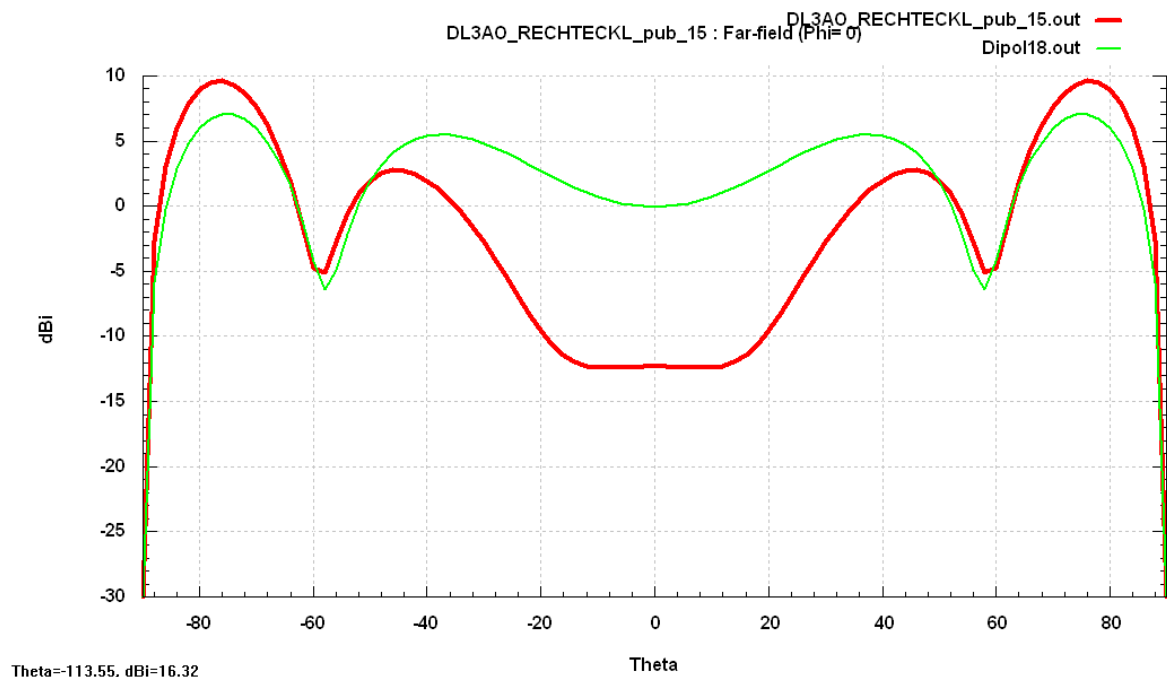


Abb. 19: Vertikale Abstrahl diagramme für Dipol (rot) und Rechteckloop (grün). Kartesische Koordinaten. Theta=0 ist senkrecht nach oben

Der Vergleich zeigt deutlich: Die Abstrahlung unter zum Horizont flachen Winkeln ist nahezu gleich für Dipol und Loop (entgegen der immer noch geäußerten Meinung, ein Quad oder Loop strahle besonders flach ab!). Die kleine Verschiebung der Keule beim Loop Richtung Theta 90 Grad rührt daher, dass die mittlere Höhe des Loops etwas von dem arithmetischen Mittel aus oberem und unterem Drahtstück abweicht. Der Dipol hat ein Maximum mit 7.01 dBi bei 74 Grad (16 Grd über Horizont), der Loop ein Maximum mit 9.6 dBi bei 76 Grad (14 Grad über Horizont). Der Dipol muss ein Meter höher sein als die mittlere Höhe des Loop um das vertikale Abstrahlmaximum (7.3 dBi) unter dem Winkel 74 Grad zu erreichen. Die Flachabstrahlung beim Loop ist fast 2.6 dB stärker als beim Dipol. Ausgeprägt ist die Unterdrückung steil einfallender Winkel beim Loop gegenüber dem Dipol. Entscheidend für die Wahl des Loop kann insbesondere der Drehradius der Antennen sein: 4.15 m beim Dipol, 1.75 m beim Loop. Die Nähe zum Nachbargrundstück spielt häufig eine größere Rolle als die beim Loop benötigte vertikale Stange. Richtung Himmel gibt es keine Grenzen...

Mit dem *Optimizer* lässt sich der Rechteckloop für einen maximalen Gewinn auf 21.2 MHz trimmen. Die Ausgangsabmessungen im benutzten Beispiel sind Breite = 2\*1.75m, Höhe = 7.66m. Als Variable für die Optimierung wird die Höhe verwendet, die Breite bleibt gleich. Mit *Calculate* -> *Start Optimizer* erscheint das Optimierungsfenster. Unter Variables erscheint h und br.

Man klickt  $h$  an,  $h$  erscheint unter *Selected*. Den *Gain Weigthing Factor* setzt man auf 100 (%), alle übrigen Faktoren bleiben Null. Klick auf *Start* lässt den Optimierungsprozess beginnen. Nach 21 Iterationen erscheint das Resultat mit  $\text{Gain} = 9.27 \text{ dBi}$  bei einer neuen Höhe von 6.24 m. Abb. 20 zeigt die Iterationsschritte, Abb. 19 die Gewinnkurve.

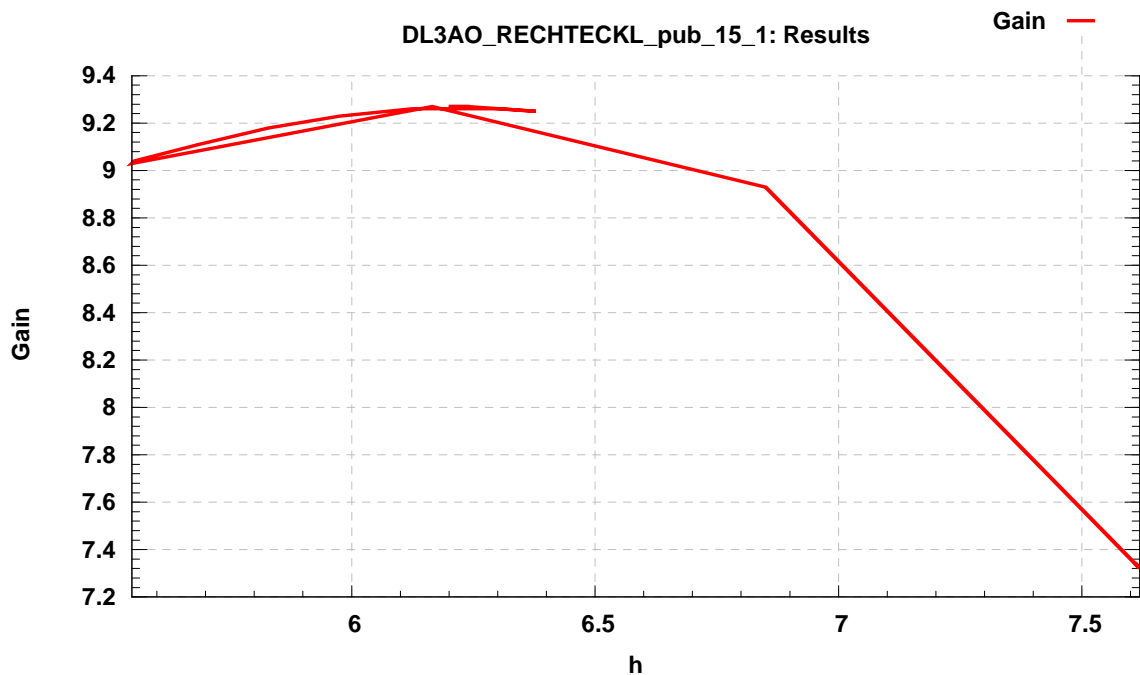


Abb.20 : Iteration auf max. Gewinn für 21.2 MHz

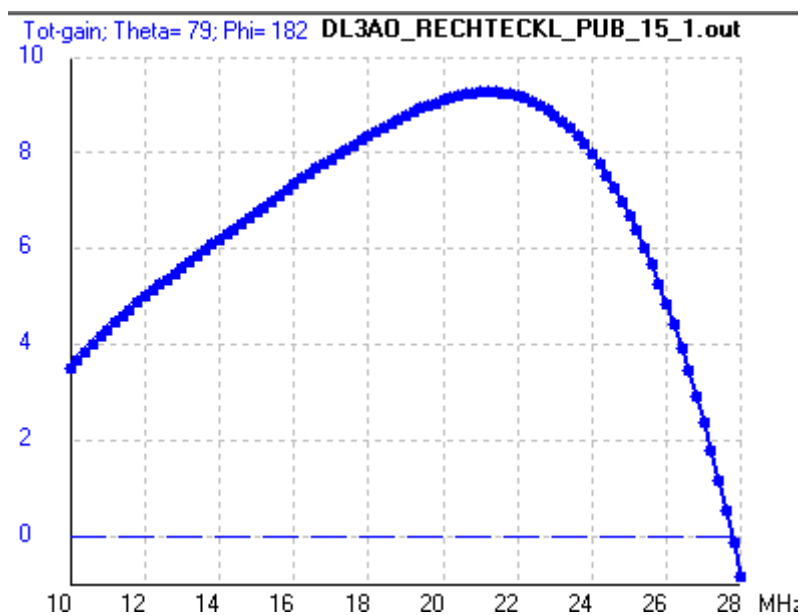
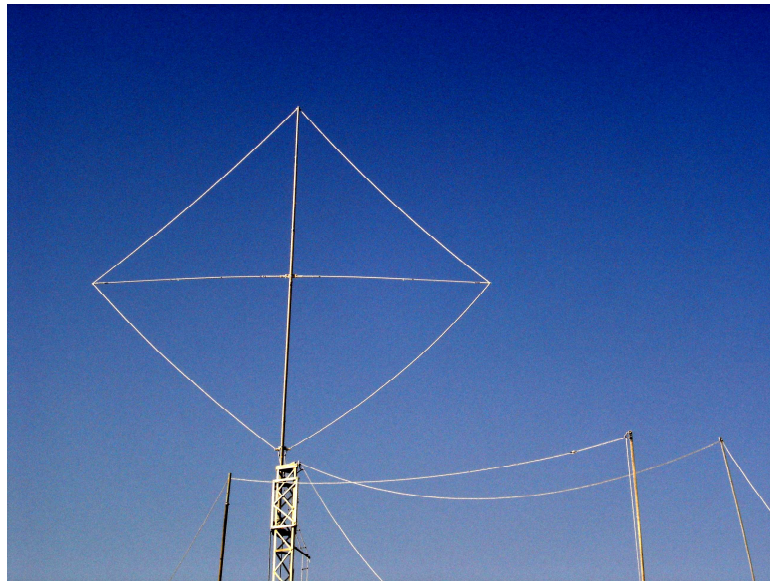


Abb.21: Gewinn in [dBi] zwischen 10-28 MHz für geschlossenen Rechteckloop mit optimierten Dimensionen für 21.2 Mhz. Der Gewinn ist bemerkenswert bei Berücksichtigung der Dimensionen der Antenne.



Loop in Diamond-Ausführung bei DL3AO. Vakuumrelais an der oberen Ecke erlaubt Öffnen des Loops zum Bisquare.

### **Zum Lesen:**

[1] G.J. Burke, A.J. Poggio (1981): Numerical Electromagnetics Code (im Internet als Abdruck erhältlich).  
(Kurze Einführung in die Grundlagen von NEC bei [www.p02.de](http://www.p02.de), unter DOWNLOADS, Bericht DL3AO)

[2] Roy Lewallen, W7EL: EZNEC ( siehe Internet)

[3] Arie Voors: 4NEC2 (siehe Internet), DOWNLOAD des Programms kostenlos.

[4] G. Kraus, H. Lau: Simulation von Drahtantennen mit 4NEC2. Ein Tutorial für Neueinsteiger. (Internet).